

О возможности применения искусственных экосистем для обеспечения жизнедеятельности человека

© 2017. Ю. Л. Ткаченко, к. т. н., доцент,
Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана,
105005, Россия, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1,
e-mail: tkachenko@mail.ru

В статье предлагается использовать искусственные экосистемы, т. е. жилые модули, построенные по принципу замкнутости внутренних материальных потоков, для обеспечения жизнедеятельности человека в экстремальных условиях. Приведена схема круговорота вещества в модуле. Проведён обзор оборудования, которое целесообразно использовать для автономного энергоснабжения модуля и организации замкнутого газообмена и обратного водоснабжения внутри модуля. Рассмотрены виды растений, которые наиболее подходят для выращивания и получения растительного питания для обитателей модуля. В качестве купольного сооружения для размещения создаваемой искусственной экосистемы предлагается использовать полусферическую структуру Фуллера.

Ключевые слова: экстремальная жизнедеятельность, искусственная экосистема, автономное энергообеспечение, замкнутый газообмен, обратное водоснабжение, купольные сооружения.

On the possibility of using artificial ecosystems for maintenance of human life

Y. L. Tkachenko,
Bauman Moscow State Technical University,
5 2nd Baumanskaya St., Moscow, Russia, 105005,
e-mail: tkachenko@mail.ru

The article suggests how to use artificial ecosystems, i. e. residential units built on the principle of closure of internal material flows in order to ensure human life in extreme conditions, such as the Arctic, arid deserts, high mountains, in the areas of chemical and radioactive contamination. From the outside this artificial ecosystem requires only the influx of energy revenues which may be provided at the expense of local renewable sources: wind, sunlight, moving water, temperature difference, etc. Universal power supply may be a microbial battery, in which electricity is produced by microorganisms capable through metabolism to implement transfer of electrons.

The history of creation of artificially closed ecosystems is presented by the example of work on the program "Bios" at the Institute of Biophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Krasnoyarsk). As a result it was proved that it is possible to obtain the necessary oxygen, food, and pure water due to cultivation of higher and lower plants in phototrophic links of an artificial ecosystem.

This article provides an experience-based diagram of the matter cycle in the module. The review of the equipment is given that should be used for a stand-alone power supply module and the organization of closed gas exchange and water recycling inside the module. The types of plants are suggested that suit for growing and producing vegetable supply for the inhabitants of the module.

As the dome structures for placement create an artificial ecosystem it is proposed to use a hemispherical structure designed by R. Buckminster Fuller. It consists of a symmetrical grid of flat triangular elements. The base of the dome is attached to the ground by means of screw piles. It is proposed to use polyethylene foam ("penolon") as a material for the cladding of the dome.

Keywords: extreme vital functions, artificial ecosystem, independent power supply, closed gas exchange, water recycling, dome structures.

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, высокогорья, зон химического и радиационного загрязнения. Также, зачастую люди вынуждены вести длительные подземные или подводные работы. Поэтому представляется весьма актуальной разработка технических средств, позволяющих создать безопасную и комфортную жилую среду в таких условиях. Проблемы жизнедеятельности на территории Якутии и пути улучшения условий жизни людей в условиях Крайнего Севера, освещены, например, в работе [4].

Для решения указанных проблем, в данной статье предлагается использовать автономные жилые модули, построенные на основе принципов энергонезависимости и замкнутости внутренних материальных потоков. Так как эти принципы характерны для природной среды обитания, то внутреннюю среду создаваемого таким образом жилого модуля можно назвать искусственной экосистемой (ИЭС). Наиболее значимые результаты в области создания замкнутых ИЭС были получены во второй половине XX века при работе над проектом «Биос» в Институте биофизики СО РАН (г. Красноярск).

На установке «Биос-3» в 1972–1984 гг. проводились опыты по полной изоляции от внешней среды экипажа из трёх человек. Наиболее длительный эксперимент продолжался в течение 180 суток [2]. В результате была доказана возможность получения необходимого человеку кислорода, растительного питания и чистой воды за счёт культивирования высших и низших растений в фототрофном звене ИЭС.

