

Общ.

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ

УПРАВЛЯЕМЫЙ БИОСИНТЕЗ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА» МОСКВА 1966

5. В. В. Пиневиц, Н. Н. Верзилин. 1963. Вестн. ЛГУ, № 15, вып. 3.
6. И. А. Терсков, И. И. Гительзон, Ф. Я. Сидько, Б. Г. Ковров, В. А. Батов, В. Н. Белянин. 1964. В сб.: Управляемое культивирование микроводорослей. М., изд-во «Наука».
7. Г. И. Мелешко. 1964. Проблемы космической биологии, 3.
8. Б. С. Мошков. 1962. Агробиология, № 5.
9. В. В. Пиневиц, Н. Н. Верзилин, С. И. Степанов. 1964. Физиол. раст., 11, вып. 6.

■

**НЕПРЕРЫВНОЕ УПРАВЛЯЕМОЕ
ПРОТОЧНОЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ
И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ПРОДУКТИВНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ УТИЛИЗАЦИИ
ЛУЧИСТОЙ ЭНЕРГИИ ХЛОРЕЛЛОЙ
ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ИНТЕНСИВНОМ ЕЕ ВЫРАЩИВАНИИ**

В. Е. СЕМЕНЕНКО, М. Г. ВЛАДИМИРОВА, Л. Н. ЦОГЛИН,
М. И. ТАУТС, Ю. Н. ФИЛИППОВСКИЙ,
Г. Л. КЛЯЧКО-ГУРВИЧ, Е. Д. КУЗНЕЦОВ, Е. С. КОВАНОВА,
Н. И. РАЙКОВ

При интенсивном культивировании водорослей, даже при строгой стабилизации на оптимальных уровнях всех внешних факторов (таких, как интенсивность света, температура, парциальное давление углекислоты, кислорода и пр.), уже через несколько часов в культуре происходят изменения, определяющиеся самим ростом популяции, которые существенным образом влияют на последующий рост и фотосинтетическую продуктивность клеток водорослей. К таким изменениям прежде всего относятся:

- 1) увеличение оптической плотности суспензии и изменение условий светораспределения и освещенности клеток в элементарных слоях популяции [1—8];
- 2) разбаланс оптимального соотношения ионов (катионов и анионов) и истощение минеральной среды [9—12];
- 3) накопление в культуральной жидкости прижизненных выделений клеток (метаболитов) с возможным при определенных условиях автоингибированием по этой причине роста водорослей [13—16];
- 4) возможное возникновение таких условий прерывистого освещения клеток (при определенных сочетаниях толщины слоя, плотности культуры и турбулентности суспензии), когда они попадают в неблагоприятные фазы индукции фотосинтеза и наблюдаются большие индукционные потери и торможение роста водорослей [17—21].

Вследствие этого в культурах водорослей очень быстро по мере их роста уменьшаются фотосинтетическая продуктивность на клетку [5], коэффициент размножения и удельная скорость роста культуры [1, 5, 22]

$$k = \frac{dN}{N \cdot dt}, \quad (1)$$

изменяется направленность метаболизма [23]. Ясно, что наиболее выгодной будет культура (такие сочетания штамма и режима культивирования), в которой удастся сохранить максимальным k при наиболее высоких плотностях суспензии (N). Чем больше N , при котором сохранится $k_{\text{макс}}$, тем более эффективной с точки зрения фотосинтетической продуктивности и получаемых приростов биомассы будет процесс культивирования:

$$kN = \frac{dN}{dt}. \quad (2)$$

Такую культуру мы называем интенсивной, в отличие от культуры, в которой максимальное значение kN достигается за счет высоких значений N при k значительно меньшем максимального для данного штамма и которую мы называем экстенсивной. С практической точки зрения оптимальные плотности для культивирования (при сохранении $kN_{\text{макс}}$) выбираются в переходном режиме между интенсивным и экстенсивным.

В связи с изложенными обязательными условиями для получения и поддержания на стабильном уровне наилучших сочетаний k и N , дающих непрерывно в течение длительного времени максимальные и равномерные приросты, являются согласованный со скоростью роста культуры отбор прирастающих клеток, вымывание метаболитов и возмещение (обновление) поглощаемых элементов минерального питания. Эти требования реализуются путем организации контролируемого и управляемого проточного культивирования водорослей, которое одновременно с устранением названных выше недостатков накопительного культивирования превращает процесс выращивания водорослей в саморегулирующуюся автоматически функционирующую систему.

