



УДК 591.148 + 681.785.4

Сравнение интенсивностей свечения ряда байкальских микроорганизмов, одноклеточных водорослей и рекомбинантного штамма *Escherichia coli*

В. И. Добрынин^{1,2}, Е. В. Евсюнина², Д. И. Стом^{2,3}

¹Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, Иркутск

²Иркутский государственный университет, Иркутск

³Байкальский музей ИИЦ СО РАН, Листвянка

E-mail: dvi12345@yandex.ru

Аннотация. При помощи лабораторного фотометра, разработанного в Физико-техническом институте Иркутского государственного технического университета, сопоставляли интенсивность спонтанной люминесценции суспензий чистых культур байкальских микроорганизмов (*Bacillus subtilis*, *Micrococcus luteus*, *Nocardia* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Sinedra acus radians*), одноклеточных водорослей *Scenedesmus quadricauda* и *Dunaliella salina* со свечением суспензий рекомбинантного штамма *Escherichia coli* с клонированным *lux*-опероном *Photobacterium leiognathi* (данный штамм широко используется в биотестировании). Интенсивность люминесценции байкальских микроорганизмов составила 10^{-8} – 10^{-4} от интенсивности свечения рекомбинантной *E. coli* (I_{\max}) в пересчете на одну клетку. Обнаружена длительная (более 1 ч) люминесценция водорослей после внешней засветки (порядка $10^{-3} \cdot I_{\max}$), которая может давать некоторый вклад в свечение водной среды оз. Байкал в фотической зоне.

Ключевые слова: Байкал, водоросли, люминесценция, микроорганизмы, фотометр.

Введение

Ранее проведенные исследования показали, что основные типы излучателей, формирующих световое поле океана на больших глубинах (биолюминесценция и естественная радиоактивность [13]), не дают существенного вклада в наблюдаемое явление свечения водной среды Байкала [8; 9; 11]. Этот факт обуславливает необходимость поиска иных источников света для объяснения природы байкальского свечения. Одним из возможных механизмов свечения может быть клеточная хемилюминесценция [1], представляющая значительный интерес с точки зрения разработки новых методов экологического мониторинга озера.

В связи с вышеизложенным мы изучили люминесценцию суспензий ряда микроорганизмов [5].

Первые наблюдения свечения байкальской воды при добавлении в неё различных видов микроорганизмов, фито- и зоопланктона [8] выполнены в 1990 г. Исследовали ракообразных (*Epischura baicalensis*, *Cyclops kolensis*), микроорганизмы (*Pseudomonas* sp., *Achromobacter* sp., *Flavobacterium* sp., *Azotobacter* sp.,

Micrococcus sp., *Cromococcum* sp.), сапрофитные, циано- и железобактерии, а также смыв с обрастания на глубинах 400 м. Импульсное свечение океанического типа (биолюминесценция) во всех этих наблюдениях не было обнаружено, однако в ряде экспериментов была установлена высокая корреляция между интенсивностью свечения микроорганизмов и их концентрацией [8; 9].

Рекомбинантные штаммы на основе *Escherichia coli* широко используются в научных исследованиях и биотехнологии [12]. Микробный биолюминесцентный сенсор «Эколюм-9», содержащий *E. coli* с клонированным *lux*-опероном морских светящихся бактерий *Photobacterium leiognathi* имеет довольно высокий уровень люминесценции, и поэтому был использован нами в качестве эталона для сравнения с ним свечения некоторых байкальских микроорганизмов.

Данная работа является продолжением исследований в направлении расширения видового состава тестируемых культур микроорганизмов. Предварительные результаты работы изложены в докладе [5].

Материалы и методы исследований

Объектами исследования являлись культуры, представленные в табл. 1. Культивирование микроорганизмов проводили в соответствии с общепринятыми микробиологическими методами [10; 14]. Суспензии бактерий получали путём смыва со среды РПА водным раствором 0,85%-ного хлористого натрия. Водоросли предварительно концентрировали центрифугированием (центрифуга ЦЛН-2, 5000 об/с). Объём исследуемых суспензий составлял 20, 50, 100, 2000 мл. Концентрацию клеток бактерий определяли методом Коха (чашечный метод) [14], водорослей – методом подсчёта в камерах Горяева, Розенталя [10].

