

УДК 504:57.013:622.271.2

ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕДПОСЫЛКИ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ КАРЬЕРОВ НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

¹Туманова А.Л., ²Гудкова Н.К., ²Горбунова Т.Л., ³Пачулия Е.Р.

¹НИМЦ Экологии и здоровья человека, Сочи, e-mail: tymanova@mail.ru;

²Филиал института природно-технических систем, Сочи, e-mail: tatianashaw@mail.ru;

³Научно-исследовательский институт экспериментальной патологии
и терапии Академии наук Абхазии, Сухум, e-mail: niiepit@rambler.ru

Статья посвящена разработке комплексного подхода к утилизации мелкодисперсных отходов добывающей промышленности на Черноморском побережье Кавказа, являющимся основным рекреационно-курортным регионом для граждан России, с применением биологических методов. Изучалась возможность обработки минеральных мелкодисперсных отходов суспензией микроводоросли *Chlorella Vulgaris* N. ИФР С-111 с целью их ревитализации и последующим использованием их в качестве субстрата для роста сельскохозяйственных культур или производства на их базе вермикомпоста. Культура хлореллы для этой цели выращивается на органических вытяжках животноводческих хозяйств, что обеспечивает экономичность ее производства и утилизацию эфтрофицирующих отходов. Метод основывается на способности фитоавтотрофов использовать минеральные и биогенные ингредиенты, содержащиеся в утилизируемых материалах, в качестве питательного субстрата, источником энергии и микроэлементов для роста и функционирования, превращая отходы жизнедеятельности животных и добывающей промышленности в ценный коммерческий продукт. Предложенный в статье подход может быть применен для решения экологических проблем и минимизации экологических рисков функционирования первичной промышленности с учетом специфики региона. Эффективная схема утилизации отходов первичной промышленности должна основываться на тщательном анализе их физико-химической композиции. Однако потенциально отходы практически любого типа могут быть утилизированы с использованием биологических методов, включая существующие отвалы ТКО, содержащие соединения металлов. По мнению авторов, схема может потенциально расширяться и включать, помимо использования микроводорослей, различные биотические и абиотические компоненты для достижения максимально эффективного результата. Эта работа является начальной в серии исследований, посвященных развитию комплексной системы утилизации отходов и повышения эффективности их управления.

Ключевые слова: экологические риски, мелкодисперсные отходы карьеров, биологические методы, суспензия микроводорослей, эфтрофицирующие компоненты, биогумус, рекультивация

OPPORTUNITIES AND PREREQUISITES FOR QUARRIES WASTE UTILIZATION ON THE BLACK SEA COAST USING BIOLOGICAL METHODS

¹Tumanova A.L., ²Gudkova N.K., ²Gorbunova T.L., ³Pachuliya E.R.

¹Science and Research medical center «Ecology and human health», Sochi, e-mail: tymanova@mail.ru;

²Branch of the Institute of Natural and Technical Systems in Sochi, Sochi, e-mail: tatianashaw@mail.ru;

³Reseach Institute of Experimental Pathology and Therapy of Academy of Science of Abkhazia,
Sukhum, e-mail: niiepit@rambler.ru

The article is dedicated to development of an integral approach to the extractive industry fine waste utilization on the Black Sea coast of Caucasus, the main recreational and resort region for Russian citizens, using bio-methods. Possibility of fine mineral tailings treatment by microalgae *Chlorella Vulgaris* N. IFR C-111 suspension was studied aiming their re-vitalization and further use as a substrate for agricultural crop growth or producing a vermicompost. For this purpose culture of *Chlorella* was grown on organic extracts of livestock, what provides both efficiency of its production and utilization of eutrophication wastes. The method is based on phyto-autotrophs ability to use mineral and nutrient ingredients, contained in the utilised materials, as a nutrient substrate, energy source and microelements for its growth and functioning, transforming animal waste and mining industry tailings into a valuable commercial product. The article proposed approach which can be applied to solve environmental problems and minimize the environmental risks of the primary industry processes, taking into account the specifics of the region. Effective scheme of primary industry waste disposal should be based on a thorough analysis of their physical – chemical composition. Potentially any type of waste can be utilised using bio-methods, including existing wastes dumps containing trace metals compounds. The authors state, the scheme can potentially expand to include, in addition to microalgae, various biotic and abiotic components to achieve most effective results. This work is the initial stage of a research set on integrated waste management system development and an improvement of waste management.