Разработка проточного культивирования микроорганизмов является одной из важнейших проблем современной микробиологии [24, 25]. Интерес к проточному культивированию определяется не только тем, что это позволяет организовать высокопроизводительное непрерывное (поточное) промышленное культивирование микроорганизмов, но и тем, что оно открывает широкие возможности для исследования физиологии микроорганизмов [25, 26] и позволяет применить точное математическое описание и математическое моделирование при разработке наи-

более выгодных режимов культивирования [24, 27—29]. При этом применяют два принципа проточного выращивания: хеостатный и турбидистатный. В первом случае осуществляется равномерная (по времени) подача питательного раствора, и рост микроорганизмов спонтанно подстраивается под стабилизированную скорость протока, давая различную концентрацию биомассы (в зависимости от состояния культуры) в реакторе и в равномерно сливающихся порциях урожая. Во втором случае строго стабилизируются (средствами автоматического регулирования) плотность популяции в реакторе (следовательно, и в сливаемом урожае) и скорость протока подстраивается (выступает функцией) к скорости роста популяции, давая, таким образом, различные (в зависимости от скорости роста организмов) объемы урожая в единицу времени, но с постоянной концентрацией биомассы. Поскольку фотосинтезирующие организмы (в отличие от гетеротрофных) нуждаются в лучистой энергии света, проникновение и распределение которого в суспензию зависит от оптической плотности популяции, то для культивирования фотоавтотрофных одноклеточных водорослей большой интерес представляет турбидистатный принцип проточного выращивания, когда регулирование и стабилизация плотности культуры осуществляются на основе турбидометрического метода анализа поглощения света суспензией, в основе которого, как известно [30], лежат закономерности, описываемые уравнением, аналогичным уравнению Бугера — Ламберта — Бера

$$I_t = I_0 \cdot 10^{-kcl} \quad (3)$$

Впервые такой метод культивирования хлореллы был применен в 1944 г. Майерсом и Кларком [31]. При этом, поскольку в проточном режиме плотность культуры (N) поддерживается постоянной, то показатели скорости роста выражаются, как показал Майерс [32], не через изменение числа клеток, а через динамику объемов собираемых урожаев, и уравнение (1) превращается в уравнение (4)

$$k = \frac{dV}{V \cdot dt} \quad (4)$$

Проточное культивирование водорослей используется различными исследователями для изучения физиологии этих организмов, фотосинтеза [24, 31—39] и в последнее время — в связи с разработкой высокопродуктивных фотосинтезирующих систем [5, 40]. Однако обычно при этом проводят кратковременные (несколько суток) опыты с низкими плотностями и незначительной фотосинтетической продуктивностью культуры [31—39] или, стремясь получить максимальные выходы биомассы, вводят культу-

ру в высокопродуктивный, но экстенсивный режим [40] с низкими коэффициентами размножения (1,02 удвоений в сутки).

В нашей лаборатории в связи с разработкой высокоэффективных управляемых фотосинтезирующих систем длительное время проводятся исследования с применением различных систем проточного культивирования хлореллы.

На рис. 1 представлена схема одного из вариантов экспериментальной лабораторной установки для высокоинтенсивного управляемого проточного культивирования водорослей. Водоросли культивируются в реакторе с плоско-параллельными стенками с термостатирующими рубашками и толщиной слоя суспензии 5 мм. Освещение осуществляется двумя трубчатыми ксеноновыми лампами (ДКСТ-6000) мощностью по 6 квт, напряжение питания на которых регулируется автотрансформаторами, что позволяет иметь на поверхности каждой из сторон реактора облученность $400 \cdot 10^3 \text{ эрг/см}^2 \cdot \text{сек}$. Для стабилизации плотности культуры в реакторе используется разработанный в лаборатории электронный прибор с проточными и накладными датчиками, следящими за оптической плотностью культуры [41]. Этот прибор управляет дозирующим устройством, которое по получении сигнала о превышении в процессе роста заданного уровня плотности культуры автоматически отбирает и сбрасывает в в сборник урожая дозированную порцию суспензии и доликает в реактор такое же количество питательной среды.

