

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

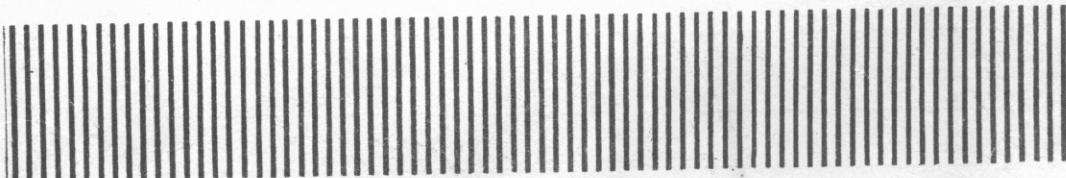
ЭКОЛОГИЯ

3

МАЙ—ИЮНЬ

1982

Издательство «Наука»



- Лавренко Е. М. О растительности степей и пустынь Монгольской Народной Республики. — Проблемы освоения пустынь, 1978, № 1, с. 3—17.
- Лархер В. Экология растений. М.: Мир, 1978, 386 с.
- Шардаков В. С. Водный режим хлопчатника и определение оптимальных факторов полива. Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1953, 96 с.
- Catsky G. Determination of water deficit in disks cut of foliage leaves. — Bot. gaz. 1960, 53, S. 76—78.
- Walter H. Die kryoskopische Bestimmung des osmotischen Wertes bei Pflanzen. — In: Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden. Abt. XI Chemische physikalische Methoden zum Untersuchung des Bodens und der Pflanze. Jena, 1931, Bd. 4, № 2, S. 353—371.

УДК 551.464.618.577.475

СКОРОСТЬ СВЕТОВОЙ АДАПТАЦИИ ПЛАНКТОННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ

Г. П. Берсенева, Д. К. Крупаткина, Л. М. Сергеева

В процессе адаптации планктона водорослей к свету изучали скорость изменения основных физиологических параметров во времени. Скорость фотосинтеза измеряли кислородным и радиоуглеродным методами, концентрацию хлорофилла «а» — стандартным спектрофотометрическим. Установлены сроки световой адаптации как отдельных видов водорослей, так и фитопланктона в целом в природных условиях.

При адаптации отдельных видов водорослей к свету происходит изменение концентрации хлорофиллов, а также других физиологических параметров: величины начала светового насыщения I_k , ассимиляционного числа АЧ, максимальной скорости фотосинтеза P_{\max} (Берсенева и др., 1978). Адаптация к световым условиям наблюдается также у фитопланктона в природных условиях (Финенко, 1970; Берсенева, Крупаткина, 1976; Aruga, Ichimura, 1968). Однако скорость изменения физиологических параметров при адаптации исследована недостаточно. Такие данные получены в основном на одном виде зеленой пресноводной водоросли *Chlorella vulgaris* (St. Nielsen e. a., 1962).

В задачу настоящей работы входило определение скорости изменения основных физиологических параметров как на отдельных видах водорослей, так и у фитопланктона в целом при разных световых интенсивностях.

Скорость адаптации отдельных культур водорослей изучали в лабораторных условиях, а природного фитопланктона — во время рейса научно-исследовательского судна «Михаил Ломоносов» в Саргассовом море (апрель—июль 1978 г.).

Кинетику изменения основных физиологических параметров изучали на двух видах диатомовых (*Chaetoceros curvifolius* и *Scleletonema costatum*) и одном виде цианофитовых водорослей — *Peridinium trochoideum*. Водоросли адаптировали в течение двух-четырех суток к низкой и высокой интенсивностям света (21 и 195 Дж·м⁻²·с⁻¹). В течение всего периода адаптации через каждые два часа измеряли все параметры. Для определения скорости фотосинтеза пользовались кислородным скляночным методом. Содержание хлорофилла «а» определяли по стандартному спектрофотометрическому методу группы № 17 ЮНЕСКО (SCOR-UNESCO, 1966). В течение экспериментов поддерживали постоянную температуру 20±1°C и оптимальную численность клеток, при которой интенсивность фотосинтеза не зависит от их концентрации в сосуде.