В настоящее время, в результате развития нового научного направления «Функциональная экология» и опытов, проведённых на установке «Экотрон» в Институте фундаментальных проблем биологии РАН (г. Пущино), доказано, что для поддержания устойчивости химических и физических параметров внутренней среды, в ИЭС необходимо воспроизвести гетеротрофное звено в виде быстроразвивающегося почвоподобного субстрата, содержащего специально подобранный микробиоценоз [3, 4]. Вывод о том, что почва формируется как в длительном, «геологическом», так и в кратком (месяцы, годы) времени подтверждается данными, приведёнными в статье [5].

На основе известных результатов работ в области создания ИЭС, была составлена схема круговорота вещества внутри разрабатываемого автономного жилого модуля, показанная на рисунке.

В представленной схеме человек является замыкающим звеном всех химических и физических процессов, протекающих в ИЭС. Система включает в себя фитотрон для выра-

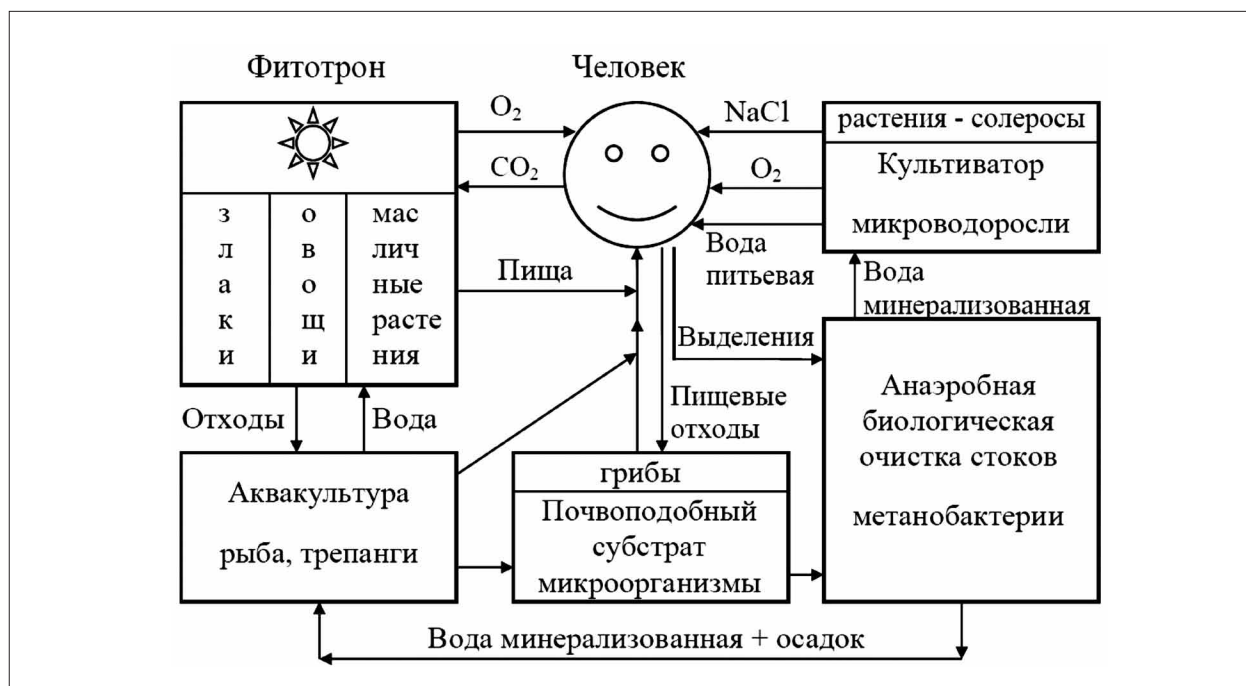


Рис. Схема внутренних материальных потоков в автономном жилом модуле

щивания 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. Кроме того, в ИЭС предусмотрена возможность разведения аквакультуры за счёт использования оборотной воды и пищевых отходов, выращивания грибов на почвоподобном субстрате и высаживания в очищенную воду галофитной флоры – съедобных растений-солеросов для удаления избытка соли и возврата хлорида натрия в пищевую цепочку человека [6].