Перед проведением измерений суспензии микроорганизмов выдерживали в темноте в течение 1–2 ч. Интенсивность их свечения измеряли при комнатной температуре на лабораторном фотометре, разработанном В. И. Добрыниным с соавторами [4]. Суспензии в кварцевых стаканах (50 мл) либо в стеклянных колбах (100 мл) устанавливали в интегрирующую

сферу фотометра. В качестве регистрирующего устройства в данном случае использовали фотоэлектронный умножитель ФЭУ-130 в режиме счёта фотонов [2], который обладает хорошими одноэлектронными характеристиками [15], низким и стабильным уровнем темновых шумов I_d , с практически пуассоновским распределением импульсов, что позволяет проводить измерения слабых световых потоков вблизи порога их обнаружения. Между ёмкостью с суспензией и фотокатодом ФЭУ располагается шторный затвор, применяемый для оперативного контроля темновых шумов. Измерения с одной пробой проводили в течение 0,5–1,5 ч при времени усреднения скорости счёта импульсов ФЭУ – 60 с.

При открытом шторном затворе (режим измерения) суммарная скорость счёта задаётся одноэлектронными импульсами, возникающими на аноде фотоэлектронного умножителя под действием исследуемой (I_p) и фоновой засветок (I_f), а также темнового тока:

$$I^{opn} = I_p + I_f + I_d.$$

Таблица 1

Характеристика использованных в исследовании культур микроорганизмов

№	Микроорганизм	Источник (предоставлено)	Среда культивирования
1	<i>Bacillus subtilis</i> , № 842	Восточно-Сибирский музей микробиологии ИГУ (штаммы изолированы из оз. Байкал)	Рыбо-пептонный агар (РПА): ГРМ-агар – 36 г/л, агар микробиологический – 1 %, вода – 1 л
2	<i>Micrococcus luteus</i> , № 855		
3	<i>Nocardia</i> sp., № 851		
4	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Дрюккер В. В., Павлова О. Н. (ЛИН СО РАН) (штамм изолирован из оз. Байкал)	
5	<i>Escherichia coli</i> , с lux-опероном <i>Photobacterium leiognathi</i>	Микробный биолюминесцентный сенсор «Эколюм-9» (НВО «Иммунотех», Москва)	РПА и питательная среда для выделения энтеробактерий (Эндо) г/л: пептон – 10; гидролизат казеина сухой – 10; дрожжевой экстракт – 1; NaCl – 3,4; NaS – 0,8; гидроортофосфат натрия – 0,75; лактоза – 10; фуксин основной – 0,2; агар микробиологический – 10,5±2,5; pH (7,3±0,2)
6	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	Плеханов С. Е. (кафедра гидробиологии биологического факультета МГУ)	ср. Успенского: KNO ₃ – 0,025 г, K ₂ HPO ₄ – 0,025 г, K ₂ CO ₃ – 0,0345 г, MgSO ₄ ×H ₂ O – 0,025 г, Ca(NO ₃) ₂ – 0,100 г, раствор микроэлементов, вода – 1 л
7	<i>Dunaliella salina</i>		ср. Артари: NaCl – 116 г, MgSO ₄ ×H ₂ O – 50 г, KNO ₃ – 2,5 г, K ₂ HPO ₄ – 0,2 г, вода – 1 л
8	Аксеничная культура байкальских диатомей <i>Synedra acus radians</i>	Группа культивирования отдела Ультраструктуры клетки (ЛИН СО РАН)	DM среда (мг/л): дистилл. вода – 1 л, Ca(NO ₃) ₂ ·H ₂ O – 20, KH ₂ PO ₄ – 12,4, MgSO ₄ ×7H ₂ O – 25, NaHCO ₃ – 16, Na ₂ ×ЭДТА – 2,25, H ₃ BO ₃ – 2,48, MnCl ₂ ×4H ₂ O – 1,39, (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ×4H ₂ O – 1, Na ₂ SiO ₃ ×5H ₂ O – 42,6, FeCl ₃ – 1,6, цианокобаламина (витамина B12), тиамин гидрохлорида (витамина B1) и биотина – по 0,04

Световой фон (I_f) в данном случае обусловлен черенковским излучением, люминесценцией физиологического раствора и стенок сосуда под действием естественной радиации [7]. Он может изменяться после интенсивной внешней засветки (фосфоресценция примесей в стекле и отражающем покрытии интегрирующей сферы фотометра). Поэтому все манипуляции с образцами проводились с предварительной выдержкой проб в полной темноте.