В природных условиях скорость фотосинтеза измеряли радиоуглеродным методом. В склянки вносили по 20 мкКи $\text{NaH}^{14}\text{O}_3$, затем экспонировали их на световой решетке, где с помощью ламп ДРЛ-700 создавалась интенсивность света от 21 до 188 Дж·м⁻²·с⁻¹. Для исследования адаптации тенеадаптированного фитопланктона к высокой интенсивности света пробы воды с нижних горизонтов помещали в 20-литровые бутыли и освещали при интенсивности света 210—244 Дж·м⁻²·с⁻¹ круглосуточно. Через определенные промежутки времени измеряли содержание хлорофилла, скорость фотосинтеза и ассимиляционное число.

При изучении содержания хлорофилла «а» в клетке, скорости фотосинтеза и ассимиляционного числа во времени для трех видов водо-

рослей получены одинаковые закономерности. Удельное содержание хлорофилла «а» изменялось в течение суток как на низкой, так и на высокой интенсивностях света (см. рис. 1). В утренние часы оно было выше, в середине светового периода отмечалось минимальное содержание, а в конце — снова увеличивалось. Но средний уровень концентрации хлорофилла «а» на высокой интенсивности света был ниже, чем на низкой. Разница в его концентрации на двух интенсивностях света для *Skeletonema costatum* и *Peridinium trochoideum* составляла 30—50%. У *Chaetoceros curvisetus* указанные величины находились почти на одном уровне. Отсутствие разницы может объясняться незначительным отличием в интенсивностях освещения, при которых адаптировалась эта водоросль.

При переносе с низкой на высокую интенсивность света быстро возрастало ассимиляционное число (рис. 2). Через 2—4 ч этот показатель у трех видов водорослей увеличивался с 5—7 до 8—14 мг С·мг хл. «а»⁻¹·ч⁻¹. Дальнейшие изменения АЧ носили колебательный характер с максимумом, приходящим-

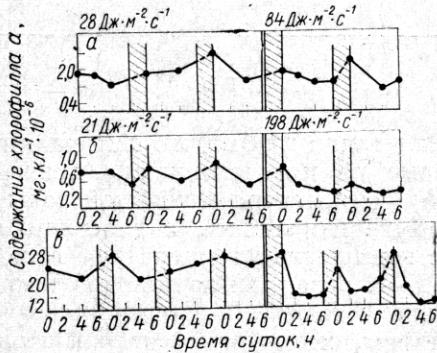


Рис. 1. Изменение удельного содержания хлорофилла «а» во времени (I—III сутки) у водорослей при двух интенсивностях света (заштрихован период темноты).

а — *Chaetoceros curvisetus*, б — *Skeletonema costatum*, в — *Peridinium trochoideum*.

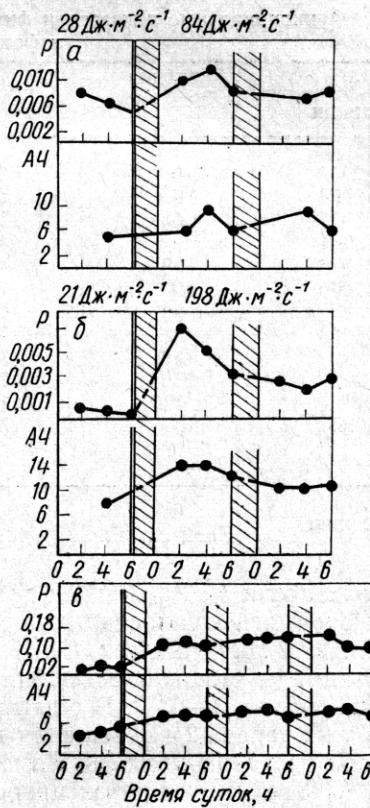


Рис. 2. Изменение максимальной скорости фотосинтеза P (мг С × ч⁻¹ · кл⁻¹ · 10⁻⁶) и ассимиляционного числа АЧ (мг С · мг хл. «а»⁻¹ · ч⁻¹) во времени (I—III сутки) у водорослей при двух интенсивностях света.