В установке осуществлены непрерывное автоматическое регулирование и регистрация температуры суспензии, плотности культуры, pH среды, скорости подачи в реактор газо-воздушной смеси, концентрации CO_2 в смеси, интенсивности фотосинтеза по поглощению CO_2 и кинетики роста водорослей.

Результаты одного из длительных 1000-часовых опытов по непрерывному высокоинтенсивному культивированию хлореллы на этой установке приводятся ниже. Опыт проводился на высокопродуктивном, термофильном фотоустойчивом штамме *Chlorella* sp. K., оптимальные условия для которого были определены заранее [5, 7, 10—12, 15, 42—45]. Особенностью 40-суточного опыта, проведенного с целью физиолого-биохимического исследования устойчивости показателей продуктивности и направленности биосинтеза хлореллы при ее непрерывном высокоинтенсивном культивировании, явилось то, что водоросли культивировались при сравнительно низких плотностях ($300 \cdot 10^6$ и $600 \cdot 10^6$ клеток на 1 мл), но с высокими коэффициентами размножения культуры (4—6 удвоений за сутки), за счет чего и были достигнуты высокие показатели фотосинтетической продуктивности (25—28 г сухого веса биомассы на 1 л суспензии в сутки или $140—150 \text{ г/м}^2 \text{ сутки}$).

Условия проведения опыта и результаты, характеризующие фотосинтетическую продуктивность культуры и клеток водорослей,

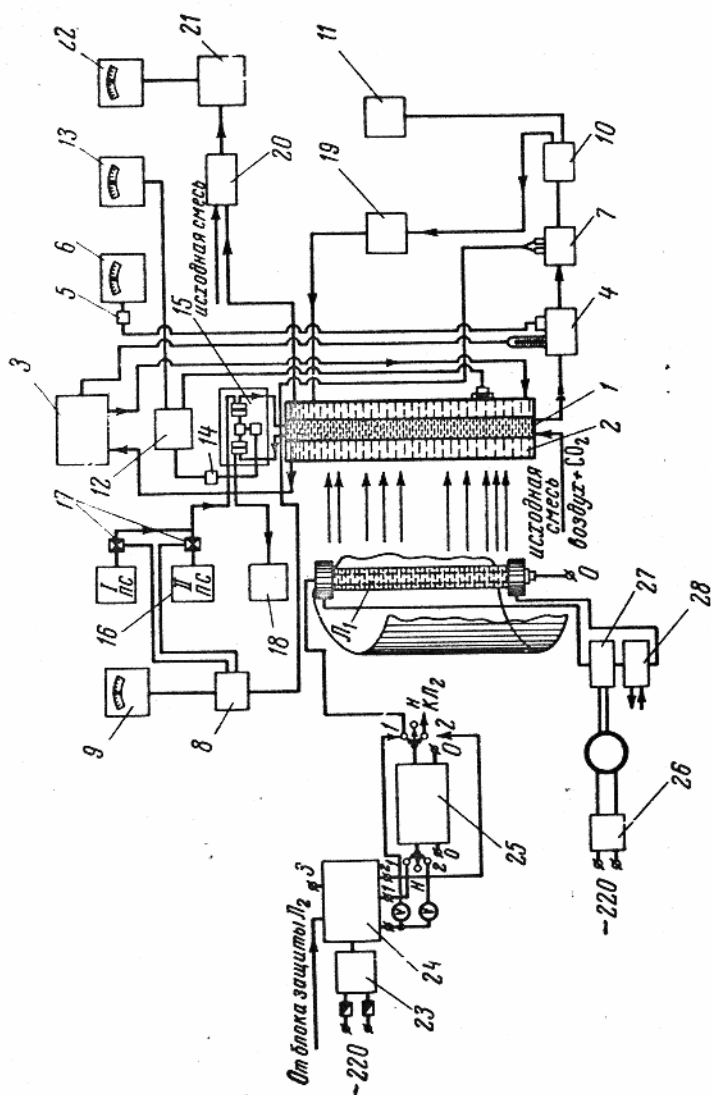


Рис. 1. Принципиальная схема лабораторной установки для высокоинтенсивного управляемого проточного культивирования водорослей