При закрытом затворе в режиме контроля скорость счёта импульсов ФЭУ определяется только темновыми шумами:

$$I^{cls} = I_d.$$

Разность измеряемых скоростей счёта при открытом и закрытом затворах пропорциональна потоку световых квантов, собираемых интегрирующей сферой фотометра на фотокадод ФЭУ:

$$\Delta I = I^{opn} - I^{cls} = I_p + I_f.$$

Из этого выражения видно, что для определения уровня свечения микроорганизмов I_p по результатам эксперимента необходимо провести дополнительные измерения фона I_f . Такие измерения проводили для сосудов, содержащих физиологический раствор в отсутствие микроорганизмов. Как правило, наблюдаемые значения I_f для проб объёмом 50 и 100 мл были

меньше статистической погрешности измерений ($I_f < \pm 1 \text{ с}^{-1}$). Значения I_f становятся значимыми при измерениях в больших сосудах ($V \geq 250 \text{ мл}$).

Интенсивность свечения суспензий рекомбинантного штамма *E. coli* с клонированным *lux*-опероном измеряли на лабораторном фотометре с одновременной регистрацией на приборе экологического контроля «Биотокс-10М». Сравнительный анализ данных измерений показал, что величина регистрируемого сигнала фотометра в пересчёте на 1 мл пробы *E. coli* равной концентрации превышает таковую на приборе «Биотокс-10М» в 10 раз.

Результаты и обсуждение

Результаты измерений относительной интенсивности люминесценции использованных в наблюдениях микроорганизмов представлены в табл. 2.

Интенсивность свечения суспензий бактериальных культур обычно не превышала значения $I_p = 10 \text{ с}^{-1}$ и через час наблюдений уменьшалась до $0-1 \text{ с}^{-1}$. Под влиянием внешних воздействий (предварительное освещение, перемешивание) фиксировали весьма существенные изменения интенсивности свечения суспензий одноклеточных водорослей (до 500 с^{-1}).

Таблица 2

Результаты измерений люминесценции микроорганизмов

№	Объект	$t, \text{ }^\circ\text{C}$	Возраст культуры, сут.	Объём, мл	Концентрация, КОЕ (кл.)/мл	$I_p, \text{ с}^{-1}$	Примечания
1	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	18	7	25	$3 \cdot 10^{11}$	1,5	–
			1	50, 100	$1,4 \cdot 10^{11}$	< 1	–
2	<i>Micrococcus luteus</i>	25	1	50	$5,7 \cdot 10^7$	< 1	–
3	<i>Nocardia</i> sp.	25	1	50	$8,5 \cdot 10^7$	10	–
4	<i>Bacillus subtilis</i>	24	1	2000	$9 \cdot 10^7$	< 1	–
5	Рекомбинантный штамм <i>E. coli</i>	18	7	20	$1,4 \cdot 10^8$	76 000	максимальное значение
6	<i>Dunaliella salina</i>	22	1	50	$1,5 \cdot 10^7$	< 1	–
						10–50	через час после засветки
7	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	23	1	50	$1,3 \cdot 10^7$	< 1	–
						25±5	через час после засветки
8	<i>Synedra acus radians</i>	24	7	100	$3,5 \cdot 10^3$	15	через сутки, приведено значение ΔI без учёта I_f

1. *Pseudomonas aeruginosa*. С данной культурой проводили две серии экспериментов. В первой исследовали свечение суспензии бактерий, культивируемых на твёрдой питательной среде в течение семи суток, во второй – односуточной культуры. Концентрации клеток со-

ставляли $3 \cdot 10^{11}$ и $1,4 \cdot 10^{11}$ КОЕ/мл соответственно. Интенсивность свечения культуры в обоих случаях была незначительна: $I_p \sim 1 \text{ с}^{-1}$.

