

**Ф.К. Сарсекеева\*** , **К. Болатхан** , **Е.С. Сапархан** ,  
**С.К. Сандыбаева** , **А.Т. Амантаева** , **Б.К. Заядан** 

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

\* e-mail: fariza.sarsekeyeva@kaznu.edu.kz

## **ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ И МИНЕРАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН КАК СРЕДЫ ДЛЯ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ – ПРОДУЦЕНТОВ БИОДИЗЕЛЯ**

Микроводоросли характеризуются быстрым фотоавтотрофным ростом и высокой скоростью накопления биомассы, их рассматривают как альтернативу сырью для получения возобновляемых источников энергии, таких как биодизель. Исследования биотоплива это не просто вопрос о нахождении правильного типа биомассы и преобразование его в топливо, но также нахождение экологически и экономически обоснованных вариантов. В работе приведены результаты исследований по использованию термальных и минеральных источников как среды для культивирования микроводорослей *Parachlorella kessleri* DZP-5, *Parachlorella kessleri* B2 и *Ankistrodesmus falcatus* B5.

Было показано что при использовании воды из горячего источника «Аршан» и соленного озера «Балхаш» для разбавления среды Тамия в соотношении 50:50 можно получить интенсивный рост культур микроводорослей и при этом сохранить основные характеристики микроводорослей продуцентов биоизельного топлива. Также приведен состав жирных кислот трех испытуемых штаммов микроводорослей, который показал их потенциал как продуцентов биодизеля.

**Ключевые слова:** микроводоросли, термальные и минеральные источники, культивирование, продуценты биодизеля, жирные кислоты.

F.K. Sarsekeyeva\*, K. Bolatkhan, E.S. Saparkhan, S.K. Sandybayeva,  
A.T. Amantayeva, B.K. Zayadan

Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty

\*e-mail: fariza.sarsekeyeva@kaznu.edu.kz

### **Possibilities of using thermal and mineral springs of the Republic of Kazakhstan as a medium for the cultivation of microalgae – biodiesel producers**

Microalgae are characterized by rapid photoautotrophic growth and a high rate of biomass accumulation and are considered as an alternative feedstock for renewable energy sources such as biodiesel. Biofuel research is not just a matter of finding the right type of biomass and converting it into fuel, but also finding environmentally and economically viable options. The paper presents the results of studies on the use of thermal and mineral water sources as a medium for the cultivation of microalgae *Parachlorella kessleri* DZP-5, *Parachlorella kessleri* B2 and *Ankistrodesmus falcatus* B5.

It was shown that when using water from the «Arshan» thermal water source and the Balkhash salt lake to dilute the Tamiya medium in a ratio of 50:50, it is possible to obtain an intensive growth of microalgae cultures and at the same time preserve the main characteristics of microalgae producers of biodiesel fuel. The composition of fatty acids of three tested strains of microalgae is also given, which showed their potential as producers of biodiesel.

**Key words:** microalgae, thermal and mineral springs, cultivation, biodiesel producers, fatty acids.

Ф.К.Сарсекеева, К. Болатхан, Е.С. Сапархан, С.К. Сандыбаева,  
А.Т. Амантаева, Б.К. Заядан

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.  
\*e-mail: fariza.sarsekeyeva@kaznu.edu.kz

### Қазақстан Республикасының термальды және минералды су көздерін биодизель продуценті микробалдырларды дақылдау үшін пайдалану мүмкіндіктері

Микробалдырлар жылдам фотоавтотрофты өсумен және биомассаның жоғары жинақталуымен сипатталады және биодизель сияқты жаңартылатын энергия көздері үшін балама шикізат ретінде қарастырылады. Биоотынды зерттеу – биомассаның дұрыс типін тауып, оны отынға айналдыру туралы ғана емес, сонымен қатар экологиялық және экономикалық тұрғыдан негізделген нұсқаларды табу болып табылады. Жұмыста *Parachlorella kessleri* DZP-5, *Parachlorella kessleri* B2 және *Ankistrodesmus falcatus* B5 микробалдырларын өсіру ортасы ретінде термальды және минералды су көздерін пайдалану бойынша зерттеулердің нәтижелері берілген.

Тамия ортасын 50:50 қатынасында сұйылту үшін «Аршан» термальды бұлағы мен Балқаш тұзды көлінің суын пайдаланған кезде микробалдырлар дақылдарының қарқынды өсуін алуға және сонымен бірге, биодизельді отынның продуценттері микробалдырлардың негізгі сипаттамаларын сақтауға болатыны көрсетілді. Оған қоса, микробалдырлардың үш сыналған штамының май қышқылдарының құрамы берілді, бұл олардың биодизель продуценттері ретіндегі әлеуетін көрсетті.

**Түйін сөздер:** микробалдырлар, термиялық және минералды су көздері, дақылдау, биодизель продуценттері, май қышқылдары.