Для функционирования ИЭС требуется поступление энергии извне. Энергообеспечение автономного жилого модуля можно организовать с использованием солнечной, ветровой, геотермальной, приливной и биохимической энергии. В настоящее время разработаны новые типы устройств, позволяющие более эффективно утилизировать энергию Солнца, воздуха, воды и биомассы. Выбор конкретного вида природного энергоресурса и типа используемого электрогенератора определяется особенностями территории, на которой планируется размещение модуля.

Для модулей, размещаемых в полярной зоне, наиболее подходят ветрогенераторы, так как для арктических пустынь характерны сильные, часто повторяющиеся ветры. Наиболее целесообразно использовать летающие ветрогенераторы типа Buoyant Airborne Turbine (BAT) [7] и «летающее крыло» Wing 7 [8].

Для аридных пустынь, отличающихся большим числом дней солнечного сияния, целесообразно использовать солнечные батареи. В настоящее время разработаны бескремниевые прозрачные солнечные батареи Dye Solar Cell (DSC) на стеклянной основе с использованием оксида титана TiO_2 и красителей [9]. Основу DSC элемента составляет сэндвич из слоёв TiO_2 , красителя, электролита и катализатора, расположенный между двумя прозрачными проводящими электродами. При освещении элемента происходит разделение заряда благодаря инъекции из возбуждённого состояния молекул красителя в зону проводимости оксида титана. Свет возбуждает краситель, выбивая электрон, который захватывается полупроводниковым оксидом титана, генерируя при этом электрический ток. Краситель затем восстанавливается переносом электрона в окислительно-восстановительной паре.

Солнечные элементы на оксиде титана не зависят от угла падения света и могут устанавливаться вертикально и даже работать в преломлённом или отражённом свете. Элементы работают в очень широком интервале освещённости, благодаря большой внутренней поверхности оксида титана, которая представляет собой «световую губку», буквально «впитывающую» всю доступную энергию солнечного излучения. Из таких элементов можно выполнить облицовку граней купольной конструкции модуля даже в условиях холодного климата, так как элементы DSC эффективно работают в широком интервале температур.

Кроме фотоэлементных преобразователей, электричество из солнечного излучения можно получать при помощи двигателей Стирлинга. Компания Stirling Energy разработала Sun Catcher – «Ловец Солнца»: 25 кВт-ную параболическую антенну, состоящую из зеркал, со встроенным двигателем Стирлинга, изобретённым ещё столетие назад [10]. Особенность этого двигателя заключается в том, что газ, в отличие от двигателя внутреннего сгорания, циркулирует в двигателе по замкнутому циклу, нагреваясь в месте фокусирования солнечных лучей и охлаждаясь, совершает работу по вращению вала двигателя. Избыток тепла отводится с помощью радиатора с воздушным охлаждением. Такая конструкция делает генератор тихим, компактным и очень эффективным.

Универсальным источником энергоснабжения ИЭС могут стать микробные топливные элементы (МТЭЛ) [11], в которых электроэнергия вырабатывается микроорганизмами, способными в ходе своего метаболизма осуществлять перенос электронов. Протекающие при этом биохимические процессы аналогичны тем, которые происходят в анаэробных условиях при очистке сточных вод, что позволяет в перспективе совместить в одном устройстве функции генерации электроэнергии и утилизации органических отходов. Технологии утилизации отходов с помощью микроорганизмов описаны в работе [12].