2. *Micrococcus luteus*. Свечение суспензии культуры с концентрацией $5,7 \cdot 10^7$ КОЕ/мл было ниже порога обнаружения.

3. *Nocardia* sp. Интенсивность свечения составила $I_p \sim 10 \text{ с}^{-1}$ при концентрации бактерий в суспензии $8,5 \cdot 10^7$ КОЕ/мл. Отсутствие длительной фосфоресценции культуры было проверено после засветки пробы под люминесцентной лампой.

4. *Bacillus subtilis*. Измерения свечения данной культуры (объём суспензии 2 л) не выявили значимого уровня свечения для культуры с концентрацией $9 \cdot 10^7$ КОЕ/мл.

5. Культура рекомбинантного штамма *E. Coli* с клонированными *lux*-генами *Photobacterium leiognathi*. Измерения интенсивности люминес-

ценции данного штамма *E. coli* проводили после культивирования бактерий на твёрдой питательной среде в течение семи суток. Динамика изменения интенсивности свечения пробы объёмом 20 мл с концентрацией клеток $1,4 \cdot 10^8$ КОЕ/мл представлена на рис. 1.

Наблюдаемое изменение интенсивности напрямую не связано с количеством живых клеток, поскольку через 24 ч интенсивность уменьшилась более чем втрое, в то время как концентрация бактерий снизилась незначительно (до $1,1 \cdot 10^8$ КОЕ/мл).

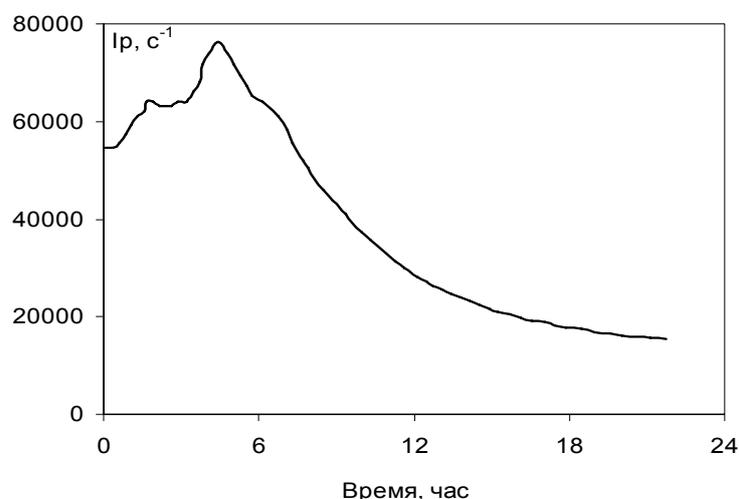


Рис. 1. Интенсивность люминесценции суспензии рекомбинантного штамма *Escherichia coli*

6. *Dunaliella salina*. Измерение интенсивности свечения суспензий водорослей проводили в стеклянной и кварцевой посуде. Для клеток, предварительно выдержанных в темноте, све-

чения не наблюдали. После их экспозиции под люминесцентной лампой (мощность 40 Вт, расстояние 20 см, время 30 мин) возникает длительное свечение (рис. 2).