1 — реактор; 2 — рубашка водяного охлаждения; 3 — ультраметростат; 4 — блок термодатчикон; 5 — схема записи температуры; 6 — прибор, регистрирующий температуру; 7 — датчик рН; 8 — прибор, регистрирующий рН; 9 — прибор, регистрирующий рН; 10 — датчик плотности; 11 — схема контроля температуры; 12 — датчик рН; 13 — прибор, регистрирующий плотность; 14 — исполнительная управляющая система регуляции плотности; 15 — дозирующее устройство; 16 — основная и корректирующие питательные среды; 17 — исполнительные электромагнитные клапаны, управляемые системой регуляции рН; 18 — сборник урожая; 19 — циркуляционная помпа; 20 — командное электромагнитное устройство; 21 — прибор, регистрирующий газовый состав; 22 — прибор, регистрирующий газовый состав; 23 — блок тепловой защиты лампы; 24 — регулятор напряжения лампы; 25 — пускорегулирующая аппаратура для ДКСТ-6000; 26 — выпрямитель; 27 — насос; 28 — коло-

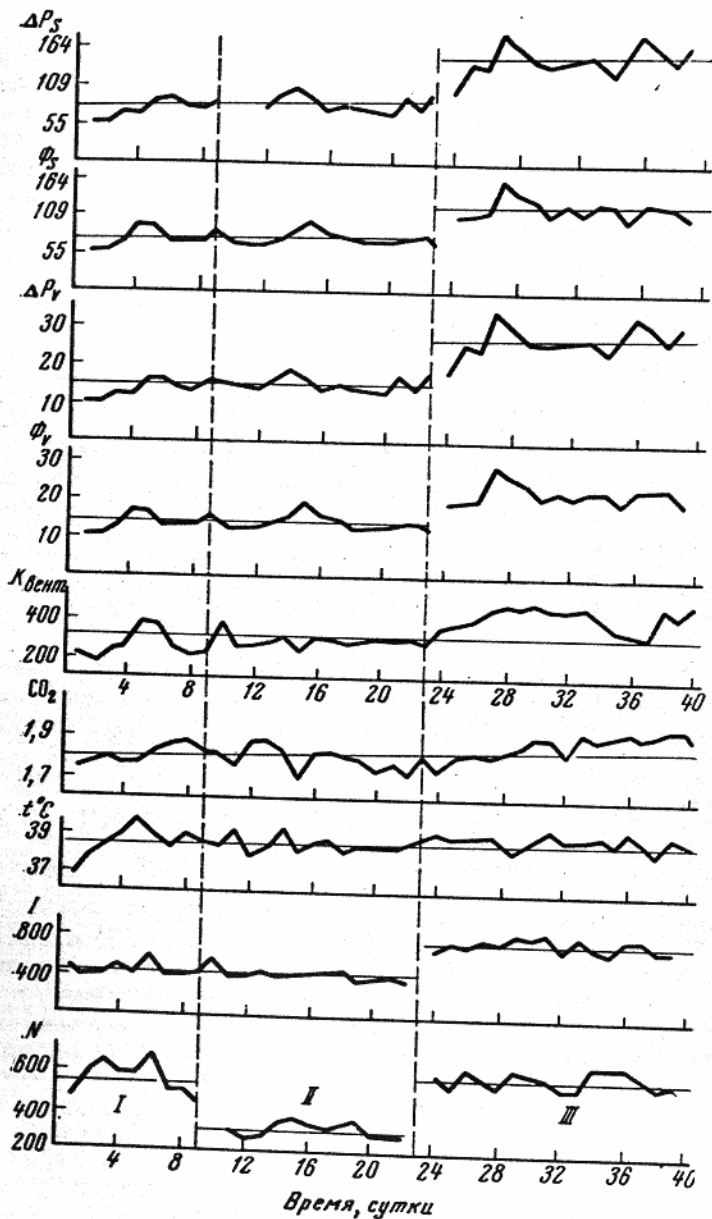


Рис. 2. Характеристика условий опыта и фотосинтетической продуктивности культуры *Chlorella* sp. K. по ходу эксперимента при длительном проточном ее культивировании

ΔP_s — прирост биомассы в г сухого вещества на m^2 суспензии в сутки; Φ_s — интенсивность фотосинтеза в л CO_2 на m^2 суспензии в сутки; ΔP_v — прирост биомассы в г сухого вещества на л суспензии в сутки; Φ_v — интенсивность фотосинтеза в л CO_2 на л суспензии в сутки; $K_{вент}$ — коэффициент вентиляции; CO_2 — концентрация CO_2 в воздухе в %; I — интенсивность света в $эрг \cdot см^{-2} \cdot сек^{-1}$; N — плотность суспензии в $млн/мл$

показаны на рис. 2 и 3. Характеристика условий минерального питания дана в табл. 1.