Keywords: environmental risks, fine quarry tailings, biological methods, microalgae suspension, eutrophication components, vermicompost, reclamation

Отходы, производимые в ходе разработки карьеров при строительстве, а также отвалы, образующие тела свалок и полигонов, создают серьезные экологические риски

для окружающей среды, включая загрязнение и часто необратимые изменения прилегающих к ним природных биотопов. Кроме того, эти объекты, даже после прекращения

ния их деятельности, в течение продолжительного времени представляют собой угрозу здоровью населения и окружающей среде [1]. С другой стороны, не меньшую опасность создают и неочищенные органические хозфекальные стоки поселений и отходы животноводства. Они приводят к эвтрофикации природных вод и заражению питьевых ресурсов патогенной микрофлорой. Особую актуальность вопросы эффективного управления отходами различных классов приобретают на территориях, предназначенных для отдыха граждан и восстановления их здоровья [2, 3].

В связи с этим приобретают значимость методы и подходы, обеспечивающие комплексное решение проблемы очистки поступающих и аккумулированных на полигонах и в отвалах отходов. При этом многоуровневые процессы технологий очистки воды, воздуха и грунтов, управление отходами и землепользование должны быть включены в план устойчивого развития предприятий, секторов промышленности и территории в целом. При этом могут быть реализованы возможности коммерческого использования отходов, с учетом планирования вторичного производства и цепочек утилизации и логистики, разработанные для данной местности. Первым этапом основного плана управления твердыми и жидкими отходами сектора первичной промышленности должны стать разработка и апробация путей технологической обработки отходов с целью их дальнейшей утилизации, на месте их образования или отвала. Такие методы основываются на минеральных и биогенных ингредиентах, содержащихся в утилизируемых материалах, которые могут служить питательным субстратом, источником энергии и микроэлементов для роста и функционирования биологических культур, превращающих отходы жизнедеятельности и производства в ценный коммерческий продукт [4, 5].

Цель исследования: выявление наиболее эффективных для исследуемых объектов методологий утилизации отходов для дальнейшего развития и разработки, а также научно обоснованные предложения потенциальной возможности их коммерческой реализации на основании анализа литературных источников и собственных экспериментальных данных. Эта работа является начальной в серии исследований, посвященных развитию комплексной системы утилизации отходов первичной промышленности и минимизации экологических

рисков, связанных с их неэффективным управлением.

Материалы и методы исследования

Были изучены физико-химические характеристики отходов первичной промышленности, в частности мелкодисперсной фракции хвостов известняковых карьеров и органических отходов животноводческих хозяйств. Анализировался опыт как отечественных, так и зарубежных ученых, работающих в области оптимизации управления отходами и рекультивации земель, используемых для отвалов, с применением комплексных биологических методов, основанных на естественных свойствах фитоавтотрофов утилизировать химические компоненты в ходе их метаболизма.

В практической части работы были проведены рекогносцировочные исследования, отражающие перспективы использования суспензии микроводоросли *Chlorella Vulgaris*, выращенной на водных вытяжках твердых органических отходов питомника приматов, для биологизации и повышения свойств плодородности минеральных субстратов, состоящих их мелкодисперсных фракций отходов добывающей промышленности.

Для эксперимента использовался штамм *Chlorella Vulgaris ИФР N C-III*. Маточная культура получена на среде Таммия в лабораторных условиях при температуре 27°C и искусственном освещении. Эксперимент проходил в естественных условиях и без внесения дополнительных микроэлементов для роста водорослей и перемешивания.

В качестве культуральной среды в рекогносцировочном опыте использовалась 20%-ная вытяжка из органического отхода питомника приматов, полученная путем разведения и перемешивания отходов с водопроводной водой. После этого вносилась маточная культура хлореллы в объеме 1% от общего объема раствора. При этом начальная плотность культуры была 1 млн кл/мл. Плотность культуры после этого определялась ежедневно путем подсчета клеток хлореллы в камере Горяева. Плотность культуры достигала 65–70 млн кл/мл на 5 день эксперимента.

Эта культура использовалась как субстрат для создания вермикомпоста на основе нейтральной минеральной фракции и суспензии хлореллы с использованием монокультуры червей Владимирский старатель (*Eisenia foetida*). Субстрат с компостными червями обрабатывался суспензией хлореллы (1 л суспензии на семью червей)

ежедневно. Цель рекогносцировочного исследования – выделить основные направления дальнейшей работы в рамках исследования потенциальных возможностей рекультивации отходов карьеров и получению на их основе коммерческого продукта, используя относительно недорогие и экологически приемлемые биотехнологии.

