

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

## ВОДОРОСЛИ БЕЛОГО МОРЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

А.П. Щербак, С.В. Тишков

Институт экономики Карельского научного центра РАН  
*пр. А. Невского, 50, г. Петрозаводск, Республика Карелия, 185030*

В статье рассмотрены перспективы использования водорослей в различных сферах жизнедеятельности. Приведены качественные и количественные показатели, а также рассчитан потенциал и общий запас в двух самых крупных фьордах Белого моря — Чупинская губа и район острова Соностров (Лоухского района Республики Карелия). Приведены экономические расчеты использования запасов водорослей Белого моря.

**Ключевые слова:** биогаз, биодизель, биоэнергетика, энергетический потенциал, водоросли, Белое море, альтернативная энергетика

Исследование возможностей использования водорослей в качестве источника энергии является одним из перспективных направлений современной альтернативной энергетики. Его основной проблемой являются высокие затраты, но привлечение нанотехнологий открывает возможность существенно снизить стоимость получаемых из водорослей масел.

Выращивание водорослей в специально освещаемых и перемешиваемых водоемах позволяет получать биомассу не только на поверхности, но и в толще воды. Простые способы выделения масел (отжим и экстракция) дают на выходе более 50% готового топлива от массы исходного сырья. Но пока такое производство уступает добыче нефти и некоторым другим способам производства энергии в рентабельности.

По оценкам Департамента энергетики США, с одного акра земли ( $4047 \text{ м}^2 \sim 0,4 \text{ га}$ ) можно получить до 255 л соевого масла или до 2400 л пальмового масла. С такой же площади водной поверхности можно производить до 3570 барреля бионефти (1 баррель = 159 л). По оценкам компании Green Star Products, с 1 акра земли можно получить 48 галлонов соевого масла, 140 галлонов масла канолы и 10 000 галлонов биодизеля из водорослей.

Департамент энергетики США с 1978 г. исследовал водоросли с высоким содержанием масла по программе Aquatic Species Program. Исследователи пришли

к выводу, что Калифорния, Гавайи и Нью-Мексико пригодны для промышленного производства водорослей в открытых прудах. В течение шести лет водоросли выращивались в прудах площадью 1000 м<sup>2</sup>. Пруд в Нью-Мексико показал высокую эффективность в захвате CO<sub>2</sub>. Урожайность составила более 50 г водорослей с 1 м<sup>2</sup> в сутки. До 200 тыс. га прудов могут производить топливо достаточное для годового потребления 5% автомобилей США (площадь 200 тыс. га составляет менее 0,1% земель США, пригодных для выращивания водорослей). У технологии еще остается множество проблем. Например, водорослям необходима высокая температура, для их выращивания хорошо подходит пустынный климат, но требуется специальная температурная регуляция при ночных перепадах температур. В конце 1990-х гг. технология не попала в промышленное производство из-за низкой стоимости нефти, которая с тех пор существенно выросла.

Кроме выращивания водорослей в открытых прудах, существуют технологии выращивания водорослей в малых биореакторах, расположенных вблизи электростанций. Сбросное тепло ТЭЦ способно покрыть до 77% потребностей в тепле, необходимом для выращивания водорослей. Такая технология уже не требует жаркого пустынного климата.

В 2006 году несколько компаний объявили о строительстве заводов по производству биодизеля из водорослей: Global Green Solutions (Канада) по технологии компании Valcent Products (США) — мощность производства 4 млн баррелей бионефти в год, Bio Fuel Systems (Испания) и De Beers Fuel Limited (ЮАР) по технологии Greenfuel Technologies Corporation (США) — мощность производства 900 млн галлонов биодизеля в год (одновременно с водорослями использовали подсолнечное масло), Aquaflow Bionomic Corporation (Новая Зеландия) — мощность производства 1 млн л биодизеля в год.

### **Перспективы использования водорослей Белого моря**

Морские водоросли представляют собой ценное сырье, из которого получают целый ряд веществ, необходимых для пищевой, химической и фармацевтической промышленности. Среди них в первую очередь следует назвать органические соединения йода, монит, агар и многое другое. Кроме того, в традиционном сельском хозяйстве Поморья они используются в качестве удобрения.