Условные обозначения см. на рис. 1.

ся на середину светового периода. К концу первых—вторых суток величина АЧ выходила на стационарный уровень.

Изменение третьего параметра — максимальной скорости фотосинтеза — носило аналогичный характер: резкое увеличение в первые часы перехода на более высокий уровень освещения, затем — плавное, с выходом на стационарный уровень (см. рис. 2). Отметим, что у видов, адаптированных к двум разным интенсивностям света, устанавливалась одинаковая скорость деления. Водоросли, изменения свои фотосинтетические характеристики, адаптируются таким образом, чтобы наиболее эффективно использовать для роста условия окружающей среды.

В опытах, поставленных ранее (Берсенева и др., 1978), прослежено изменение четвертого параметра — величины I_k . Увеличение I_k на 30—40% по сравнению с исходным состоянием зафиксировано через разное время: у *Chaetoceros socialis* — через 3 ч, у других видов — через 6—20 ч освещения.

Изучение скорости адаптации природного фитопланктона в Саргасовом море показало, что при сильно выраженной стратификации вод с температурным скачком на глубине 60—130 м наблюдалась адаптация водорослей к низкой и высокой интенсивностям света. Это нашло отражение в отличиях основных физиологических показателей (табл. 1). Так, средние значения величины I_k фитопланктона верхнего слоя (светоадаптированного) на 30%, а АЧ почти в 3 раза выше, чем для нижнего (тениадаптированного).

Таблица 1

Функциональные показатели фитопланктона верхнего и нижнего слоев эвфотической зоны

№ станции	Глубина отбора проб, м	I_k , Дж·м ⁻² ·с ⁻¹	P_{\max} , мг С·м ⁻³ ·ч ⁻¹	АЧ, мг С·мг хл.«а» ⁻¹ ·ч ⁻¹
2949	0	70	0,032	—
2950	0	63	0,025	1,25
2957	0	56	0,024	1,20
3074	0	112	0,024	4,20
3066	60	42	0,170	1,54
3066	0	70	0,210	13,00
	80	63	0,160	0,95
3062	0	70	0,176	4,40
	115	56	0,080	2,66
3011	0	77	0,210	7,00
	130	14	0,130	2,16
2966	0	56	1,120	3,00
	138	42	0,080	0,28
Средние	0 Слой скачка	68±19 43±17	0,229±0,084 0,122±0,039	4,38±4,04 1,43±0,87

Показатели I_k , P_{\max} и АЧ при адаптации глубинного фитопланктона к высокой освещенности, измеренные на пяти станциях, приведены в табл. 2. В двух опытах (№ 3 и 5) температура глубинной воды при экопозиции к высокой освещенности не изменялась, а в остальных — повышалась на 3—5° С. В опытах с повышением температуры I_k возрастила уже через 12 ч освещения в 1,5—2 раза, при постоянной температуре она не увеличивалась. Изменение фотосинтеза происходило аналогично I_k . Увеличение интенсивности фотосинтеза отмечено при повышении температуры через 12—24 ч. Эти значения сохраняются в течение последующих 28 ч. В ходе адаптации АЧ увеличивалось через 12 ч с 1,52 до 4,42 мг С·мг хл.«а»⁻¹·ч⁻¹. Через 48 ч при уменьшении концентрации биогенных элементов (Р, N) до нуля АЧ снижалось до 0,55 мг С·мг хл.«а»⁻¹·ч⁻¹. Если концентрация фосфатов и нитратов не понижалась до нуля, АЧ сохраняло высокие значения (5 мг С · X мг хл.«а»⁻¹·ч⁻¹).

Опыты с отдельными видами водорослей показали, что повышение световой интенсивности приводит к быстрой перестройке фотосинтетического аппарата растений. Удельное содержание хлорофилла, скорость фотосинтеза в клетке, величины АЧ и I_k меняются в первые часы при смене светового режима. В последующие сутки-две устанавливается новый стационарный уровень этих параметров. Таким образом, адаптация к свету у морских планктонных водорослей заканчивается в течение одних-двух суток, что у некоторых видов и раньше. Для пресноводных водорослей приводятся аналогичные периоды. Для полной адаптации пресноводной водоросли *Chlorella vulgaris* к высокой освещенности (140 Дж·м⁻²·с⁻¹) после низкой (14 Дж·м⁻²·с⁻¹) требуется 24 ч непрерывного освещения или трое суток, если длительность светового периода составляет восемь часов (St. Nielsen e. a., 1962).