Опыт проводили в три этапа (I этап — 9 суток, II — 14 суток, III — 17 суток), следовавших один за другим без прерывания процесса культивирования. Плотность культуры была стабилизирована на I этапе на уровне $600 \cdot 10^6$ клеток на 1 мл, на II этапе — $270 \cdot 10^6$ клеток на 1 мл, на III этапе — $600 \cdot 10^6$ клеток на

Таблица 1

Характеристика режима минерального питания *Chlorella* sp. K. в условиях длительного интенсивного культивирования

Элемент	Этап опыта		
	I	II	III
N	149	368	385
	109	151	106
P	163	220	222
	51	85	35
S	488	540	524
	—	18	—
K	2927	3020	2770
	55	50	43
Mg	140	199	173
	32	32	23

Примечание. Верхние данные для каждого элемента означают содержание в фоновой среде (в мг/л); нижние — вынос (в мг/г сухого веса биомассы).

1 мл. На I и II этапах реактор освещался с одной стороны светом интенсивностью $450 \cdot 10^3$ эрг/см²·сек, на III этапе — с двух сторон с суммарной облученностью $800 \cdot 10^3$ эрг/см²·сек.

Как видно из рис. 2, фотосинтетическая продуктивность культуры по интенсивности поглощения CO₂ и по накоплению биомассы в течение всего опыта устойчиво сохранялась на заданных значениях, уровень которых определялся условиями освещения. При этом на II этапе интенсивность фотосинтеза и продуктивность по накоплению сухого веса биомассы были равны $14-15$ л CO₂ на 1 л суспензии в сутки ($14-15$ г/л·сутки сухой биомассы), т. е. такие же, как и на I этапе, несмотря на то что плотность культуры на II этапе была в два раза ниже, чем на I этапе. Равенство приростов биомассы достигалось за счет того, что на II этапе, как видно из рис. 3, были в два раза большими интенсивность фотосинтеза на клетку и коэффициент размноже-

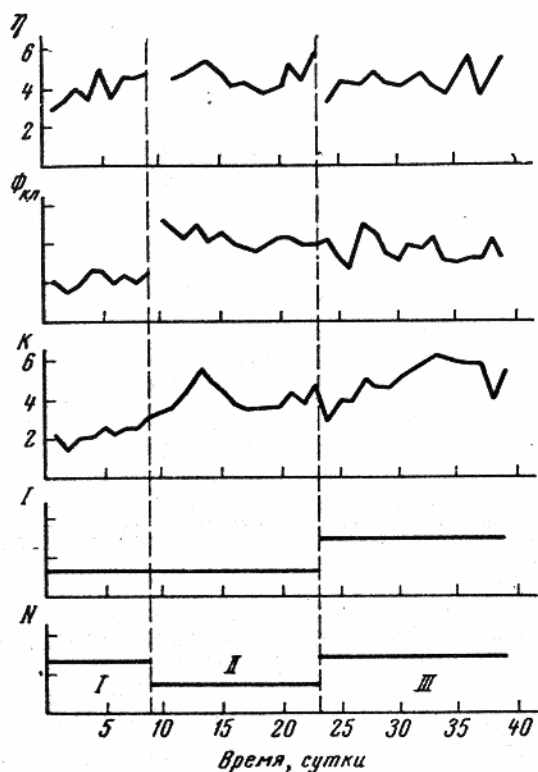


Рис. 3. Характеристика эффективности работы клеток хлореллы при длительном проточном выращивании культуры

η — КПД утилизации лучистой энергии в %; $\Phi_{\text{кл}}$ — фотосинтез (цена деления шкалы — $2 \cdot 10^{-11}$ л CO_2 на 1 клетку в сутки); K — коэффициент размножения; I — интенсивность света (цена деления шкалы $600 \text{ эрг/см}^2 \cdot \text{сек}$); N — плотность суспензии (цена деления шкалы 400 млн/мл клеток)