#### Введение

Микроводоросли являются наиболее эффективным биологическим продуцентам естественных углеводов в форме жирных кислот, а значит – и универсальным возобновляемым источником биомассы, пригодной для быстрой переработки в биодизель [1,2]. Содержание липидов в клетках микроводорослей зависит от нескольких факторов, таких как поступление энергии, штамма микроводорослей, условий культивирования и т.п. В данное время используется огромное количество способов культивирования фототрофных микроорганизмов, но не все они могут обеспечить низкую себестоимость получаемой продукции [3,4]. Термальные и минеральные источники, которыми богата наша республика могли бы помочь удешевить технологию получения биомассы микроводорослей.

Благодаря особенностям природы геологическому строению территория Республики Казахстан обладает весьма уникальным и даже в каком-то смысле редчайшим по химическому составу подземных источников термальных и минеральных вод. На сегодняшний день согласно данным отдела курортологии КазНИИ, в республике изучено около 500 источников минеральных вод, 78 грязевых озер и 50 климатических местностей. На территории РК выявлены термальными сульфатно-гидрокарбонатные

натриевые и йодобромные, хлоридные кальциево-натриевые воды, термальные радоновые хлоридно-сульфатные натриевые, содержащие азот воды [5]. Так в республике имеются все виды бальнеологических групп минеральных вод, за исключением группы углекислых. Большинство из них относится к бальнеологической группе вод без специфических компонентов и свойств. В Уйгурском районе Алматинской области, у подножья Кетменьских гор и вдоль реки Или имеется большое количество термальных артезианских источников со слабо минерализованной радоновой водой. Во все эти источники поступает вода, подогретая с магматическими интрузиями в районах активного вулканизма. В данной местности насчитывается около 140 таких артезианских термальных источников, температура которых колеблется в пределах от 20°C до 100°C [6].

Селекция штаммов и их характеристика, позволяют использовать водные ресурсы различного качества воды для культивирования штаммов с желательными фенотипами, а также играют важную роль в перспективности получения биодизельного топлива из микроводорослей.

В состав питательных сред, используемых при культивировании микроводорослей, входят макро- и микроэлементы, они обеспечивают нормальную жизнедеятельность и рост клеток. Но каждый элемент имеет свои пределы допустимой концентрации (ПДК), при нарушении

которых клетки микроводорослей прекращают размножаться или же наступает их гибель [7].

Все микроорганизмы, в том числе и микроводоросли, имеют свойство менять биохимический состав клеток, таким образом, реагируя на изменение концентрации биогенных элементов в питательной среде. Содержание основных компонентов клетки, таких как белки, углеводы, липиды и др. может меняться в очень больших пределах. Так, при дефиците азота может значительно уменьшаться клеточная биомасса и содержание зольных веществ в клетке, содержание хлорофилла и белка в органическом веществе, но при этом увеличивается количество углеводов и липидов, тем самым увеличивая сухой вес. При дефиците серы разрушается хлорофилл, уменьшается содержание белка, но, тем не менее, происходит увеличение среднего размера одиночной клетки за счет резкого увеличения содержания липидов. Факторы минерального питания можно разделить на две основные группы. В первую группу входят азот и сера. При недостатке данных элементов не происходит немедленного прекращения биосинтетических процессов в клетках микроводорослей, но замедляются процессы деления и останавливается развитие клетки. В итоге клетка накапливает органические вещества и увеличивается её вес. Так как при дефиците азота происходит полное подавление синтеза белка, то клетки накапливают безазотистые соединения такие как углеводы и липиды.

Вторая группа элементов состоит из фосфора, магния, калия, железа. Недостаток этих элементов оказывает отрицательное действие в первую очередь на процессы анаболизма, то есть на биосинтез основных компонентов клетки, тогда как деление клеток происходит обычно (за исключением недостатка магния) нормально. В итоге можно заметить замедление роста клеток и накопление сухих веществ клетками микроводорослей. Таким образом, можно отметить, что модифицируя и изменяя элементный состав питательной среды, можно получать продукт нужного состава с желаемым соотношением белка и жиров. Так, на среде богатой азотом, микроводоросли могут накапливать от 40 до 88% сырого протеина и 5% жира, а при недостатке азота и избытке углерода в питательной среде, наоборот, – 88% жира и 5% протеина [8,9]. Согласно экспериментальным данным предоставленными

аторами П.Хелда и Н.Б. Аужановой было установлено, что на биохимический состав клеток микроводорослей особенно сильно оказывает влияние недостаток азотсодержащих веществ, стимулирующий накопление внутриклеточных нейтральных липидов – триацилглицеридов (ТАГ), как запасных питательных веществ, количество липидов увеличивается в 1,7 – 15 раз.

### Материалы и методы исследования

Объектами данной работы являлись культуры – *Parachlorella kessleri* B2 и *Ankistrodesmus falkatus* B5 выделенные из термального источника Уйгурского района и озера Балхаш и коллекционный штамм – *Parachlorella kessleri* DZP-5 из коллекции фототрофных микроорганизмов лаборатории биотехнологии КазНУ имени аль-Фараби

Данные штаммы согласно жирнокислотному составу липидов и прироста биомассы являются потенциальными продуцентами биодизеля.