Результаты исследования и их обсуждение

Черноморское побережье Краснодарского края является основным рекреационно-курортным регионом России, включающим города Большой Сочи, Туапсе, Геленджик, Новороссийск и Анапу. Для карьеров, расположенных на побережье, где производится добыча строительных материалов, необходимо использовать наилучшие доступные технологии, соответствующие всем природоохранным требованиям.

Другой проблемой, в устранении которой могут быть использованы предложенные решения, является складирование твердых коммунальных и строительных отходов в отработанных карьерах. Из-за дороговизны и неудобства вывоза отходов из г. Сочи значительная часть отходов сваливается в лесных массивах, оврагах и карьерах в окрестностях города, в частности на территории Сочинского национального парка [6]. Особую опасность представляют карьеры, расположенные на берегах водных объектов, особенно в непосредственной близости к водозаборам питьевой воды, расположенным в долинах рек.

На Черноморском побережье находится целый ряд карьеров по добыче инертных материалов. Ниже приводится краткая характеристика карьеров Черноморского побережья Краснодарского края. В районе Большого Сочи расположено три карьера по добыче известняка.

Известняк широко применяется в качестве строительного материала. Кроме того, известняк используется в химической и пищевой промышленности: в производстве соды, минеральных удобрений, стекла, сахара, бумаги. Известняк является осадочной горной породой органического происхождения. Химическая формула известняка CaCO_3 . В карьерах слои известняка часто перемежаются прослоями доломитизированного известняка или доломита. Это также осадочная карбонатная горная порода, которая на 95 % состоит из минерала доломита и некоторых примесей. Химическая формула доломита $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

Ниже приводится краткая характеристика карьеров, расположенных на Черноморском побережье Краснодарского края.

Ахштырский карьер по добыче известняков находится рядом с селом Ахштырь Адлерского района Сочи, расположенным на левом склоне долины реки Мзымта. Карьер обеспечивал строительными материалами строительство совмещенной дороги из Адлера в Красную поляну в период реализации олимпийского проекта с 2009 по 2014 г. В настоящее время карьер закрыт. Карьер находится в пределах Ахштырского карстового массива, который является зоной питания Мзымтенского месторождения подземных вод, обеспечивающих питьевой водой более половины населения г. Сочи. В 2013 г. карьер стал использоваться для складирования строительных и твердых коммунальных отходов. Складирование отходов в карьере, для которого характерно активное протекание карстовых процессов, может нанести непоправимый вред месторождениям подземных вод в долине р. Мзымты. В результате нерационального использования отработанного Ахштырского карьера возрастают риски загрязнения почв, грунтов, поверхностных и подземных вод.

Каменский карьер находится рядом с селом Галицино Адлерского района Сочи, на правом склоне долины реки Мзымта. Это действующий карьер по добыче открытым способом известняка для строительных нужд большого курортного региона Сочи. Каменский карьер обеспечивал строительными материалами многие олимпийские объекты в период реализации олимпийского проекта в Сочи в период с 2008 по 2014 г.

Дагомысский карьер расположен в районе пос. Дагомыс Лазаревского р-на г. Сочи. Известняковый или доломитовый щебень Дагомысского карьера имеет отличную ударостойкость и высокую устойчивость к перепадам температур. Он обладает низким водонасыщением и водопоглощением.

Туапсинский карьер расположен в пределах Кривенковского месторождения известняков, которое находится на склонах горы Невеб в Туапсинском районе. В Туапсинском карьере осуществляется производство щебня известняка различных фракций, а также бутового и негабаритного камня.

В границах Новороссийского района Краснодарского края находится множество карьеров по добыче мергеля. Это связано с тем, что горы вокруг Цемесской бухты сложены из мергеля. Это осадочные породы верхнемелового периода. Большая часть

мергелей представляет собой смесь глин с доломитом или известняком. Известковый мергель – главное сырье цементной промышленности. Встречаются мергели, большая часть состава которых приходится на глины или силикаты. Глинистые мергели содержат до трех четвертей алюмосиликатов. В кремнистых мергелях до 98% объема приходится на SiO₂. Мергель в основном используется при производстве цемента. Качество новороссийского мергеля позволяет производить цемент высшей мировой пробы.

В районе г. Новороссийска существует несколько карьеров по добыче мергеля: Шесхарис, Мефодиевский, Мирный, карьер бывшего цементного завода и др.

