

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ БИОБЕЗОПАСНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ОСВЕЩЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕПОРТЁРНЫХ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ

В последние годы целью ряда исследований была разработка биосенсорных методов для оценки воздействия мутагенных и канцерогенных факторов окружающей среды на клетку, в частности, биосенсорных тест-систем целых клеток, которые имеют в своём составе два основных генетических элемента: промотор, отвечающий на воздействие токсиканта и ген-репортёр, транскрибируемый с этого промотора. Можно отметить, что репортёрные микроорганизмы крайне удобный объект для изучения ДНК-повреждающих воздействий, ввиду простоты культивирования, неисчерпаемости биоресурса, лёгкости в смене условий облучения, и, наконец, способности к транскрипционному ответу, который легко визуализировать по уровню люминесценции бактериального штамма.

В данной работе репортёрные люминесцирующие штаммы, построенные на основе *E. coli* K12 MG1655: *E. coli* K12 MG1655 *recA::lux*, *E. coli* K12 MG1655 *colD::lux* и *E. coli* K12 MG1655 *ibpA::lux* применялись для оценки степени биобезопасности источников искусственного освещения, при этом первые два реагируют свечением на повреждения ДНК, а последний – на повреждение белков теплового шока. Для создания оптимальных условий работы штаммов была создана методика оценки освещённости и ДНК-повреждающего воздействия, а также произведено сравнение физических характеристик источников освещения, в том числе ламп накаливания, компактных люминесцентных ламп и светодиодных ламп.

Полученные результаты позволили констатировать, что все типы ламп способны оказывать ДНК-повреждающее воздействие в разной степени, но большее значение имеет марка, нежели тип лампы; при этом выявлена корреляция повреждений от интенсивности ультрафиолетового облучения, испускаемого всеми типами источников освещения. Также была отмечена разница в особенностях отклика штаммов *E. coli* *recA::lux* и *E. coli* *colD::lux*.

Ключевые слова: репортёрные штаммы, компактная люминесцентная лампа, лампа накаливания, светодиодная лампа, ультрафиолет, повреждение ДНК.

В настоящее время существует огромное разнообразие источников искусственного освещения, предназначенных для жилых и производственных помещений, которые отличаются светотехническими характеристиками для освещения жилых и общественных зданий.

Ранее широко распространённые лампы накаливания (ЛН) в последнее время вытесняются компактными люминесцентными лампами (КЛЛ), которые, несмотря на ряд недостатков, таких как высокая стоимость и содержание в них ядовитых веществ, имеют и ряд преимуществ: экономия электроэнергии составляет до 80 % в зависимости от производителя и конкретной модели; энергосберегающие лампы слабо нагреваются, кроме того срок их службы превышает в 5–6 раз срок службы лампы накаливания [1, 2]. Такая ситуация нашла отражение в федеральном законе об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, принятым Государственной Думой 11 ноября 2009 г., согласно которому с 2011 года предлагалось отказаться от оборота ламп накаливания мощностью 100 Ватт и более, с 2013 года запрещены лампы мощностью 75 Ватт и более, а запрет на оборот ламп накаливания мощностью от 25 Ватт и более введен в 2014 году [3].

Помимо компактных люминесцентных ламп развитие получили светодиодные лампы (LED), характеризующиеся ещё большим сроком службы и отсутствием в составе вредных веществ. Однако влияние излучения этих ламп на живой организм всё ещё недостаточно исследовано [4]. Появилась реальная необходимость исследовать возможное влияние энергосберегающих, в частности люминесцентных и светодиодных ламп, на живой организм.

Исследователями университета штата Нью-Йорк в Стоуни-Брук были получены результаты воздействия компактных люминесцентных ламп на клетки кожи человека: снижение скорости пролиферации и значительное увеличение производства активных форм кислорода. Измерения выбросов ультрафиолета (УФ) из этих ламп показали значительные уровни УФ-С, УФ-В и УФ-А, которые проникают через трещины в люминофоре. При этом реакция изучаемых клеток в отношении КЛЛ согласуется с повреждением от ультрафиолетового излучения [5].

Исследование, проведенное Европейской комиссией – Научным комитетом по новым и вновь выявленным рискам для здоровья (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health

Risks – SCENIHR) показало, что симптомы нескольких заболеваний могут усугубляться в присутствии работающих энергосберегающих ламп (в основном КЛЛ). SCENIHR рассмотрел три характеристики лампы (мерцание, электромагнитные поля и УФ), которые могут выступать в качестве инициатора симптомов заболевания (к примеру, пигментная ксеродерма, волчанка, мигрень, эпилепсия, миалгическим энцефаломиелит, синдром Ирлена-Мерса, фибромиалгия, электрочувствительность, СПИД, диспраксия и аутизм) [6]. Из всех свойств компактной люминесцентной лампы, только УФ излучение идентифицировано как потенциальный фактор риска обострения светочувствительных симптомов. Было замечено, что некоторые одноконвертные КЛЛ излучают УФ-В и следы УФ-С излучения [7].