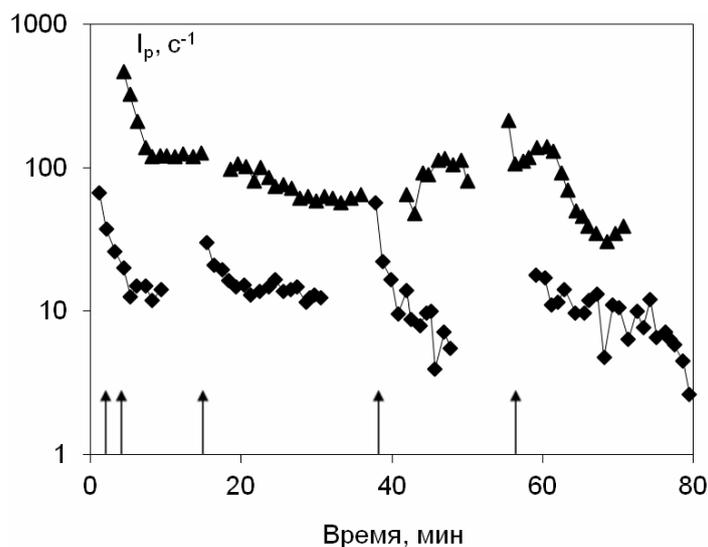


Рис. 2. Интенсивность индуцированного свечения суспензий *Dunaliella salina* после облучения пробы светом люминесцентной лампы. Треугольники — проба во время экспозиции находилась в кварцевом стакане, ромбы — в стеклянной колбе. Стрелками указаны моменты встряхивания проб

Наблюдаемое различие в уровнях интенсивности индуцированного свечения (на порядок величины) при одинаковых условиях экспозиции, по-видимому, обусловлено более высоким пропусканием кварца в сравнении со стеклом в коротковолновой области спектра (большей энергетической накачкой). В эксперименте наблюдали также увеличение регистрируемого фотоэлектронным умножителем потока фотонов сразу после перемешивания проб. Это, по-видимому, объясняется меньшим самопоглощением излученных фотонов водорослями, находящимися во взвешенном состоянии. Быстрый спад интенсивности после перемешивания обусловлен осаждением водорослей и созданием ими ввиду большой концентрации эффекта внутреннего фильтра. Люминесценция проб на достаточно высоком уровне ($I_p > 10\text{--}50 \text{ с}^{-1}$), с малой скоростью затухания (наблюдалась более часа).

7. *Scenedesmus quadricauda*. При отсутствии собственного свечения наблюдается длительная люминесценция суспензий культуры водорослей после облучения её светом люминесцентной лампы (условия освещения такие же, как в п. 6) (рис. 3). Время затухания свечения во втором эксперименте с данной культурой намного превышает время наблюдений. После быстрой фазы уменьшения интенсивности, связанной с осаждением, она стабилизируется на уровне $I_p = 25 \pm 5 \text{ с}^{-1}$.

8. *Synedra acus radians*. После установки в фотометр пробы с культурой (3500 кл/мл, 100 мл) интенсивность люминесценции пробы ΔI в течение часа уменьшилась с 40 с^{-1} до 15 с^{-1} , и оставалась на таком уровне (с отклонениями в $\pm 5 \text{ с}^{-1}$) в течение 24 ч. К сожалению, в этом эксперименте не был точно определён световой фон пробы I_f , что не позволило получить достаточно надёжную оценку для I_p .

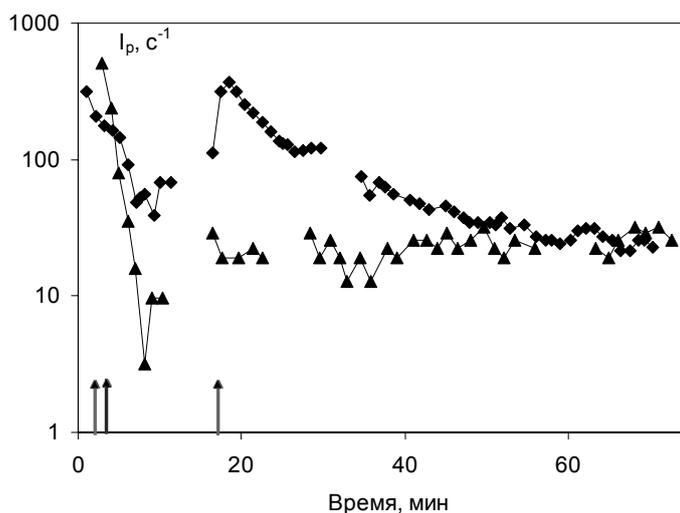


Рис. 3. Интенсивность люминесценции суспензий *Scenedesmus quadricauda* после облучения культуры светом люминесцентной лампы. Ромбы – первый эксперимент, треугольники – повторный эксперимент. Стрелками указаны моменты встряхивания проб

Интенсивность люминесценции для ряда изученных в данной работе бактериальных культур из оз. Байкал варьировала в пределах четырёх порядков величины ($2,0 \cdot 10^{-13}$ – $2,4 \cdot 10^{-9} \text{ с}^{-1}$) на одну клетку. Максимум интенсивности свечения рекомбинантного штамма *E. coli* составил $2,7 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ на клетку. Соответственно, яркость свечения штамма с клонированным *lux*-опероном превышала яркость байкальских бактерий в 10^4 – 10^8 раз (указан порядок величин).