Адаптация к свету имеет решающее значение для формирования органической продукции в океане. При сильно выраженной стратификации вод вертикальная миграция фитопланктона затруднена. Фито-

планктон в таких условиях подразделяется по глубине эвфотической зоны на «световой» и «теневой» (St. Nielsen, Yorgensen, 1968). При подъеме глубинных вод в приповерхностные слои происходит адаптация фитопланктона с нижних горизонтов эвфотической зоны к высокой интенсивности света.

Таблица 2

Скорость изменения функциональных показателей тенеадаптированного фитопланктона при адаптации к высокой освещенности

№ опыта	Время экспозиции, ч	$I_{\text{к}}$, Дж · м ⁻² · с ⁻¹	$P_{\text{макс.}}$, м ² С · м ⁻³ · ч ⁻¹	АЧ, мг С × × мг хл.«а» ⁻¹ × × ч ⁻¹	PO ₄ ³⁻		NO ₃ ⁻	
					Ом	Слой скачка	Ом	Слой скачка
1	0	42	0,08	0,28	0,0	0,0	0,04	0,28
	6	83	0,14	—	—	—	—	—
	12	83	0,12	—	—	—	—	—
2	0	24	0,13	2,16	7,2	1,9	0,0	0,06
	16	190	0,135	—	—	—	—	—
	24	168	1,03	—	—	—	—	—
	48	204	0,09	5,62	—	0,6	0,03	—
3	0	96	0,076	1,52	0,25	0,01	0,94	0,67
	6	108	0,035	—	—	—	—	—
	12	180	0,062	—	—	—	—	—
	24	60	0,081	—	—	—	—	—
	48	36	0,122	—	—	—	0,0	—
4	0	48	0,070	0,01	0,0	0,0	0,0	0,56
	12	120	0,092	—	—	—	—	—
	24	192	0,170	—	—	—	—	—
	48	192	0,149	—	—	—	—	—
5	0	72	0,17	1,54	0,14	0,07	0,0	0,05
	6	36	0,035	—	—	—	—	—
	12	7	0,062	—	—	—	—	—
	24	72	0,081	—	—	—	—	—
	48	70	0,122	0,55	—	0,0	—	0,22

Изучение скорости адаптации глубинного фитопланктона к высокой освещенности показало, что полная адаптация в естественных условиях завершается спустя 12—24 ч освещения. Такие же сроки выявлены при адаптации поверхностного планктона к низким интенсивностям света (St. Nielsen a. Park, 1964). Необходимым условием адаптации является повышение температуры и содержания в воде биогенных элементов. Причем влияние температуры является определяющим для величины $I_{\text{к}}$, что показано ранее при изучении световой адаптации прибрежного фитопланктона в разные сезоны года. В то же время биогенные элементы в большей степени определяют изменение ассимиляционного числа (Крупяткина, 1976).

От скорости световой адаптации во многом зависит формирование районов с повышенной продуктивностью. Принимая во внимание установленные сроки адаптации, можно предполагать, что при подъеме глубинных вод в приповерхностные слои необходимы одни-две суток для формирования районов повышенной продуктивности. Поэтому зоны подъема глубинных вод и повышенной продукции обычно бывают смешены в пространстве друг относительно друга.

Институт биологии южных морей
имени А. О. Ковалевского АН УССР

Поступила в редакцию
12 июня 1980 г.

ЛИТЕРАТУРА

Берсенева Г. П., Крупяткин Д. К. Содержание хлорофилла «а» в тропической части Атлантического океана и его связь со скоростью фотосинтеза. — Биология моря, 1976, вып. 37, с. 3—9.