ния (4—5,5 против 2—3). На III этапе, где одновременно с увеличением плотности культуры до уровня I этапа ($600 \cdot 10^6$ клеток на 1 мл) была примерно удвоена облученность единицы поверхности реактора, фотосинтетическая продуктивность на клетку и число удвоений (рис. 3) оказались такими же, как на II этапе, но на уровне плотности в два раза большей. За счет этого суммарная фотосинтетическая продуктивность с единицы объема и освещаемой поверхности суспензии (в расчете на суммарную облученность) удвоилась, и приросты биомассы достигли соответственно значений $25\text{--}28 \text{ г/л} \cdot \text{сутки}$ и $140\text{--}150 \text{ г/м}^2 \cdot \text{сутки}$. Если же рассчитывать не на суммарную облученность, а на облученность с каждой стороны реактора, то интенсивность фотосинтеза на всех трех этапах опыта оставалась постоянной и равной $70\text{--}80 \text{ л CO}_2/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}$.

Таблица 2

Состав биомассы *Chlorella* sp. K. на разных этапах длительного интенсивного культивирования

(в % от сухого веса)

Элемент определения	Этап опыта		Элемент определения	Этап опыта	
	I	III		I	III
Зола	7,6	7,2	Липиды:	15,0	23,7
Хлорофилл	2,4	1,3	неомыляемые	5,7	6,7
Белки	51,5	47,7	жирные кислоты	6,4	6,9
Углеводы:	8,5	9,0	водорастворимые	2,9	10,1
растворимые	1,6	1,4	Углеводы *	31,7	25,0
крахмал	6,5	6,6	Липиды *	9,3	20,0
гемицеллюлозы	0,3	1,0			

* Величины рассчитаны по Шпёр и Миллер [46], исходя из определений элементарного состава биомассы.

Таблица 3

Содержание жирных кислот в биомассе на разных этапах длительного интенсивного культивирования *Chlorella* sp. K.

(в мг на 1 г сухого веса)

Жирная кислота	Этап опыта	
	I	III
Пальмитиновая	16,8	17,1
Пальмитолеиновая	2,2	1,9
Неизвестная кислота	2,2	2,9
Гексадекадиеновая	9,6	6,4
Гексадекатриеновая	4,3	8,1
Стеариновая	0,6	0,6
Олеиновая	1,8	2,4
Линолевая	18,2	14,3
Линоленовая	8,2	15,2
Сумма жирных кислот	63,9	68,9

КПД утилизации лучистой энергии на всех этапах опыта в условиях примененных высоких облученностей составлял 4—5% от падающей энергии, т. е. энергетическая эффективность процесса (выражаемая как произведение фотосинтетической продуктивности на КПД) оказалась в этих опытах такой же, как и в указанных нами ранее [5], где интенсивность фотосинтеза культуры была в 5 раз меньше, но КПД равнялся 20%.

В табл. 2 и 3 представлены данные биохимических анализов культуры в начале и в конце опыта. Как видно из табл. 2, при увеличении количества света (на III этапе по сравнению с I) соотношение основных компонентов биомассы в представленном опыте изменялось сравнительно мало, хотя заметно увеличивалось содержание липидов. При этом содержание жирных кислот почти не изменилось, но значительно возросло количество гидрофильных компонентов липидной фракции. Интересно отметить повышение восстановленности материала на III этапе, что видно по значительному увеличению доли липидов при определении по элементарному составу [46] (табл. 3). Увеличение доли линоленовой кислоты при большей освещенности представляет интерес в связи с развиваемыми в последнее время представлениями об ее участии в фотосинтезе [47, 48].

Уменьшение содержания хлорофилла на III этапе (см. табл. 2) при одновременном возрастании в этот период фотосинтетической продуктивности (см. рис. 2, 3) указывает на более высокую функциональную активность пигментного комплекса при увеличении облученности клеток [49].

Интересно отметить, что при снижении плотности культуры на II (и увеличении облученности на клетку) и на III этапе, когда рост культуры проходил с большим числом удвоений, в культуре отмечалось появление и возрастание числа клеток со все возрастающим числом автоспор: клетки делились на 16, 24, а затем на 32 дочерние клетки.

Таким образом, представленные данные свидетельствуют о высокой устойчивости хлореллы к длительному высокоинтенсивному развитию, когда коэффициент размножения удерживался на уровне 5—6 и скорость протока соответствовала 5—6-кратной смене объема реактора в сутки при плотности культуры 600 млн. клеток на 1 мл, что обеспечивало высокую суммарную фотосинтетическую продуктивность суспензии в 25—28 г сухого вещества биомассы на 1 л суспензии в сутки (140—150 г/м²·сутки).