Шесхаринский карьер. На нем разрабатывается наиболее крупное месторождение мергелей. По качеству щебень из пород этого месторождения отвечает ГОСТ 8267-93, имеет марку по дробимости «400-600», по истираемости И-III, по сопротивлению удару У-50, по морозостойкости Мрз 50.

При производстве работ на дробильно-сортировочном узле мергель дробится на щебень с выходом двух фракций 20–40 мм и 5–20 мм. Количество второй фракции составляет 30% от общего количества щебня, получаемого из горной массы.

На большинстве карьеров и участках открытой добычи образуются мелкодисперсные отходы, в которых в основном частицы не 75–100 микрон: глины – менее 2 микрон, илы – от 2 до 60 микрон, мелкий песок – более 60 микрон [7]. Химический состав известняковых отходов определяется главным образом содержанием кальция CaO (56%) и CO₂ (44%). В ряде случаев материал включает в себя примеси глинистых минералов, например доломитизированный известняк содержит от 4 до 17% MgO, мергелистый известняк – от 6 до 21% SiO₂ + R₂O₃. Эти материалы чаще всего химически инертны. Однако мелкодисперсные известняковые фракции (менее 10 микрон) могут влиять на химический состав поверхностных вод и почвы, снижая их кислотность [8]. Это свойство используется фермерами Северной Америки, Австралии, Южной Африки, которые используют известковые отходы некоторых участков горных разработок как удобрения для кислых почв [4]. Многие химические элементы, образующие составные мелкодисперсных известняковых отходов, являются биогенами и микроэлементами, входящими в состав большинства питательных сред и субстратов для культивации культур одноклеточных водорослей [9].

За последние годы было опубликовано множество работ, посвященных культивированию микроводорослей на вытяжках органических отходов животноводства. Например, для выращивания культуры *Chlorella Vulgaris* предлагается использование вытяжек из отходов животноводческих и птицеводческих хозяйств [10]. Учеными Института морских биологических исследований имени А.О. Ковалевского (г. Севастополь) была исследована возможность выращивания *Arthrospira (Spirulina) platensis* на вытяжке из кроличьего и куриного навоза. Методы позволяют утилизировать органические отходы животноводческих комплексов экологически приемлемым способом, основанном на свойствах метаболизма микроводорослей – автотрофов, поглощающих биогенные вещества, являющиеся основой органических отходов. Кроме того, значительную роль играют и естественные бактерицидные свойства водорослей *Chlorella Vulgaris*, обеспечивающие ограничение распространения патологической микрофлоры в конечном продукте [11].

Работы позволяют сделать выводы, что практически все виды органических отходов животноводства могут использоваться одновременно для технологического процесса очистки сточных вод и утилизации твердых отходов и для экономически эффективного получения биомассы водорослей. Биохимический состав отходов из различных источников происхождения будет отличаться и, соответственно, количество, качественные характеристики полученной в процессе их очистки биомассы водорослей и возможности ее дальнейшего применения тоже будут различны. Один из способов утилизации биомассы микроводорослей, в частности *Chlorella Vulgaris*, это альголизация обедненных органикой почвенных субстратов, полученных на основе мелкодисперсных отходов карьеров, с целью повышения плодородности таких субстратов для выращивания сельскохозяйственных культур и рекультивации земель, занятых отвалами добычи минералов или полигонами ТКО [12, 13].

Метод рекультивации отходов из отвалов добывающей промышленности и земель, используемых для полигонов муниципальных отходов был апробирован в Таиланде. Отмечено, что в нетоксичных или слаботоксичных вытяжках отходов (10%, и 20%, и 30% вытяжки) наблюдалось существенное снижение не только эфтрофицирующих компонентов (Азот аммоний-

ный – до 41,5%, азот нитритов – до 32,4%, общий фосфор – до 55,1%), но и содержания металлов (цинка – до 90%, никеля – до 70% и хрома – до 60%) [14]. Кроме того, при использовании культуры хлореллы в сочетании с мелкодисперсными кальциевыми компонентами достигается значительное повышение pH вытяжек (с 4 до 7).

Установлено, что с 1000 л сточных вод животноводческих комплексов можно получить от 2800 до 4250 кг живой биомассы микроводорослей. Такая суспензия может эффективно использоваться для обеспечения биологизации нейтрального минерального субстрата или формирования высокопродуктивного вермикомпоста [5, 14, 15].