Вода для опыта отбиралась из горячего источника «Аршан» (Алматинская область, Уйгурский район) место нахождения 300 км от города Алматы в восточном направлении и в восточной части озера Балхаш (вблизи истока реки Лепсы, Алматинской области).

Органолептические исследования горячего источника «Аршан» показывают, что вода не имеет примесей, на цвет прозрачная, на вкус минеральная, на ощупь-жирная. Общий химический анализ и элементный состав согласно литературным данным [10] приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Общий химический анализ воды

Компоненты	Единица измерения	Фактически получено
рН	рН	8,2
Хлориды	Мг/л	173,25
Сульфаты	Мг/л	225,5
Щелочность	Ммоль/л	6,4
Общая жесткость	Мг/л	1,3
Гидрокарбонаты	Мг/л	974,32
Сухой остаток	Мг/л	858,0
Минерализация	Мг/л	558,0

Таблица 2 – Элементный состав воды

Наименование химического элемента	Единица измерения	Фактически получено
Натрий	Мг/л	9874,44
Магний	Мг/л	93,25
Алюминий	Мг/л	38,66
Кремний	Мг/л	6485,58
Фосфор	Мг/л	634,13
Сера	Мг/л	4763,13
Калий	Мг/л	1215,91
Кальций	Мг/л	8488,7
Титан	Мг/л	46,72
Ванадий	Мг/л	3,14
Хром	Мг/л	3,72
Марганец	Мг/л	2,77
Железо	Мг/л	112,81
Кобальт	Мг/л	0,008
Никель	Мг/л	0,18
Медь	Мг/л	1,85
Цинк	Мг/л	14,77
Германий	Мг/л	6,86
Мышьяк	Мг/л	3,28
Рубидий	Мг/л	1,52
Стронций	Мг/л	6,25
Молибден	Мг/л	34,23
Серебро	Мг/л	0,65
Кадмий	Мг/л	0,03
Олово	Мг/л	32,53
Сурьма	Мг/л	3,58
Барий	Мг/л	2,23
Свинец	Мг/л	2,08

По данным таблицы 2, вода из горячего источника «Арашан» богата элементами как натрий, кремний, калий, кальций, сера, железо, фосфор, магний и т.д. необходимые для полноценного культивирования микроводорослей.

Минерализация воды в восточной части озера Балхаш, согласно литературным данным, составляет от 3,5 до 6 г/л. Органолептические исследования показывают, что вода на вид полупрозрачная, без лишних примесей, на вкус минерально-соленая, на ощупь полу жирная. Показатели минерализации ионного состава озера Балхаш, полученные из литературных данных [11] приведены в таблице 3

Таблица 3 – Показатели минерализации ионного состава озера Балхаш

Компоненты	Единица измерения	Фактически получено
Cl	моль/м <sup>3</sup>	19,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	моль/м <sup>3</sup>	21,8
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	моль/м <sup>3</sup>	8,7
Ca <sup>2+</sup>	моль/м <sup>3</sup>	0,4
Mg <sup>2+</sup>	моль/м <sup>3</sup>	14,6
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	моль/м <sup>3</sup>	35,0

Выращивание проводилось методом накопления при соблюдении оптимальных условий обеспечивающих рост и развитие микроводорослей, соблюдали температурный режим и освещение. В качестве питательной среды, для выращивания контроля, использовали среду Тамия. Для определения численности клеток использовали камеру Горяева. Определяли численность прямым подсчётом. Учет вели на 3, 7 и 14 сутки проведения эксперимента.

Для подсчета клеток использовали камеру Горяева и скорость роста по увеличению числа клеток в 1 мл суспензии экспериментальных культур. Коэффициент скорости роста по приросту численности клеток в экспериментальных колбах, испытуемых культур микроводорослей рассчитывали по формуле [12].

$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{N_t}{N_0},$$

где  $N_0$  – исходная численность клеток;

$N_t$  – численность клеток через время  $t$ .

#### Определение липидов в клетках микроводорослей

Клетки микроводорослей отбирали в стационарной фазе и концентрировали биомассу с помощью центрифуги. Полученную биомассу микроводорослей высушивали до воздушно-сухого состояния. Для определения липидов – навеску массой 15-20 мг экстрагировали смесью хлороформ-метанол в соотношении 2:1 (реактив Фолча). Суммарное определение липидов проводилось по методу В.А Шуваева и др [13]. Через стеклянный фильтр дважды проводилась декантация жидкости и ее фильтрация. Смешивали первичный и вторичный фильтрат и отгоняли растворитель. Полученную смесь липидов высу-

шивали при температуре 100-102°C, осаждали и взвешивали на аналитических весах.