Микроорганизмы и окисляемый субстрат (органические отходы) находятся в анаэробных условиях анодной камеры МТЭЛ. В данном отсеке содержится анод – электрод, на который микроорганизмы «сбрасывают» электроны. В другом отсеке МТЭЛ, катодной камере, находится, соответственно, катод, который аэрируется воздухом или чистым кислородом. Процессы жизнедеятельности микроорганизмов являются источником электронов. Для разделения анодной и катодной камер ис-

пользуются специальные протоннообменные мембраны, которые осуществляют однонаправленный перенос протонов, образовавшихся в результате жизнедеятельности микроорганизмов, из анодной камеры в катодную, и не дают кислороду возможность проходить в обратном направлении.

В качестве пищевых растений фототрофного звена используются виды, не требующие «ночного отдыха», т. е. способные производить фотосинтез биомассы при круглосуточном освещении. В экспериментальных оранжереях [13] уже достаточно хорошо исследованы следующие сорта: карликовая яровая пшеница селекционной линии 232, листовая салат сорта Мизуна, зелёный лук, томаты сорта Минибел, сладкий перец сорта Конфетка и масличная культура чуфа. Выращивание растений может производиться в фитотроне методом разновозрастного конвейера в условиях искусственного освещения. Источником света являются белые светодиодные матрицы Bridgelux LED [14]. В качестве низших растений фототрофного звена, для обеспечения замкнутого газообмена, в фотобиореакторах можно культивировать зелёные микроводоросли [15].

Продукция фитотрона идёт в пищу человеку, а образующиеся отходы используются для выращивания аквакультуры. Разработанная компанией «GrowUp» технология позволяет создать систему, в которой отходы жизнедеятельности рыб используются для создания питательной среды для растений и наоборот, отходы пищевых растений служат кормом для рыб [16].

Для организации замкнутого водооборота можно использовать анаэробный метод биологической очистки сточных вод от органических веществ. В процессе многоступенчатого микробного метанового брожения сложные органические вещества превращаются в более простые компоненты, значительная часть которых затем переходит в биогаз (смесь CH_4 и CO_2), раствор минеральных солей и активный ил. При оптимальных условиях выход биогаза может составлять до 90–95% от массы первоначального органического вещества [17]. Образующийся биогаз можно использовать для резервного энерго- и теплоснабжения модуля с помощью микротурбинных установок, имеющих функцию рекуперации теплоты путём нагрева воды для обеспечения горячего водоснабжения.

В качестве сооружения для размещения ИЭС модуля целесообразно использовать куполообразную структуру, разработанную Р. Бак-

минстером Фуллером. Купол Фуллера состоит из симметричной сетки плоских элементов, наложенной на сферическую поверхность. Элементы сетки могут иметь треугольную, четырёхугольную или шестиугольную форму. Расчёт купола был произведён с помощью программы, представленной на сайте [18].

Проведённые расчёты показали, что для обеспечения жизнедеятельности 20 человек требуется 200 кВт электрической мощности, получаемой, например, от ветрогенератора. Для резервного энергоснабжения и горячего водоснабжения модуля используются две микротурбинные установки Calnetix, электрической мощностью 100 кВт каждая [19] и аккумуляторная батарея, состоящая из 48 568 шт. аккумуляторов СЦ-250Д-1 [20].

Использование для освещения фитотрона 900 светодиодных матриц, мощностью 200 Вт каждая, позволяет снабжать обитателей растительным питанием, которое вместе с добавками консервированной говядины, рыбы и свиного сала составляет рацион с пищевой ценностью (соотношением белков жиров и углеводов) 1,3:1,3,7 близкой к оптимальной (1:1:4), приведённой в [21]. Утилизация несъедобных частей растений может производиться биотой формирующегося ППС. Возможно также использование технологий, описанных в статье [22], позволяющих получить полезные для растений вещества, обладающие к тому же фунгицидным действием. Сферический метантанк способен полностью очищать 338 л воды в сутки. Для гарантированного обеспечения обитателей кислородом и удаления углекислого газа используются 14 полостных фотобиореактора ФБР-250 [23], в которых культивируется хлорелла обыкновенная.