В проведенных нами рекогносцировочных экспериментах по выращиванию суспензии микроводоросли Хлорелла на вытяжках органических отходов питомника приматов научно-исследовательского института экспериментальной патологии и терапии Академии наук Абхазии (НИИЭПит АНА) наблюдался повышенный (в 2 раза), по сравнению с выращиваемой на стандартной культивационной среде водорослью, прирост биомассы без добавления дополнительных микроэлементов. Результат был получен при естественном освещении и температурном режиме без дополнительной аэрации раствора. Плотность клеточной культуры после трех дней культивации была 65–70 млн кл/мл. Этот результат подтверждает данные, полученные учеными ИнБИОМа [13].

Суспензия хлореллы, полученная на 20% вытяжке из органических отходов питомника, использовалась в комплексе с нейтральным субстратом, для получения вермикомпоста с помощью монокультуры червей «Владимирский Старатель». В настоящее время эксперимент продолжается для установления оптимальной пропорции смеси минерального субстрата и органической фракции, основанной на суспензии хлореллы, а также для определения и анализа биохимических реакций процесса. Как отмечалось выше, при различных качественных характеристиках минеральных и органических отходов, планирование процесса может варьироваться в соответствии с конкретными исходными данными и условиями.

Выводы

На основе рекогносцировочных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Химически инертные мелкодисперсные фракции отходов карьеров, в частности

известняковых, не утилизируемые в строительной индустрии, могут быть использованы как основа субстрата для выращивания сельскохозяйственных культур после биологизации с помощью суспензии микроводорослей. Живые микроводоросли, с одной стороны, способны поглощать для своей жизнедеятельности такие элементы, как Ca, Mg, Fe, Si, содержащиеся в минеральных отходах, а с другой – обогащать минеральный субстрат органическими веществами, необходимыми для метаболизма растений, и повышать усвояемость растениями неорганических элементов.

2. Суспензия биомассы живых клеток хлореллы может быть получена на вытяжках из органических отходов животноводства и эфтрофирующих стоков очистных сооружений без добавления дополнительных дорогостоящих микроэлементов. В условиях субтропического климата Черноморского побережья может происходить в естественных условиях круглогодично. При этом достигаются две цели: эффективная очистка эфтрофицирующего стока, содержащего избыток биогенов, и получение биомассы водорослей, которые потенциально могут быть использованы для ревитализации минеральных отходов, создания биогаза и рекультивации земель.

3. Для создания эффективной схемы утилизации отходов карьеров данного региона необходим тщательный анализ их физико-химических свойств, а также биохимического состава органического отхода, который может быть использован по месту расположения карьера. Исходя из этого анализа, должен разрабатываться технологический план комплексной утилизации отходов и коммерческого использования конечного продукта, так как его свойства и химический состав будут зависеть от характеристик исходных составляющих. Однако отходы практически любого типа могут быть утилизированы с использованием суспензии хлореллы, включая существующие отвалы полигонов ТКО, содержащие соединения металлов.

4. Хотя аспект биологической очистки твердых и жидких отходов с помощью микроводорослей изучается в настоящее время довольно широко, эта тема нуждается в дальнейших исследованиях и развитии в регионах. При этом, по мнению авторов, схема может потенциально расширяться и включать, помимо использования микроводорослей, различные биотические и абиотические компоненты для достижения максимально эффективного результата.

5. Предложенный в статье подход может быть применен для решения экологических проблем и минимизации экологических рисков добычи строительных материалов с учетом специфики Черноморского побережья России.

Список литературы / References

1. Алексеенко А.В., Дребенштедт К. Оценка воздействия на окружающую среду и рекультивацию отвалов карьера по добыче мергеля // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки. 2018. Т. 42. № 3. С. 467–477. DOI: 10.18413/2075-4671-2018-42-3-467-477.

Alekseenko A.V., Drebenstedt K. Environmental impact assessment and reclamation of marl quarry dumps // Scientific Bulletin of the Belgorod state University. Natural Sciences series. 2018. V. 42. № 3. P. 467–477 (in Russian).

2. Гудкова Н.К. Исследование факторов риска и возможных последствий активизации опасных природных процессов при реализации инвестиционных проектов в Сочином регионе // Сборник научных трудов СНИЦ РАН. 2015. Сочи, 2015. С.118–127.

Gudkova N.K. Studying of risk factors and possible consequences of natural hazards activation during the implementation of investment projects in the Sochi region // Sbornik nauchnykh trudov SNITS RAN. 2015. Sochi, 2015. P. 118–127 (in Russian).

3. Гудкова Н.К., Туманова А.Л. О проблемах внедрения экологического менеджмента в курортно-рекреационной сфере Юга России // Успехи современного естествознания. 2007. № 3. С. 9–10.