### Определение жирнокислотного состава клеток

Для разделения биомассы от жирной смеси, приготавливаются четыре раствора (А, В, С, D). Далее производим экстракцию биомассы приготовленными растворами: к 40 мгр. навески (сухой биомассы) добавляем 10 мл. р-ра А и перемешиваем и ставим в водяную баню (95-100°C) 5 мин.- перемешиваем – водяная баня 25 мин.- остужаем. Добавляем 2 мл. р-ра В и кипятим на водяной бане 25 мин.- остужаем. Добавляем 1,22 мл р-ра С – перемешиваем 10 мин. Добавляем 3 мл.р-ра D, перешиваем 5 мин. – супернатант переливаем в пробирки и помещаем в устройство ввода пробы хроматографа. Для подачи газовых носителей в хроматограф, устанавливаем определенное давление газовых баллонов.

Биохимический анализ жирных кислот определялся на газовом хроматографе Agilent 6890N, HP 5- MScolumn [14,15].

### Результаты исследования и их обсуждения

Благодаря особенностям природы геолого-тектонического строения территория Казахстана обладает весьма уникальным и даже в каком-то смысле редчайшим по химическому составу подземных источников минеральных запасов вод. В целях удешевить технологию получения биомассы микроводорослей нами была поставлена задача разработки технологии культивирования

штаммов микроводорослей продуцентов биодизеля на термальных и минеральных источниках. Так как штаммы испытываемых микроводорослей были выделены из горячих источников Чунджи и озера Балхаш было целесообразно взять в качестве источников воду из данных источников.

Чтобы определить оптимальную концентрацию воды из источника «Аршан» для культивирования микроводорослей, отобранные штаммы микроводорослей *Parachlorella kessleri* DZP-5, *Parachlorella kessleri* B2 и *Ankistrodesmus falcatus* B5 культивировались на трех различных средах: вариант 1- вода из источника + питательная среда Тамия, в соотношении 50%:50%, вариант 2- вода из источника и вариант 3 – питательная среда Тамия. Инкубация производилась в течение 14 дней с начальным числом клеток  $-1 \cdot 10^6$  кл/мл в суспензии. На рисунке 1 показаны коэффициенты скорости роста испытываемых штаммов в 3 вариантах.

Согласно диаграмме, все исследуемые культуры имеют интенсивный рост в третьем варианте и для штамма *Parachlorella kessleri* DZP-5 равен 0,35, *Parachlorella kessleri* B2 – 0,32 и *Ankistrodesmus falcatus* B5 -0,3. Согласно этим результатам и соотношением солей в питательной среде можно утверждать, что среда богатая минеральным составом и микро – и макроэлементами способствует ускорению роста. Но в то же время можно отметить и очень хороший рост при культивировании на среде с добавлением воды из минерального горячего источника «Аршан», для штамма *Parachlorella kessleri* DZP-5 равен 0,3, *Parachlorella kessleri* B2 – 0,28 и *Ankistrodesmus falcatus* B5 -0,25.

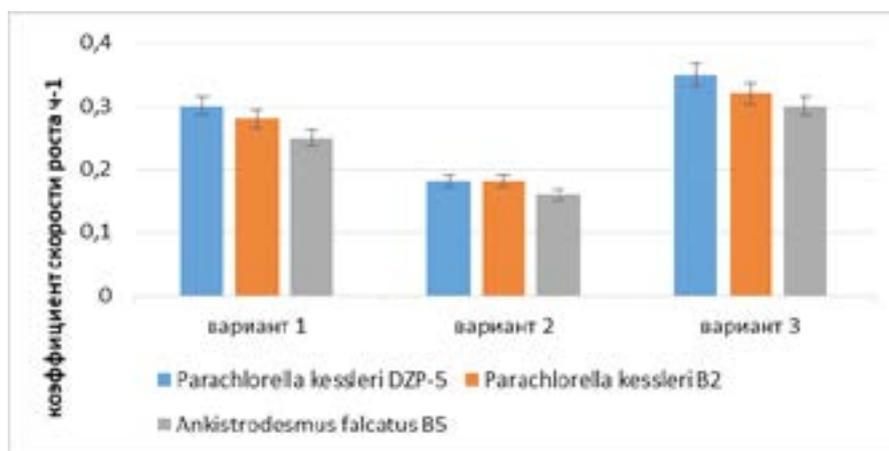


Рисунок 1 – Коэффициенты скорости роста отобранных штаммов, культивированные на различных средах

Чтобы определить оптимальную концентрацию воды из минерального озера Балхаш для культивирования микроводорослей, отобранные штаммы микроводорослей *Parachlorella kessleri* DZP-5, *Parachlorella kessleri* B2 и *Ankistrodesmus falcatus* B5 культивировались на трех различных

средах: вариант 1- вода из озера Балхаш, вариант 2- питательная среда Тамия и вариант 3 – вода из озера Балхаш + питательная среда Тамия, в соотношении 50%:50%. Клетки микроводорослей инкубировали в течение 14 дней с начальным числом клеток  $-1 \cdot 10^6$  кл/мл в суспензии (рисунок 2).



Вариант 3                      Вариант 2                      Вариант 1  
*Parachlorella kessleri* DZP-5



Вариант 3                      Вариант 2                      Вариант 1  
*Ankistrodesmus falcatus* B5



Вариант 3                      Вариант 2                      Вариант 1  
*Parachlorella kessleri* B2

**Рисунок 2** – Рост отобранных штаммов микроводорослей в 3 испытываемых вариантах: вариант 1- вода из озера Балхаш, вариант 2- питательная среда Тамия и вариант 3 – вода из озера Балхаш + питательная среда Тамия, в соотношении 50%:50%.