Полусферический купол радиусом 6,87 м позволяет разместить внутри цилиндрический фитотрон высотой 5 м и радиусом основания 3,24 м. Основание купола крепится к грунту с помощью винтовых свай [24]. В качестве материала для облицовки купола предлагается использовать пенополиэтилен («пенолон») – прочный и эластичный вспененный многослойный физически сшитый материал с высокой теплоизоляцией [25]. Пенолон совместим со всеми конструкционными материалами, устойчив к ультрафиолетовому излучению, масло-, нефте- и бензостоек. Пенолон не гниёт и не выделяет вредных веществ при нагреве, нетоксичен и не имеет запаха.

Проведённый анализ показал, что в земных условиях нецелесообразно достижение полной замкнутости внутренней среды ИЭС.

Простым и менее затратным решением является разработка серии автономных жилых модулей, различающихся типом источника энергообеспечения, составом оборудования и конструкционными материалами купола. В результате было установлено, что наибольшей замкнутостью должна обладать ИЭС, предназначенная для применения в зонах радиационного загрязнения. Использование автономного модуля на таких территориях позволит снизить дозу хронического внутреннего облучения его обитателей за счёт предотвращения попадания в их организмы радионуклидов, мигрирующих в природных средах и биомассе.

При размещении на местности, купол модуля может соединяться переходными тамбурами с другими жилыми, техническими и складскими модулями, что позволяет компоновать из отдельных модулей достаточно большие поселения. В таких экопоселениях, кроме обеспечения замкнутости внутренних материальных потоков, необходимо создать ещё сферу занятости населения и организовать здоровую социальную среду для поддержания психологического комфорта жителей.

Литература

1. Шац М.М. Геоэкологические проблемы селитебных северных территорий (на примере г. Якутска) // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 3. С. 57–62.
2. Гительзон И.И., Дегерменджи А.Г., Тихомиров А.А. Замкнутые системы жизнеобеспечения // Наука в России. 2011. № 6. С. 4–10.
3. Керженцев А.С. Механизм функционирования почвы и устойчивость экосистем // Вестник РАН. 2010. Т. 80. № 6. С. 704–709.
4. Алексеева Т.В., Керженцев А.С. Микроморфологическое строение модельного почвенного профиля блока «Педотрон» экспериментальной установки «Эко-трон 97» // Почвоведение. 2005. Т. 38. № 3. С. 314–323.
5. Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А. Экологическая роль информации в почве // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 2. С. 4–14.
6. Дегерменджи А.Г., Тихомиров А.А. Создание искусственных замкнутых экосистем земного и космического назначения // Вестник РАН. 2014. Т. 84. № 3. С. 233–240.
7. В США испытан первый летающий ветрогенератор. [Электронный ресурс] <http://supreme2.ru/4744-buoyant-airborne-turbine> (Дата обращения: 10.05.2016 г.).
8. Сайт «Знания об Энергии» Фонда ALCEN «От технологий к инновациям». [Электронный ресурс] <http://www.connaissancedesenergies.org/une-eolienne-prendson-envol> (Дата обращения: 10.05.2016 г.).
9. Технологии DSC. [Электронный ресурс] <http://www.ecoteco.ru/?id=286> (Дата обращения: 10.05.2016 г.).
10. Андреева К.А. Эпоха Стирлинга // Машины и механизмы. 2015. № 4. С. 8–15.
11. Микробы эффективно вырабатывают электричество из сточных вод [Электронный ресурс] <http://www.membrana.ru/particle/9964> (Дата обращения: 05.07.2016 г.).
12. Домрачева Л.И., Ашихмина Т.Я., Елькина Т.С., Гайфутдинова А.Р. Микробная деградация промышленных отходов (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 2. С. 6–16.
13. Левинских М.А., Сычев В.А., Гушин В.И., Кареткин А.Г., Сигналлова О.Б., Дерендяева Т.А., Нефедова Е.Л., Поддубко С.В., Подольский И.Г. Оранжерея в составе системы жизнеобеспечения эксперимента со 105-суточной изоляцией: биологические, технологические и психологические аспекты // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2010. № 4. С. 57–61.
14. Каталог светодиодного оборудования Bridgelux. [Электронный ресурс] <http://msk.reled.pro/shop/product/svetodiodkaia-matritsa-200v-200-vt> (Дата обращения: 01.08.2016 г.).
15. Гладышев П.А. Разработка фотобиореакторов для замкнутых экологических систем жизнеобеспечения: Автореф. дисс. канд. техн. наук. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007. 16 с.
16. Сайт компании «GrowUp». [Электронный ресурс] <http://growup.org.uk/all-posts/photos-and-videos/gallery/the-growup-box> (Дата обращения: 01.08.2016 г.).
17. Кривошеин Д.А., Кукин П.П., Лапин В.Л. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков: Учебное пособие. М.: Высшая школа, 2003. 344 с.
18. Калькулятор для проектирования купольных конструкций Фуллера [Электронный ресурс] http://acidome.ru/lab/calc/#7/12_Cone_3V_R4.2_beams_150x50 (Дата обращения: 05.07.2016 г.).
19. Микротурбинная установка Calnetix TA-100 RCHP. [Электронный ресурс] <http://www.micro-turbines.ru/service.php?id=2&item=1> (Дата обращения: 01.08.2016 г.).
20. Сайт производителя аккумуляторов. ЗАО «Электронисточник» [Электронный ресурс] <http://elrsar.ru/production/silver/294/> (Дата обращения: 14.12.2016 г.).
21. Основы физиологии человека. Учебник для высших учебных заведений /Под ред. Б.И. Ткаченко. В 2-х томах. СПб.: Международный фонд истории науки, 1994. Т. 1. 567 с.
22. Хуршайнен Т.В., Скрипова Н.Н., Кучин А.Л. Высокоэффективная технология комплексной переработки растительного сырья и получение препаратов для сельского хозяйства // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 1. С. 46–49.
23. Сайт производителя оборудования для культивирования хлореллы. ООО «Дело» [Электронный ресурс]