Для начала остановимся на ламинарии, или морской капусте, использование которой было начато еще в 1980-х гг. Ламинария является наиболее распространенной водорослью в акватории Белого моря. Она используется для производства маннита и альгината натрия [1]. Кроме того, эта водоросль незаменима в пищевой промышленности благодаря повышенному содержанию йода, недостаток которого провоцирует известные нарушения здоровья у населения северных районов. Подчеркнем, что усвоение этого элемента из морской капусты на 70% выше, чем при использовании медицинских препаратов. Вторым по величине запасом вида водорослей Белого моря является фукус. Эта водоросль служит источником альгината натрия и, самое главное, из нее производят кормовую крупку, используемую в животноводстве. Дело в том, что водорослевый корм — не заменитель сена или других грубых либо сочных кормов, а очень ценная диетическая и лечебная пищевая добавка. В пищевой рацион животных и птиц ее включают по потреб-

ности. В условиях Севера, в отдельных местностях, где в почве недостаточно минеральных веществ, наблюдается зимнее минеральное голодание сельскохозяйственных животных, которое чаще всего встречается у молодняка. Это негативно сказывается на здоровье и продуктивности поголовья. В таких случаях использование водорослевой кормовой добавки приобретает особенно важное значение. В приморских районах водоросли скармливаются животным свежими или в виде силоса, а в местах, удаленных от морского побережья, — сушеными, в виде водорослевого сена и кормовой крупки. Наконец, третьим важным видом водорослей Белого моря можно назвать анфельцию, из которой изготавливают агар. Это вещество необходимо как в пищевой (естественный источник желатина), так и в медицинской промышленности (изготовление питательных сред для культивирования микроорганизмов) [1].

Кроме очевидной ценности морских водорослей с точки зрения практического применения, существует и конкретная, рыночная стоимость данного сырья. В зависимости от вида продукции, ее качества и конъюнктуры мирового рынка цены на водорослевую продукцию колеблются в пределах 1,5—2 долл. США за 1 кг сырой продукции, 4—5 долл. за 1 кг технического альгината, до 100 долл. за 1 кг особо чистого альгината, 250—300 долл. за 1 кг каррагенана высокого качества. При этом цены на водорослевую продукцию остаются относительно постоянными и даже имеют тенденцию к повышению благодаря устойчивому спросу на эту продукцию в пищевой, кондитерской, парфюмерной, фармацевтической, кожевенной, бумажной, текстильной, лакокрасочной и многих других отраслях промышленности [2; 3].

Как можно видеть, морские водоросли — достаточно ценный продукт и они могут быть использованы в самых разных областях. С другой стороны, добывать морские водоросли достаточно сложно [2]. К примеру, ламинария растет только под водой и добывать ее можно либо драгами, либо путем выкашивания зарослей со шлюпок. Простой расчет стоимости работ по добычанию ламинарий показывает, что бригада из трех человек за четыре месяца работы при средней заработной плате в 30 тыс. руб обойдется в 360 тыс. Исходя из опыта работы по добыче данного вида водорослей, можно предположить, что общее количество добытого продукта по самым оптимистичным прогнозам составит около 1—1,5 т в день. Соответственно, учитывая стоимость сырой продукции, за сезон бригада заработает около 4 млн руб. Казалось бы, выгода очевидна. Однако если мы примем во внимание стоимость доставки водорослей к ближайшей шоссейной дороге и последующую транспортировку к месту продажи, то вышеуказанная сумма «похудеет» как минимум на 1,5—2 млн руб. В итоге мы получаем прибыль порядка 1,5 млн руб за сезон, а если взять в расчет и налоговую нагрузку, то окончательная доходность составит не более 700 000 руб. Можно сказать, что добыча ламинарии на Белом море — достаточно выгодный бизнес, но не будем забывать, что мы показали идеальный сценарий. Главная проблема, с которой столкнулись, в частности, создатели ферм по выращиванию мидий, это конкуренция. Скорость роста как водорослей, так и морских беспозвоночных на севере в несколько раз ниже скорости роста аналогичной продукции на юге. К примеру, для выращивания товарной продукции в Юго-Восточной Азии достаточно одного года, тогда

как в Белом море этот срок составляет минимум три года. Таким образом, данный вид бизнеса в условиях севера России будет менее конкурентоспособен.