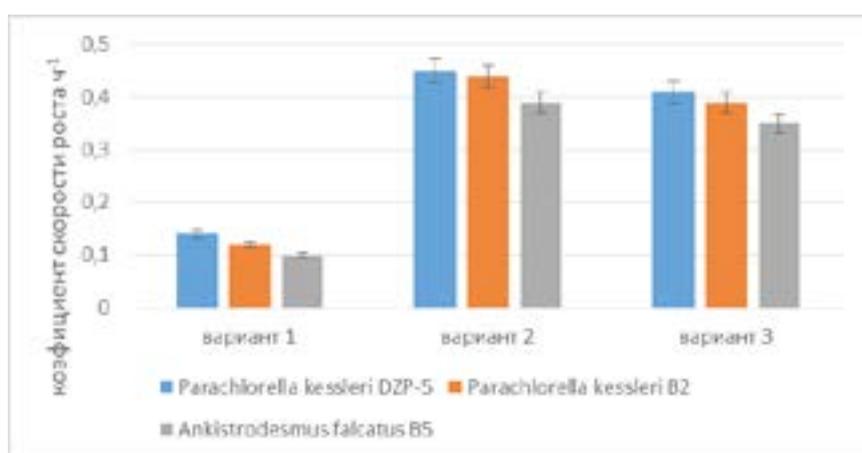
На рисунке 3 показаны коэффициенты скорости роста испытываемых штаммов в 3 вариантах: вариант 1- вода из озера Балхаш, вариант 2- питательная среда Тамия и вариант 3 – вода из озера Балхаш + питательная среда Тамия, в соотношении 50%:50%.

По диаграмме видно, все исследуемые культуры имеют интенсивный рост и в третьем варианте *Parachlorella kessleri* DZP-5 равен 0,41, *Parachlorella kessleri* B2 – 0,38 и *Ankistrodesmus falcatus* B5 -0,35, почти наравне с как при культивировании только на среде Тамия, что свиде-

тельствует о том что вариант 3 – вода из озера Балхаш + питательная среда Тамия, в соотношении 50%:50% является экономически выгодным решением.

Рост культур отобранных микроводорослей-продуцентов биодизельного топлива даёт хороший результат при выращивании ее как на термальных

водах из источника «Аршан» (вблизи г. Чунджа, Уйгурского района, Алматинской области) так и минерального источника из восточной части озера Балхаш (вблизи истока реки Лепсы, Алматинской области) в соотношении 50%:50% (вода из источника «Аршан» + питательная среда Тамия и вода из озера Балхаш + питательная среда Тамия).