<http://www.хлорелла.рф/equipment-for-clorella.html> (Дата обращения: 01.08.2016 г.).

24. Винтовая свая. Патент на полезную модель РФ № 77618. [Электронный ресурс] <http://poleznayamodel.ru/model/7/77618.html> (Дата обращения: 01.08.2016 г.).

25. Сайт производителя материала «пенолон». Компания «Русфом». [Электронный ресурс] <http://www.penolon.ru/mat-ppe-r-3050> (Дата обращения: 01.08.2016 г.).

References

1. Schatz M.M. Geo environmental problems of residential northern territories (the example of Yakutsk) // *Theoretical and Applied Ecology*. 2009. № 3. P. 57–62. (in Russian).

2. Gitel'zon I.I., Degermendzhi A.G., Tikhomirov A.A. The closed life-support system // *Nauka v Rossii*. 2011. № 6. P. 4–10 (in Russian).

3. Kerzhencev A.S. The mechanism of soil functioning and stability of ecosystems // *Vestnik RAN*. 2010. V. 80. № 6. P. 704–709 (in Russian).

4. Alekseeva T.V., Kerzhentsev A.S. Micromorphological structure of the soil profile of the model unit "Pedotron" of the experimental setup "Ekotron 97" // *Pochvovedenie*. 2005. V. 38, № 3. P. 314–323. (in Russian).

5. Karpachevsky L.O., Zubkova T.A. The ecological role of information in soil // *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2011. № 2. P. 4–14 (in Russian).

6. Degermendzhi A.G., Tikhomirov A.A. Creating artificial closed ecosystems for terrestrial and space applications // *Vestnik RAN*. 2014. V. 84. № 3. P. 233–240 (in Russian).

7. The first flying wind turbine tested in the United States. [Electronic resource] <http://supreme2.ru/4744-buoyant-airborne-turbine> (Date of the application: 10.05.2016) (in Russian).