Теперь стоит остановиться еще на двух вариантах использования морских водорослей в промышленности, которые, возможно, будут более выгодными с экономической точки зрения. Первый вариант — это применение водорослей в качестве удобрения. Использование морских растений для удобрения имеет многовековую давность. Известно, что в монастырском хозяйстве на Соловецких островах водоросли использовались в качестве удобрений лугов и огородов. И по сей день во многих поморских селах, там, где преобладают песчаные почвы, землю удобряют морскими растениями. В некоторых приморских странах водорослями удобряют почву на виноградниках, полях, лугах и в огородах. Морские растения вносят в почву необходимые минеральные соединения и разнообразные микроэлементы. При распаде водорослей развиваются бактериальные процессы, которые способствуют повышению температуры почвы. Картофель, выращенный на земле, удобренной водорослями, долгое время противостоит осенним заморозкам, и ботва его остается зеленой даже тогда, когда на соседних, неудобренных участках она уже почернела и увяла. Удобрения из водорослей разрыхляют почву, хорошо сохраняют влагу и вносят с собой азотоусваивающие бактерии, которые увеличивают плодородие почвы. Морские растения разлагаются быстрее, чем другие органические удобрения (например, навоз), и не засоряют почву ни семенами сорных растений, ни спорами паразитных грибков, ни личинками вредных насекомых. Таким образом, водоросли могут стать экологически чистой альтернативой традиционному органическому и минеральному удобрению. Практикой установлено, что при удобрении почвы морскими растениями урожаи луговых трав, картофеля и других овощей удваиваются и даже утраиваются. В Японии, США и других странах из морских водорослей получают тысячи тонн калийной соли, которую используют для удобрения. Человечество накопило огромный опыт использования морских растений в сельском хозяйстве в качестве корма и удобрений. И в том и другом велика потребность на Севере. Поэтому широкое применение беломорских водорослей существенно расширит возможности развития сельского хозяйства. В настоящее же время применение водорослей и морской травы в сельском хозяйстве северного края еще весьма ограничено [6; 7].

Следующий вариант использования морских водорослей, на котором стоит остановиться, это биоэнергетика. Водоросли могут быть преобразованы в биотопливо несколькими способами. Брожение (анаэробное сбраживание) — самый распространенный способ, в результате получают этанол и метан. Второй вариант — пиролиз (нагрев без доступа кислорода), который дает бионефть («зеленый бензин»). Водоросли давно считаются потенциальным источником биологического топлива. Несколько компаний занимаются созданием этих растений в масштабе, достаточном для проведения экспериментов, но не в промышленных объемах. При этом специалисты полагают, что конечная цена нового топлива будет выше традиционного [4; 5].

В настоящее время стоимость производства биотоплива составляет порядка 4300 долл. США за переработку 1 т водорослей. При существующих затратах на сбор и переработку водорослей производство биодизеля пока является неэффек-

тивным для Республики Карелия. Основная проблема заключается в получении водорослей в больших объемах по низкой цене. Сбор водорослей представляет собой очень трудоемкий процесс. Для того чтобы запустить прибыльное биоэнергетическое производство, необходимо как минимум 2 млн т влажного сырья. Таким образом, рентабельность производства этанола или биогаза из водорослей будет полностью зависеть от эффективности процесса заготовки водорослей.

### **Потенциал водорослей Белого моря**

Для использования морских водорослей в качестве удобрений и в биоэнергетике возможен альтернативный, гораздо менее затратный способ заготовки сырья — сбор его из штормовых выбросов. В недавнем прошлом этот способ практиковался, по крайней мере, в Кандалакшском заливе Белого моря. В течение года на берега Белого моря выбрасывается около 100 тыс. т донных растений. Местное население выбирает из выбросов анфельцию, небольшую часть фукусов и ламинарий, остальное большое количество растений не находит никакого применения и сгнивает, тем самым загрязняет прибрежные воды Белого моря. Стоит особо подчеркнуть, что именно частичное перегнивание водорослей делает штормовые выбросы особенно ценными для удобрения почвы и получения биогаза. Это связано с тем, что нет необходимости ждать, когда морская трава начнет перегнивать — этот процесс уже частично начался [8].

Широкому применению этого метода заготовки водорослей препятствует то, что штормовые выбросы Белого моря исследованы еще недостаточно. До сих пор они в основном изучались с научной точки зрения для получения информации о видовом составе. В связи с этим научной группой сотрудников Карельского научного центра РАН была предпринята попытка изучить качественные и количественные показатели, характеризующие запасы штормовых выбросов в двух районах Белого моря — губе Чупа (самый крупный беломорский фьорд) и острова Соностров Лоухского района республики Карелия [8].