Gudkova N.K., Tumanova A.L. On the problems of ecological management introduction in the South of Russia resort and recreational sphere // Advances in current natural sciences. 2007. № 3. P. 9–10 (in Russian).

4. Annandale J.M., Gorbunova T.L., Gudkova N.K. Gravity settlement of process sources in open cast quarries, mines and resultant effects and the potential use of fines, dust in the environment. Proceedings of conference Sochi «Economic, technological and environmental aspects of sustainable development of Russian regions. Russian Federation. Sochi. 23–26 October. Sochi, 2018. P. 206–213.

5. Афанасьев А.В. Анализ технологий переработки навоза и помета // Вестник ВНИИМЖ. 2012. № 4. С. 28–35.

Afanasyev A.V. Analysis of technologies of manure and litter processing // Vestnik VNIIMZH. 2012. № 4. P. 28–35 (in Russian).

6. Гудкова Н.К. Олимпийский проект в Сочи: экологические аспекты // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 2. С. 91–94.

Gudkova N.K. Sochi Olympic Projects: Ecological Aspects // Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo. 2015. № 2. P. 91–94 (in Russian).

7. Rhodes M. Introduction to particle technology. 2d ed. Australia: J. Willey and Son, 2008. 474 p.

8. Антоненко Н.А., Дергунов Д.В., Шейнкман Л.Э. Исследование влияния известняковой мелкодисперсной пыли,

образующейся при открытых горных работах, на свойства почвы // Известия Тульского Государственного университета. Науки о Земле. 2017. № 2. С. 3–17.

Antonenko N.A., Dergunov D.V., Sheinkman L.E. Studying the fine limestone dust formed by semi-opened mining operations influence on soil properties // Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo universiteta. Nauki o zemle. 2017. № 2. P. 3–17 (in Russian).

9. Andersen R.A., Berges J.A. Harrison P.J., Watanabe M.M. Recipes for freshwater and seawater media. Algae culture techniques. Elsevier Academic press, 2005. P. 429–538.

10. Лукьянов В.А. К вопросу использования *Chlorella vulgaris* для биологической доочистки сточных вод // Актуальные проблемы агропромышленного производства: материалы Международной научно-практической конференции. Курск, 2013. С. 49–51.

Lukyanov V.A. On the issue of *Chlorella vulgaris* use for biological wastewater treatment // Actual problems of agricultural production: materials of the International scientific-practical conference. Kursk, 2013. P. 49–51 (in Russian).

11. Лукьянов В.А., Стифеев А.И., Горбунова С.Ю. Научно обоснованное культивирование микроводорослей // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 9. С. 55–57.

Lukyanov V.A., Stifeev A.I., Gorbunova S.Yu. Evidence-based cultivation of microalgae // Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2013. № 9. P. 55–57 (in Russian).

12. Горбунова С.Ю., Жондарева Я.Д. Использование сточных вод птицефабрик для увеличения продуктивности *Arthrospira platensis* (Nordst.) Geitler // Вестник СПбГУ. Серия 3. Биология. 2015. № 1. С. 70–77.

Gorbunova S.Yu., Zhondareva Ya.D. Using of poultry farms wastewater to increase productivity of *Arthrospira platensis* (Nordst.) Geitler // Vestnik SPbGU. Seriya 3. Biologiya. 2015. № 1. P. 70–77 (in Russian).

13. Лукьянов В.А., Горбунова С.Ю. Экологическая система утилизации отходов агропромышленного комплекса и получение на их основе биомассы микроводорослей // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 6–1. С. 79–82.

Lukyanov V.A., Gorbunova S.Yu. Eco-technological system of agro-industrial complex waste utilization and production of microalgae biomass on its basis // Aktual'nyye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk. 2014. № 6–1. P. 79–82 (in Russian).

14. Thongpinyochai S., Ritchie R.J. Using *Chlorella vulgaris* to decrease the environmental effect of garbage dump leachates. Journal of Bioremediation and Biodegradation. 2014. V. 5. P. 239. DOI: 10.4172/2155-6199.1000239.

15. Куницын М.В. Патент 1 С 7 6 0 4 5 4 2 U R. Способ стимуляции развития, роста и продуктивности древесных растений на гидропонных установках тепличного комплекса. Публикация патента 27.06.2012.

Kunitsyn M.V. Patent 1 С 7 6 0 4 5 4 2 U R. Method of stimulation of development, growth and productivity of woody plants on hydroponic installations of a greenhouse complex. Publication of the patent 27.06.2012 (in Russian).