**Рисунок 3** – Коэффициенты скорости роста отобранных штаммов, культивируемые на различных средах

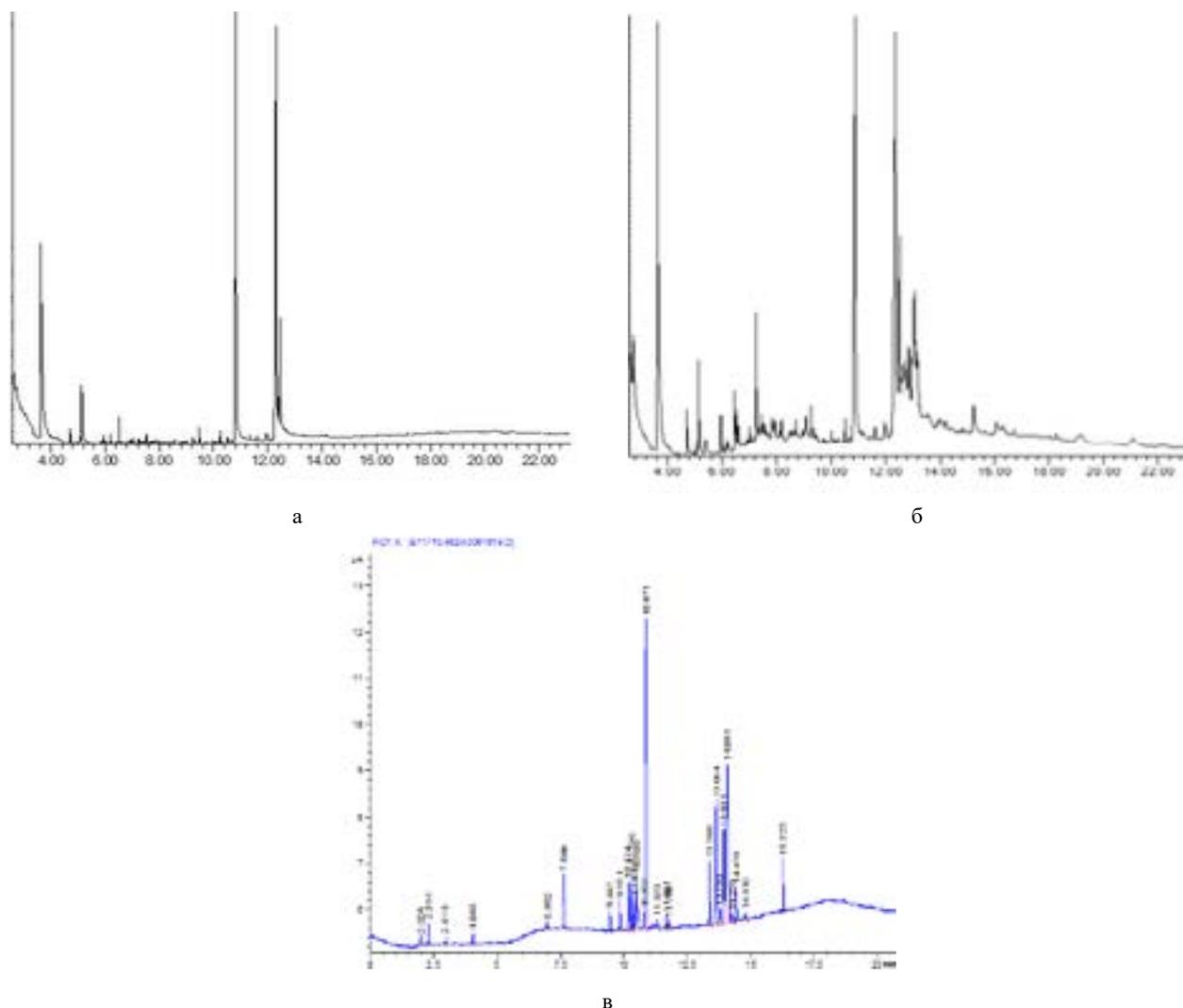
Состав липидов в клетках во многом зависит от вида и условий культивирования микроводорослей. Для производства биотоплива перспективны масла, богатые нейтральными липидами. При активном росте клеток, в основном происходят процессы фотосинтеза и накопление биомассы, поэтому в чаще всего происходит синтез полярных липидов, к примеру фосфо- и гликолипиды, необходимые для фотосинтетических процессов. Но при недостатке или отсутствии основных питательных, в том числе азота, снижается скорость роста клеток [16] но при этом начинается активное накопление нейтральных липидов. В связи с этим целесообразно было проверить количественный и качественный состав нейтральных липидов испытываемых штаммов микроводорослей.

Методом газовой хроматографии определен жирнокислотный состав клеток активных штаммов микроводорослей *Parachlorella kessleri* DZP5, *Parachlorella kessleri* B2 и *Ankistrodesmus falcatus* B5 (Рисунок 4). Результат анализа содержания жирных кислот клеток штаммов представлены в таблице 4.

В результате определения жирнокислотного состава клеток штамма *Parachlorella kessleri* DZP-5 наибольшие процентные показатели сре-

ди всех проанализированных жирных кислот, наблюдались у пальмитиновой кислоты- 36,45% и у ленолеиновой– 15,2%, были проанализированы 12 жирных кислот, среди которых НЖК составляют – 65,86%, а ПНЖК составляют 27,92%.

Основными метиловыми эфирами жирных кислот, наблюдаемыми у *P. Kessleri* B2, были грандифлореновая кислота, пальмитиновая кислота, гептадекановая кислота, олеиновая кислота и стеариновая кислота, в то время как второстепенными жирными кислотами были эйкозапентаеновая кислота (ЕРА), бензойная кислота, лауриновая кислота, тридекановая кислота и 1-фенантренкарбоновая кислота. Наибольшая площадь пика была отмечена для октадеценной кислоты (стеариновой кислоты) на уровне 16,86%, площадь второго по величине пика 15,12% была зафиксирована из-за присутствия н-гексадекановой кислоты (пальмитиновой кислоты), а третий пик был при 6,85% октаметилциклотетрасилоксана. Помимо нескольких насыщенных и ненасыщенных жирных кислот от С6 до С20, у *P. kessleri* также были обнаружены смоляные кислоты/дитерпеноиды, такие как абиетиновая кислота, палюстровая кислота и каллистриновая кислота, что составляет 21,8% от общего количества жирных кислот.



**Рисунок 4** – Газовые хроматограммы метиловых эфиров жирных кислот трех изученных видов, *а- Ankistrodesmus falcatus B5*, *б- Parachlorella kessleri B2*, *в-Parachlorella kessleri DZP-5*