- Берсенева Г. П., Сергеева Л. М., Финенко З. З. Адаптация морских планктона водорослей к свету. — Океанология, 1978, № 2, с. 298—306.
- Крупаткина Д. К. Сезонные изменения физиологических показателей фитопланктона Севастопольской бухты. — Биология моря, 1976, вып. 42, с. 69—93.
- Финенко З. З. Расчет продукции фитопланктона в Черном море по содержанию хлорофилла «а». — Биология моря, 1970, вып. 19, с. 74—82.
- Araga V., Ichimura S. Characteristics of photosynthesis of phytoplankton and primary production in Kuroshio. — Bull. Misaki Mar. Biol. Inst. Kyoto Univ., 1968, 12, p. 3—20.
- SCOR-UNESCO. Report of SCOR-UNESCO Working Group 17 on determination of photosynthetic pigments. — In: UNESCO Monographs on oceanographic pigments methodology, 1966, p. 9—18.
- Steemann Nielsen E., Tai Soo Park. On the time course in adapting to low light intensities in marine phytoplankton. — J. Conseil perman internat. explorat. mer, 1964, 29, № 1, p. 19—24.
- Steemann Nielsen E., Yorgensen E. G. The adaptation of plankton algae. I General part. — Physiol. Plant., 1968, 21, p. 401—413.
- Steemann Nielsen E., Hansen V. K., Yorgensen E. G. The adaptation to different light intensities in *Chlorella vulgaris* and the time dependence on transfer to a new light intensity. — Physiol. Plant., 1962, 15, p. 505—517.

УДК 581.526

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАСТЕНИЙ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ВВЕДЕНИЯ В КУЛЬТУРУ НА ФЕРГАНСКИХ АДЫРАХ

O. X. Хасанов, Р. С. Верник, Т. Рахимова

В результате изучения биологии и экологии кормовых растений адирной зоны Ферганской долины в естественных условиях и в культуре они разделены по устойчивости к засухе на экологические группы. Для каждой группы дана характеристика свойственных ей приспособительных особенностей. Указана перспективность введения представителей отдельных групп в богарную культуру.

Наиболее экономичный путь увеличения кормопроизводства в Ферганской долине — создание неполивных пастбищно-сенокосных угодий в адирной зоне. С учетом накопленного ранее опыта фитомелиоративных исследований (Бурыгин и др., 1956; Шамсутдинов, 1975) нами разработаны научные основы создания искусственных пастбищно-сенокосных угодий, главным принципом которых является повышение степени использования потенциальных возможностей среды путем замены малопродуктивной и сорной растительности более высокопроизводительной и хозяйственно ценной (Сайдов и др., 1979).

Однако в жестких ксеротермических условиях адыров лишь немногие виды могут произрастать без полива, в связи с чем большие трудности представляет подбор ассортимента засухоустойчивых высокопроизводительных кормовых растений для введения в культуру. Для подбора фитомелиорантов с высокими адаптационными свойствами нами проведено биологическое и физиологическое изучение наиболее ценных кормовых растений аридной зоны.

Работа выполнена в 1970—1978 гг. на экспериментальном участке Института ботаники АН УзССР, расположенным на юго-восточных отрогах Чаткальского хребта на высоте 770 м над ур. м., близ с. Чартак Наманганской области. Поскольку ведущим экологическим фактором в данных условиях среды является влага, изучали элементы водного режима в течение двух-четырех сезонов вегетации, охватывая основные фазы развития растений. Интенсивность транспирации определяли методом быстрого взвешивания (Иванов и др., 1950), осмотическое давление — по Н. А. Гусеву (1960), обводненность листьев — весовым методом, водоудерживающую способность — по методу А. А. Ничипоровича (1926), водный дефицит — по разности между весом листьев до и после насыщения.

Выявлено, что в посевах на Ферганских адирах достаточно устойчивы и производительны представители различных биоморф и ритмов сезонного развития (Верник и др., 1977). Это определяется экологической неоднородностью условий обитания почвенного покрова и климата.

Экологическая классификация растений, основанная на их устойчивости к засухе, довольно широко освещена в литературе (Генкель, 1946, 1975; Горшкова, 1966;