Уровень спонтанной люминесценции водорослей *D. salina* и *S. quadricauda* на одну клетку был ниже ($1,3$ и $1,5$) $\cdot 10^{-9} \text{ с}^{-1}$, резко возрастал после внешней засветки, и через час после это-

го падал до $3,7 \cdot 10^{-8}$ и $6,7 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1}$ соответственно. Относительная яркость длительной фотолюминесценции водорослей в сравнении с рекомбинантным штаммом *E. coli* находилась на уровне ($2,5$ и $1,4$) $\cdot 10^{-3}$. Результаты этих экспериментов позволяют высказать предположение о возможном вкладе фотолюминесценции водорослей в свечение байкальской воды на глубинах эффективного фотосинтеза.

Заключение

В работе получены новые данные по уровню спонтанной люминесценции ряда культур байкальских микроорганизмов и одноклеточных

водорослей. Проведено сравнение относительных интенсивностей свечения с уровнем люминесценции рекомбинантного штамма *Escherichia coli*. Обнаружена длительная фотоиндуцированная люминесценция одноклеточных водорослей.

В дальнейшем планируется проведение измерений свечения культур байкальских микроводорослей и характера светового воздействия на его интенсивность. Такие исследования особенно актуальны в связи с недавно обнаруженной корреляцией интенсивности спонтанного свечения и концентрацией хлорофилла для ряда проб байкальской воды [6].

Авторы признательны М. Н. Саксонову за проведение измерений люминесценции *E. coli* на приборе экологического контроля «Биотокс-10М»; Н. М. Будневу, Н. А. Иванову и Н. И. Граниной за ценные советы и организационную поддержку.

Работа проводилась при частичной поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (Соглашения ГК: № 16.525.11.5013 от 26.10.2011, № 14.В37.21.0785 от 24.08.2012, № 11.519.11.5016 от 28.10.11, № 14.В37.21.1225 от 18.09.2012) и Программы стратегического развития.

Литература

1. Владимиров Ю. А. Свободные радикалы и клеточная хемилюминесценция / Ю. А. Владимиров, Е. В. Проскурнина // Успехи биол. химии. – 2009. – Т. 49. – С. 341–388.
2. Гулаков И. Р. Метод счёта фотонов в оптико-физических измерениях / И. Р. Гулаков, С. В. Холондырев. – Минск : Университ., 1989. – 256 с.
3. Дерябин Д. Г. Особенности реагирования природного и рекомбинантного люминесцирующих микроорганизмов в присутствии ионов Fe^{2+} / Д. Г. Дерябин, И. Ф. Каримов // Прикл. биохимия и микробиология. – 2010. – Т. 46, № 1. – С. 35–39.
4. Добрынин В. И. Лабораторный фотометр для исследования слабого свечения водных сред / В. И. Добрынин, А. Е. Краснояров, А. Г. Ченский //

Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. – 2010. – № 5 (45). – С. 341–345.

5. Добрынин В. И. Люминесценция некоторых групп микроорганизмов / В. И. Добрынин, Е. В. Евсюнина, В. А. Быбин // Проблемы экологии : чтения памяти проф. М. М. Кожова : тез. докл. Междунар. науч. конф. Иркутск, 20–25 сент. 2010 г. – Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. – С. 405.

6. Добрынин В. И. О корреляции свечения байкальской воды с флуоресценцией хлорофилла / В. И. Добрынин // Оптика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 24, № 5. – С. 366–370.

7. Добрынин В. И. Сверхслабая люминесценция природных вод / В. И. Добрынин // Пятая Верещагинская байкальская конф. : тез. докл. и стенд. сообщений (Иркутск, 4–9 октября 2010 г.). – Иркутск : Аспринт, 2010. – С. 221–223.