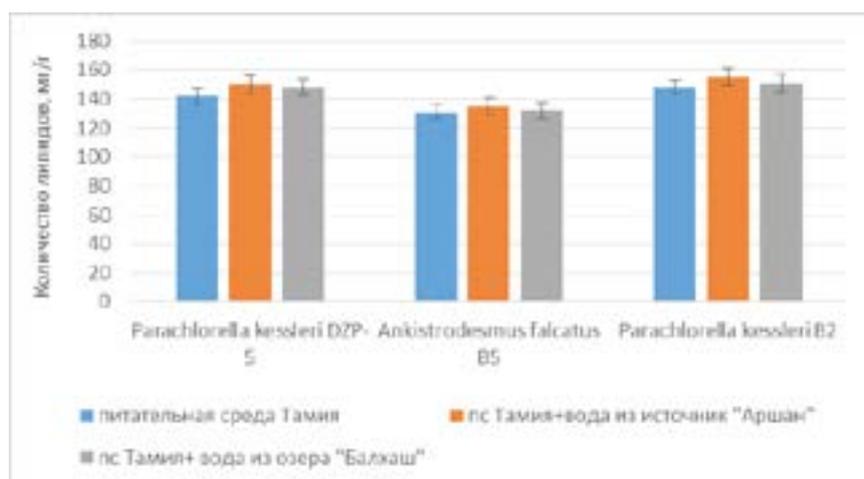
**Таблица 4** – Состав жирных кислот трех испытуемых штаммов микроводорослей

Наименование ЖК	Жирнокислотный состав (% w/w)		
	<i>Parachlorella kessleri DZP-5</i>	<i>Ankistrodesmus falcatus B5</i>	<i>Parachlorella kessleri B2</i>
Hexadecanoic (пальмитиновая, C16:0),	36,45%	30.08%,	15.12%
Hexadecanoic acid, methyl ester	3,6%	ND	6.72%
Octadecanoic acid (стеариновая, C18:0),	3,96%	7.26%	16.86%
9-Octadecenoic acid (олеиновая, C18:1)	1,78%	33.27%	ND
Дитерпеноиды, такие как абиетиновая кислота, паллостровая кислота и каллистриновая кислота.	15,9%	ND	21.08%
Прочие	38%	30%	40%

*Ankistrodesmus falcatus* B5 также продемонстрировал большой потенциал в качестве источников олеиновой кислоты, стеариновой кислоты и пальмитиновой кислоты для возобновляемых видов топлива, таких как биодизель, поскольку их заметные пики были отмечены на уровне 33,27%, 7,26% и 30,08% соответственно.

Сравнительное изменение количественного состава нейтральных липидов измеряли по методу Фолча. Полученные результаты анализа био-

массы испытуемых штаммов, выросших на питательной среде Тамия, со стандартным составом солей и на средах разбавленных с водой из горячего источника «Аршан» и озера «Балхаш» показали незначительное накопление липидов в количестве – 140 мг, 150,2 мг и 146,8 мг на 1 г сухого веса соответственно (рисунок 5). Но учитывая коэффициент погрешностей количество накопления липидов находятся в пределах одинаковых показателей.



**Рисунок 5** – Сравнительная динамика количества липидов в клетках штаммов испытуемых микроводорослей при культивировании на модифицированных средах

Так, нами было показано что при использовании воды из горячего источника «Аршан» и соленного озера «Балхаш» для разбавления среды Тамия в соотношении 50:50 можно получить интенсивный рост культур микроводорослей и при этом сохранить основные характеристики микроводорослей продуцентов биодизельного топлива. То есть, такая модификация питательной среды для культивирования микроводорослей не влияет на жирнокислотный состав и количество липидов и может дать хороший прирост

биомассы, но в то же время может удешевить технологию выращивания так как дает возможность экономить на дорогостоящих минеральных элементах питания.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках проекта AP0852481 «Разработка технологии получения биодизеля на основе активных штаммов микроводорослей»*

#### Литература

1. Моисеев И., Тарасов В., Трусов Л. Эволюция биоэнергетики время водорослей // The Chemical Journal. – 2009. – Т. 12. – С. 24–29.
2. Li Y., Horsman M., Wu N., Lan C.Q., Dubois C.N. Biofuels from microalgae // Biotechnol. Prog. – 2008. – Vol.12, No 24. – P. 815-820.
3. Геворгиз Р.Г., Шахматов А.П. Установка для культивирования морских микроводорослей // Экология моря. – 2005. – № 67. – С. 44 – 47.
4. Гуревич Ю.Л. Устойчивость и регуляция размножения в микробных популяциях. – Новосибирск – 1984. – с. 161.
5. Минеральные воды Казахстана [электронный ресурс]: <http://filtrinfo.ru/o-vode/mineral-ny-e-vody-i-istochniki-kazahstana.html>
6. Горячие источники Казахстана [электронный ресурс], <http://springhot.ru/goryachie-istochniki-kazahstana.html>

7. Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Темнов М.С., Пешкова Е.В., Акулинин Е.И. Технология получения липидов из микроводорослей [Электронный ресурс]: ФГБОУ ВПО ТГТУ. – 2015.
8. Held P. Determination of Algal Cell Lipids Using Nile Red – Using Microplates to Monitor Neutral Lipids in *Chlorella Vulgaris*. – 2015.- P.205
9. Ауджанова В.К. Морфологические и систематические характеристики хлореллы. Ее производство и применение // *Научный вестник*. – 2014. №1. – С. 113 – 126.
10. Muthulakshmi C., Gomathi D., Kumar D. G., Ravikumar G., Kalaiselvi M., Uma C. Production, purification and characterization of protease by *Aspergillus flavus* under Solid State Fermentation // *Jordan Journal of Biological Sciences*.- 2011.- № 3. –P. 137-148.
11. Иминова Д.Е., Нурхалыков И.А. Анализ химического состава воды термального источника «Арашан» Уйгурского района Республики Казахстан // *Молодой ученый*. -2016.- №5.- С. 4-8
12. Тарасов М. Н. Гидрохимия озера Балхаш. – М.: АН СССР, 1961. – с. 225.
13. Сиренко Л.А., Сакевич А.И. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике. – К.: Наукова думка, 1975. – с. 248.
14. Орел Н.М. Биохимия липидов. – М.: БГУ, 2007. – с. 35.
15. Jayasree N.B., Aneesh. T.P, Visakh P. GC-MS, HPLC and AAS analysis of Fatty acids, Amino acids and Minerals in Red algae *Ampheroa anceps* // *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. – 2012.- № 4. P. 459-468.
16. Смашевский Н.Д. Практикум по физиологии растений. – А.: дом «Астраханский университет», 2011. – с. 42.
17. Singh A., Nigam P.S., Murphy J.D. Mechanism and challenges in commercialisation of algal biofuels // *Bioresour. Technol.* – 2011. – №102. – P. 26–34.

### References

1. Moiseev, I., Tarasov, V., Trusov, L. “evoluciya bioenergetiki vremya vodoroslei [Evolution of bioenergetics the time of algae].” *The Chemical Journal*, no 12 (2009): 24–29. (In Russian)
2. Li, Y., Horsman, M., Wu, N., Lan, C.Q., Dubois, C.N. «Biofuels from microalgae». *Biotechnol. Prog.*12, no 24 (2008): 815-820.
3. Gevorgiz, R.G., Shahmatov, A.P. “Ustanovka dlya kultivirovaniya morskikh mикrovodoroslei [Installation for the cultivation of marine microalgae].” *Ecology of the sea*, no 67 (2005):44 – 47. (In Russian)
4. Gurevich, Yu.L. *Ustoichivost i regulyaciya razmnojeniya v mikrobnih populyacijah* [Stability and regulation of reproduction in microbial populations]. Novosybyrsk Press, 1984 (In Russian)
5. Mineralnie vodi Kazahstana [Mineral waters of Kazakhstan]: <http://filtrfinfo.ru/o-vode/mineral-ny-e-vody-i-istochniki-kazahstana.html> (In Russian)
6. Goryachie istochniki Kazahstana [Hot springs of Kazakhstan]: <http://springhot.ru/goryachie-istochniki-kazahstana.html> (In Russian)
7. Dvoreckii D.S., Dvoreckii S.I., Temnov M.S., Peshkova E.V and Akulinin E.I. *Technology for the production of lipids from microalgae*. FGBOU VPO TGTU Press, 2015. (In Russian)
8. Held P. Determination of Algal Cell Lipids Using Nile Red – Using Microplates to Monitor Neutral Lipids in *Chlorella Vulgaris*, 2015
9. Audjanova, V.K. “Morfologicheskie i sistematicheskie harakteristiki chlorelli. Ee proizvodstvo i primeneniye [Morphological and systematic characteristics of chlorella. Its production and application]”. *Scientific Bulletin*, no 1 (2014):113 – 126. (In Russian)
10. Muthulakshmi, C., Gomathi, D., Kumar, D.G., Ravikumar, G., Kalaiselvi, M., Uma, C. «Production, purification and characterization of protease by *Aspergillus flavus* under Solid State Fermentation». *Jordan Journal of Biological Sciences*, no 3 (2011):137-148.
11. Iminova, D.E., Nurhalikov, I.A. “Analiz himicheskogo sostava vodi termalnogo istochnika «Arashan» Uigurskogo raiona Respubliki Kazahstan [Analysis of the chemical composition of the water of the thermal spring “Arashan” of the Uygur district of the Republic of Kazakhstan]”. *Young scientist*, no 5 (2016): 4-8 (In Russian)
12. Tarasov, M. N. *Gidrohimiya ozera Balhash* [Hydrochemistry of Lake Balkhash]: Moscow: AN SSSR Press, 1961. (In Russian)
13. Sirenko L.A., Sakevich A.I. *Methods of physiological and biochemical investigation of algae in hydrobiological practice*: Kiev: Scientific thought Press, 1975. (In Russian)
14. Orel N.M. *Lipid Biochemistry*. Minsk: Belarusian State University Press, 2007. (In Russian)
15. Jayasree, N.B., Aneesh, T.P, Visakh, P. «GC-MS, HPLC and AAS analysis of Fatty acids, Amino acids and Minerals in Red algae *Ampheroa anceps*». *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, no 4(2012).459-468.
16. Smashevskii N.D. *Workshop on plant physiology*. Astrakhan: Astrakhan State University Press, 2011 (In Russian)
17. Singh, A., Nigam P.S., Murphy, J.D. «Mechanism and challenges in commercialisation of algal biofuels». *Bioresour Technology*, no 102 (2011).