8. "Energy of Knowledge" Foundation Website ALCEN "From technology to innovation" [Electronic resource] <http://www.connaissancedesenergies.org/une-eolienne-prend-son-envol> (Date of the application: 10.05.2016) (in Russian).

9. DSC technology. [Electronic resource] <http://www.ecoteco.ru/?id=286> (Date of the application: 10.05.2016) (in Russian).

10. Andreeva K.A. Stirling's Epoch // *Mashiny i mekhanizmy*. 2015. № 4. P.8–15 (in Russian).

11. Microbes effectively generate electricity from wastewater [Electronic resource] <http://www.membrana.ru/particle/9964> (Date of the application: 05.07.2016) (in Russian).

12. Domracheva L.Y. Ashikhmina T.Ya., Elkina T.S., Gayfutdinova A.R. Microbial degradation of industrial waste (Review) // *Theoretical and Applied Ecology*. 2014. № 2. P. 6–16 (in Russian).

13. Levinskikh M.A., Sychev V.A., Gushchin V.I., Karetkina A.G., Signalova O.B., Derendyaeva T.A., Nefedova E.L., Poddubko S.V., Podolsky I.G. Greenhouse in the experiment of a life support system with 105-day isolation: biological, technological, and psychological aspects // *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya medicina*. 2010. № 4. P. 57–61 (in Russian).

14. Product Bridgelux LED equipment. [Electronic resource] <http://msk.reled.pro/shop/product/svetodiodka-matritsa-200v-200-vt> (Date of the application: 08.01.2016) (in Russian).

15. Gladyshev P.A. Development of photobioreactors for the closed ecological life support systems: Avtoref. ... kand. tekhnich. nauk. M.: RHTU im. D.I. Mendeleeva, 2007. 16 p. (in Russian).

16. The site of the Company "GrowUp". [Electronic resource] <http://growup.org.uk/all-posts/photos-and-videos/gallery/the-growup-box> (Date of the application: 08.01.2016).

17. Krivoshein D.A., Kukin P.P., Lapin V.L. Engineering protection of surface waters from industrial effluents: Textbook. M.: Vysshaya shkola, 2003. 344 p. (in Russian).

18. Calculator for design of Fuller dome structures [Electronic resource] http://acidome.ru/lab/calc/#7/12_Cone_3V_R4.2_beams_150x50 (Date of the application: 05.07.2016) (in Russian).

19. The microturbine setup Calnetix TA-100 RCHP. [Electronic resource] <http://www.micro-turbines.ru/service.php?id=2&item=1> (Date of the application: 08.01.2016) (in Russian).

20. The site of batteries manufacturer. ZAO "Elektroistochnik" [Electronic resource] <http://elrsar.ru/production/silver/294/> (Date of the application: 12.14.2016) (in Russian).

21. Fundamentals of human physiology. Textbook for higher educational institutions / Ed. B.I. Tkachenko. v 2 tomakh. SPb.: Mezhdunarodnyj fond istorii nauki, V. 1. 1994. 567 p. (in Russian).

22. Hurshkaynen T.V., Skripova N.N., Kuchin A.L. High-technology for complex processing of vegetable raw materials and formulation for agriculture // *Theoretical and Applied Ecology*. 2007. № 1. P. 46–49 (in Russian).

23. The site of the manufacturer of equipment for chlorella cultivation. Ltd. "Delo" [Electronic resource] <http://www.hlorella.rf/equipment-for-clorella.html> (Date of the application: 08.01.2016) (in Russian).

24. Screw pile. RF patent for useful model № 77618. [Electronic resource] <http://poleznayamodel.ru/model/7/77618.html> (Date of the application: 08.01.2016) (in Russian).

25. The site of the manufacturer of "penolon" material. "Rusfom" Company. [Electronic resource] <http://www.penolon.ru/mat-ppe-r-3050> (Date of the application: 08.01.2016) (in Russian).