8. Добрынин В. И. Свечение водной среды как источник фона для нейтринных телескопов на озере Байкал : дис. ... канд. физ-мат. наук : 07.00.02 / В. И. Добрынин. – М. : ИЯИ РАН, 1993. – 215 с.

9. Добрынин В. И. Свечение водной среды оз. Байкал и экологический мониторинг / В. И. Добрынин // Мониторинг и оценка состояния Байкала и Прибайкалья. – Л. : Гидрометеоздат, 1991. – С. 79–85.

10. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике / Л. А. Сиренко [и др.]. – Киев : Наукова думка, 1975. – 247 с.

11. О свечении глубинных вод оз. Байкал / Л. Б. Безруков [и др.] // Докл. АН СССР. – 1984. – Т. 277, № 5. – С. 1240–1244.

12. Перспективы использования современных биолюминесцентных экспресс-методов / А. П. Зарубина [и др.] // Изв. науч.-техн. о-ва «Кахак», 2012. – № 2(36). – С. 90–96.

13. Световой фон океана / В. И. Ильичев [и др.]; отв. ред. В. И. Ильичев, А. А. Петрухин. – М. : Наука, 1990. – 115 с.

14. Теппер Е. З. Практикум по микробиологии / Е. З. Теппер, В. К. Шильникова, Г. И. Переверзева. – М. : Колос, 1979. – 216 с.

15. Характеристики ФЭУ-130 / Б. В. Архангельский [и др.] // Приборы и техника эксперимента. – 1986. – № 1. – С. 163–165.

The comparison of a few Baikal microorganisms and unicellular algae luminescence intensity with that of *Escherichia coli* recombinant strain

V. I. Dobrynin^{1,2}, E. V. Evsyunina², D. I. Stom^{2,3}

¹ National Research Irkutsk State Technical University, Irkutsk

² Irkutsk State University, Irkutsk

³ Baikal Museum ISC SB RAS, Listvyanka

Abstract. The intensity of spontaneous luminescence microorganism's suspension of the pure Baikal culture (*Bacillus subtilis*, *Micrococcus luteus*, *Nocardia* sp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Sinedra acus radians*), unicellular algae (*Scenedesmus quadricauda* and *Dunaliella salina*) and recombinant strain with included *lux*-operon (*Escherichia coli*) was compared by means of self-made setup (laboratory photometer, designed in Physical and Technical Insti-

tute of Irkutsk State Technical University). The strain *E. coli* is widely using in bio testing. Lake Baikal microorganism's luminescence intensity upon recalculation on one cell was 10^8-10^4 times lower than that of recombinant *E. coli* (I_{\max}). Algae's prolonged luminescence after external lighting was found. It is only 10^3 times lower than I_{\max} and can give some impact into Baikal water luminescence in the photic zone.

Keywords: luminescence, microorganisms, algae, photometer, Lake Baikal.

Добрынин Виктор Иванович
Иркутский государственный технический университет
664074, Иркутск ул. Лермонтова, 83
кандидат физико-математических наук
ведущий научный сотрудник
тел.: (4232) 40-59-03
E-mail: dvi12345@yandex.ru

Dobrynin Victor Ivanovich
National Research Irkutsk State Technical University
83 Lermontova St., Irkutsk, 664074
Ph. D. in Physics & Mathematics
leading research scientist
phone: (4232) 40-59-03
E-mail: dvi12345@yandex.ru

Евсюнина Елена Владимировна
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. Сухэ-Батора, 5
аспирант
тел.: (3952) 24-18-70
E-mail: elenae87@mail.ru

Evsyunina Elena Vladimirovna
Irkutsk State University
5 Suhe-Bator St., Irkutsk, 664003
doctoral student
phone: (3952) 24-18-70
E-mail: elenae87@mail.ru

Стом Дэвард Иосифович
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. Сухэ-Батора, 5
доктор биологических наук, профессор
тел.: (3952) 24-18-70
E-mail: stomd@mail.ru

Stom Devard Iosiphovich
Irkutsk State University
5 Suhe-Bator St., Irkutsk, 664003
D. Sc. of Biology, Prof.
phone: (3952) 24-18-70
E-mail: stomd@mail.ru