Другие из проведенных опытов также показывают, что плотность, оптимальная для эффективного проточного культивирования, может находиться в пределах, близких $1 \cdot 10^9$ клеток на 1 мл (8—15 мг сухого вещества на 1 мл).

Совокупность полученных данных свидетельствует о возможности эффективного культивирования хлореллы с высокими коэффициентами размножения, что интересно с биологической точки зрения, а также и в связи с решением сложных вопросов распределения света в оптически плотных популяциях и разработкой систем автоматического регулирования.

Авторы приносят благодарность проф. А. А. Ничипоровичу за руководство и обсуждение рассматриваемых в статье вопросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Myers. 1953. *Carnegie Inst. Wash. publ.*, N 600, 37.
2. H. Tamiya, E. Hase, K. Shibata, A. Mituya, T. Iwamura, T. Nihei, T. Sasa. 1953. *Carnegie Inst. Wash. Publ.*, 600, 204.
3. J. Myers, J. R. Graham. 1961. *Plant Physiol.*, 36, 342.
4. С. В. Тареева, А. Б. Брандт, В. С. Коршунова. 1961. *Биофизика*, 4, 572.
5. В. Е. Семененко, М. Г. Владимирова, А. А. Ничипорович. 1962. *Проблемы космической биологии*, 2, 326.
6. И. В. Смирнов. 1963. *Биофизика*, 8, 90.
7. Ю. Н. Филипповский, В. Е. Семененко, В. М. Лебедев, Л. Н. Цоглин. 1965. В сб.: *Управляемый биосинтез и биофизика популяций. Тезисы докладов. Красноярск*, стр. 44, см. также настоящий сборник.
8. В. Е. Семененко, Ю. Н. Филипповский, М. Г. Владимирова, М. И. Таутс, Л. Н. Цоглин, А. А. Ничипорович. 1965. В сб.: *Управляемый биосинтез и биофизика популяций. Тезисы докладов. Красноярск*, стр. 6.
9. R. W. Krauss, W. H. Thomas. 1954. *Plant. Physiol.*, 29, 205.
10. М. Г. Владимирова, Е. Д. Кузнецов. 1964. *Физиол. раст.*, 11, 827.
11. Е. Д. Кузнецов, М. Г. Владимирова. 1965. *Физиол. раст.*, 12, 33.
12. Е. Д. Кузнецов, М. Г. Владимирова, М. И. Таутс, В. Е. Семененко. 1965. *Управляемый биосинтез и биофизика популяций. Тезисы докладов. Красноярск*, стр. 44.
13. R. Pratt. 1940. *Amer. J. Bot.*, 27, 52.
14. М. И. Таутс. 1964. *Физиол. раст.*, 11, 247.
15. М. И. Таутс. 1965. В сб.: *Управляемый биосинтез и биофизика популяций. Тезисы докладов. Красноярск*, стр. 52; см. также настоящий сборник.
16. Т. Б. Галкина. 1964. *Проблемы космической биологии*, 3, 428.
17. M. L. Iggena. 1938. *Arch. Microbiol.*, 9, N 2.
18. H. Aufdem garten. 1939. *Planta*, 29, 643.
19. E. D. McAlister, J. Myers. 1940. *Smithsonian Misc. Collect.*, 99, 1.
20. В. Е. Семененко. 1964. *Физиол. раст.*, 11, 216.
21. Е. Рабинович. 1959. *Фотосинтез*, 3, ИЛ.
22. М. Г. Владимирова, В. Е. Семененко. 1962. *Интенсивная культура одноклеточных водорослей. М., Изд-во АН СССР.*
23. Г. Л. Клячко-Гурвич. 1964. *Физиол. раст.*, 11, 978.
24. J. Malek. 1964. *Kontinualni kultivace mikroorganismu. Praha.*
25. Н. Д. Иерусалимский. 1962. *Вестн. АН СССР*, № 3, 40.
26. Н. Д. Иерусалимский. 1962. *Известия АН СССР, серия биол.*, № 3, 418.
27. J. Monod. 1950. *Ann. Inst. Pasteur*, 79, 390.
28. A. Novick, L. Szilard. 1950. *Science*, 112, 715.
29. Н. Д. Иерусалимский. 1965. В сб.: *Управляемый биосинтез и биофизика популяций. Тезисы докладов. Красноярск*, стр. 6.
30. Ю. С. Ляликов. 1960. *Физико-химические методы анализа. М., Госхимиздат.*
31. J. Myers, L. B. Clark. 1944. *J. Gen. Physiol.*, 28, 103.
32. J. H. Phillips, J. Myers. 1954. *Plant. Physiol.*, 29, 148.
33. C. Sorokin, J. Myers. 1953. *Science*, 117, 330.
34. L. H. Bongers. 1958. *Netherl J. Agric. Sci.*, 6, 79.
35. J. A. Bassham, M. Kirk. 1960. *Biochim. et Biophys. Acta*, 43, 447.
36. A. A. Benson, M. Calvin, V. A. Haas et al. 1949. In: *Photosynthesis in plants. Yova State College*, p. 381.
37. H. Iwamoto, H. Sugimoto. 1958. *Bull. Agric. Chem. Soc. Japan*, 22, 410.
38. K. A. Clendenning, T. E. Brown. 1956. *Physiol. plantarum*, 9, 515.