В результате работ было установлено, что средняя толщина слоя выбросов в Чупинской губе составляет  $59 \pm 8$  мм, на мористом побережье о-ва Соностров — порядка 120 мм. В составе выбросов в пределах губы Чупа преобладают фукусы. Помимо фукусов, в выбросах присутствует анфельция и зеленая водоросль кладофора. Общий запас северного берега губы составляет 125 тонн, а южного — 199 т. Таким образом, общий запас штормовых выбросов губы Чупа оценивается в 324 т. Интересно, что от входного устья до устья реки Пулонга, примерно половины длинны губы, запас штормовых выбросов составляет около 321 т, тогда дальше было найдено только 94 т. То есть основная часть выбросов расположена ближе к морю.

В выбросах о-ва Соностров в основном отмечена ламинария, запас которой составил всего лишь 2 т. Достаточно небольшой объем штормовых выбросов связан с тем, что берега острова, в основном скалистые и выбросы не имеют возможности скапливаться на берегу — их тут же смывает приливная или штормовая волна.

Если мы рассчитаем экономический потенциал использования запасов именно губы Чупа, то окажется что, из 324 т. штормовых выбросов можно получить

около 40,5 т сухой товарной продукции. Следовательно, общий запас губы Чупа по предварительным оценкам на мировом рынке составляет порядка 400 000 евро. Тем не менее по предварительным расчетам в настоящий момент использование водорослей на нужды энергетики не является экономически целесообразным. При этом основную роль в отсутствии рентабельности заготовки и переработки водорослевого сырья играет высокий удельный вес энергетической составляющей в себестоимости продукции, которая имеет постоянную тенденцию к удорожанию [8].

\*\*\*

В результате проведенного исследования было выявлено, что водоросли являются ценным биологическим ресурсом. Учеными разных стран мира проводится работа по расширению спектра использования водорослей в различных сферах деятельности, в том числе фармацевтическая, пищевая, химическая и энергетическая промышленность. Основную роль в отсутствии рентабельности заготовки и переработки водорослевого сырья играет высокий удельный вес энергетической составляющей в себестоимости продукции. Вместе с тем, недостаточна пропаганда значимости продуктов переработки водорослей и их полезных качеств. Также одним из сдерживающих факторов в использовании водорослей являются высокие цены на ГСМ, которые существенно снижают возможности предприятий по вывозу и дальнейшей транспортировке водорослей и штормовых выбросов.

Для Республики Карелия существует ряд особенностей при сборе штормовых выбросов и водорослей, а именно — сезонность и отсутствие специализированного флота. Время сбора штормовых выбросов ограничено августом-октябрем. Это связано с тем, что ноябрьские штормы могут смыть обратно все выбросы. После зимы же берега остаются практически чистыми, поскольку весенний паводок и уходящие льды смывают все водорослевые наносы.

В связи с тем, что данное направление исследований в мировой и российской науке только зарождается и объем требуемых исследований велик, необходимо более детальное изучение водорослевого потенциала Белого моря.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бахмет И.Н., Тишков С.В. Водоросли Белого моря: перспективы использования // Север и рынок: формирование экономического порядка. 2014. Т. 6. № 43. С. 36–38.
- [2] Виноградова К.Л., Штрик В.А. Дополнения к флоре водорослей северных морей России // Бот. журн. 2005. № 10. Т. 90. С. 1593–1599.
- [3] Калугина А.А. Флора водорослей Белого моря: дисс. ... канд. биол. наук. Л., 1958.
- [4] Марков С.А. Водоросли: водород, биодизельное топливо, углекислый газ и очистка воды // Альтернативная энергетика и экология». 2009. № 4. С. 9–11.
- [5] Марков С.А. Использование водорослей для получения биотоплива и удаления избытка углекислого газа из атмосферы // Альтернативная энергетика и экология». 2009. № 2. С. 83–90.
- [6] Мягков Г.М. Состав, распределение и сезонная динамика биомассы водорослей биоценоза ламинарий губы Чупа Белого моря (по материалам водолазных работ) // Вестник ЛГУ. Сер. Биол. 1975. Вып. 1. № 3. С. 48–53.