39. K. A. Clendenning, T. E. Brown, H. C. Eyster. 1956. *Canad. J. Bot.*, 34, 943.
40. И. А. Терсков, И. И. Гительзон, Ф. Я. Сидько, Б. Г. Ковров, В. А. Батов, В. Н. Белянин. 1964. В сб.: *Управляемое культивирование микроводорослей*. М., Изд-во АН СССР, стр. 47.
41. Л. Н. Цоглин, В. Е. Семененко, Ф. М. Бочачер, Ю. Н. Филипповский. 1965. В сб.: *Управляемый биосинтез и биофизика популяций*. Тезисы докладов. Красноярск, стр. 17; см. также настоящий сборник.
42. М. Г. Владимирова, В. Е. Семененко, А. А. Ничипорович. 1962. *Проблемы космической биологии*, 2, 314.
43. М. Г. Владимирова, М. А. Игнатъевская, Н. И. Райков. 1965. В сб.: *Управляемый биосинтез и биофизика популяций*. Тезисы докладов. Красноярск, стр. 56; см. также настоящий сборник.
44. В. Е. Семененко, М. Г. Владимирова, Л. Н. Цоглин, М. А. Попова. 1965. В сб.: *Управляемый биосинтез и биофизика популяций*. Тезисы докладов. Красноярск, стр. 47; см. также настоящий сборник.
45. М. Г. Владимирова, В. Е. Семененко, Т. С. Жукова, Е. С. Кованова. 1965. В сб.: *Управляемый биосинтез и биофизика популяций*. Тезисы докладов. Красноярск, стр. 46; см. также настоящий сборник.
46. H. Sroehr, H. Milner. 1949. *Plant Physiol.*, 24, 120.
47. J. Erwin, K. Bloch. 1962. *Biochem. and Biophys. Res. Commun.*, 9, 103.
48. А. Г. Верещагин, Г. В. Новицкая, А. В. Каверина. 1964. Докл. АН СССР, 159, 208.
49. В. Е. Семененко, М. Г. Владимирова, Е. С. Кованова, Т. С. Жукова. 1965. В сб.: *Управляемый биосинтез и биофизика популяций*. Тезисы докладов. Красноярск, стр. 51.



ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОДУКТИВНОСТИ ШТАММОВ ОДНОКЛЕТОЧНЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ И ПОЛУПРОИЗВОДСТВЕННОЙ КУЛЬТУРЫ

М. Г. ВЛАДИМИРОВА, М. А. ИГНАТЬЕВСКАЯ,
Н. И. РАЙКОВ

Исследование видов и штаммов одноклеточных водорослей в настоящее время осуществляется в самых различных аспектах: биохимическом, генетическом и физиологическом. При этом изучение ведется как в длительных, так и кратковременных опытах, как на уровне одной клетки, так и в условиях массовой культуры.

Целью настоящей работы было сравнительное изучение фотосинтетической продуктивности различных водорослей на уровне популяций в условиях интенсивной культуры. Как уже неоднократно указывалось [1, 2], получаемые при характеристике штаммов зависимости существенно меняются от условий культивирования, в связи с чем и оценка продуктивности культур водорос-