- [7] Стребков Д.С., Росс М.Ю., Шкекочихин Ю.М., Порев И.А. Производственно-технологический потенциал водоочистных сооружений в культивировании микроводорослей для альтернативной энергетики // Достижения науки и техники АПК. 2009. № 1. С. 53—54.
- [8] Чернова Н.И., Киселева С.В., Зайцев С.И. Проблемы получения биотоплива третьего поколения: воздействие стрессоров на накопление нейтральных липидов в сине-зеленых водорослях (цианобактериях) // Альтернативная энергетика и экология». 2014. № 12. С. 70—83.

## THE WHITE SEA ALGAE AND THEIR PROSPECTS OF USING

A.P. Shcherbak, S.V. Tishkov

Institute of Economics of the Karelian Research Centre of RAS  
*Alexander Nevsky distr. 50, Petrozavodsk, Russian Federation, 185030*

The paper deals with the prospects for the use of algae in different areas of human life. Qualitative and quantitative indicators are given, as well as capacity and the total stock in the two largest fjords of the White Sea — Chupa bay and the area of the island Sonostrov (Louhi region of the Republic of Karelia) are calculated. The paper provided the profitability of using the White Sea algae resources.

**Key words:** biogas, biodiesel, bioenergy, energy potential, algae, White Sea, alternative energy

### REFERENCES

- [1] Bahmet I.N., Tishkov S.V. Vodorosli Belogo morja: perspektivy ispol'zovaniya Sever i rynek: formirovanie jekonomicheskogo porjadka [Algae of the White sea: prospects for the use of North and market: formation of economic order]. 2014. T. 6. № 43. S. 36—38.
- [2] Vinogradova K.L., Shtrik V.A. Dopolnenija k flore vodoroslej severnyh morej Rossii [Additions to the flora of algae of the Northern seas of Russia]. Bot. zhurn. 2005. №10. T. 90. S. 1593—1599.
- [3] Kalugina A.A. Flora vodoroslej Belogo morja [Flora of algae of the White sea ] Diss. kand. biol. nauk [Ph.D Dr. biol. sci. diss.]. L., 1958.
- [4] Markov S.A. Vodorosli: vodorod, biodizel'noe toplivo, uglekislyj gaz i ochistka vody. [Algae: hydrogen, biodiesel, carbon dioxide and water purification]. Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal "Al'ternativnaja jenergetika i jekologija" [International scientific journal "Alternative energy and ecology"]. 2009. № 4. S. 9—11.
- [5] Markov S.A. Ispol'zovanie vodoroslej dlja poluchenija biotopliva i udalenija izbytko uglekislogo gaza iz atmosfery. [Use of algae for biofuel production and remove excess carbon dioxide from the atmosphere]. Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal "Al'ternativnaja jenergetika i jekologija" [International scientific journal "Alternative energy and ecology"]. 2009. № 2. S. 83—90.
- [6] Mjagkov G.M. Sostav, raspredelenie i sezonnaja dinamika biomassy vodoroslej biocenoza laminarij guby Chupa Belogo morja (po materialam vodolaznyh rabot) [Composition, distribution and seasonal dynamics of biomass of algae biocenosis kelp of the Chupa inlet of the White sea (on materials of diving operations)] // Vestnik LGU. Ser. Biol. 1975. Vyp. 1. № 3. S. 48—53.
- [7] Strebkov D.S., Ross M.Ju., Shhekokihin Ju.M., Porev I.A. Proizvodstvenno-tehnologicheskij potencial vodoочистnyh sooruzhenij v kul'tivirovanii mikrovodoroslej dlja al'ternativnoj jenergetiki [Production and technological potential of wastewater treatment plants in the cultivation of

microalgae for alternative energy]. Dostizhenija nauki i tehniki APK [The achievements of science and technology of agriculture]. 2009. № 1. S. 53—54.

- [8] Chernova N.I., Kiseleva S.V., Zajcev S.I. Problemy polucheniya biotopliva tret'ego pokolenija: vozdejstvie stressorov na nakoplenie nejtral'nyh lipidov v sine-zelenyh vodorosljah (cianobakterijah) [Problems of obtaining third-generation biofuels: impact of stressors on the accumulation of neutral lipids in the blue-green algae (cyanobacteria)]. Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Al'ternativnaja jenergeika i jekologija» [International scientific journal "Alternative energy and ecology"]. 2014, № 12. S. 70—83.