Особое место в протоколах тестирования генетической активности занимают бактериальные биосенсоры [8]. Изучение степени повреждения ДНК возможно с использованием репортёрных штаммов бактерий, у которых перед генами, продукты которых легко зарегистрировать (например, гены свечения), клонированы промоторы, индуцируемые в ходе SOS-ответа [9]. SOS-ответ представляет собой комплексный ответ клеток *E.coli* на действие ДНК-повреждающих агентов и ряд других неблагоприятных воздействий и заключается в активации экспрессии ряда ферментов, обеспечивающих репарационные функции и приостанавливающих нормальное деление клеток [10]. Одним из промоторов, индуцируемых в ходе SOS-ответа, является ген *гесА*, продукт которого осуществляет аутопротеолиз *LexA*, что снимает репрессию с подконтрольных генов *uvrA*, *uvrB* и *uvrC*, кодирующих мультиферментный комплекс из эндонуклеаз [11, 12]. В качестве гена SOS-ответа можно использовать также ген колицина Д (*сda*-промотор), присутствующий в плазмиде ColD, и чувствительный к различным генотоксикантам, таким как митомицин С, N-метил-N'-нитро-N-нитрозогуанидин, пероксид водорода, ультрафиолетовое излучение [13].

Таким образом, целью настоящего исследования стала оценка повреждающего воздействия различных типов источников освещения, с использованием люминесцирующих репортёрных штаммов, отвечающих на повреждение ДНК.

В работе применялись репортёрные штаммы бактерий на основе реципиента *E.coli*

K12 MG1655, несущего плазмиды с генными сшивками *гесА::luxCDABE*, *colD::luxCDABE* и *ibrA::luxCDABE*, любезно предоставленные И.В. Мануховым (ГосНИИгенетика, Москва). Первые два регистрируют повреждение ДНК, а третий – активацию белков теплового шока [14]. Такие гибридные плазмиды, в состав которых встроены специфический регуляторный участок (промотор и оператор) и репортёрные гены *luxCDABE*, изолированные из светящихся бактерий *Photobacterium luminescens*, позволяют в режиме реального времени визуализировать транскрипционный ответ, вызванный активацией промотора в ответ на повреждение ДНК или белков по уровню люминесценции бактериального штамма [15].

Микроорганизмы выращивали на среде Лурия-Бертани (LB-агар) с добавлением 100 мкг/мл ампициллина при 37 °С в течение 18 часов. Затем клетки переносили в 0,9 % раствор NaCl и доводили оптическую плотность до 0,500 отн.ед. при 450 нм с использованием микрострипового фотометра STAT FAX 303 VIS+ (Awareness Technology, США), после чего 100 мкл взвеси бактерий переносили в 1400 мкл LB-бульона и инкубировали в течение 30, 60, 90 и 120 минут при 37°С с перемешиванием на микропланшетном инкубаторе-встряхивателе STAT FAX 2200 (Awareness Technology, США). Затем пробирки с бактериями центрифугировали, супернатант удаляли, а осадок ресуспендировали в 750 мкл 0,9 % раствора NaCl или LB-бульона. Далее взвесь разливали по лункам стрипов и подвергали облучению с экспозицией 0, 30, 60 и 90 минут при использовании ламп освещения, или 0, 2,5, 5, 10 и 15 минут при использовании ультрафиолетовой кварцевой лампы Philips TUV 30W/G30 T8 (Голландия). Кинетику свечения облучённых и контрольных групп бактерий оценивали с использованием микропланшетного люцинометра LM-01T (Immunotech, Чехия). Использованные источники освещения и их характеристики указаны в таблице 1.

С целью создания одинаковых условий освещённости под различными источниками света, была проведена стандартизация по уровню освещённости. Измерение данного параметра осуществляли с помощью люксметра PCE 174 (PCE Group CO KG, Германия). Мощность

УФ излучения измеряли УФ-радиометром «ТКА-ПКМ» (ТКА, Россия), оценивающего в спектрах УФ-А, УФ-В, УФ-С.

Экспериментальные исследования были проведены не менее чем в трех повторностях. Расчёт индекса индукции (ИИ) осуществляется по формуле:

$$\text{ИИ} = \frac{I_{\text{опыт}}}{I_{\text{контроль}}}$$

Результаты исследований были обработаны стандартными программными пакетами.

На первом этапе нами было определено оптимальное время инкубации бактерий в LB-бульоне для достижения максимального отклика в ответ на повреждающее воздействие. В качестве модельного источника облучения была использована кварцевая лампа Philips TUV 30W/G30 T8, мощность излучения которой на расстоянии 15 см составляет УФ-А=160, УФ-В=60, УФ-С=8000 мВт/м² (табл. 2).

Было выявлено, что с увеличением времени инкубации возрастает реактивность штаммов, однако при чрезмерно длительном подрачивании данный эффект исчезает. При этом наиболее оптимальным оказалось 90 минутное подрачивание, после которого 15 минутное облучение УФ давало индукцию свечения в 6,51 и 3,84 раза по сравнению с контролем для штаммов *E.coli* recA::lux и colD::lux, соответственно.

Следующим этапом нашей работы было определение оптимальных условий облучения, при которых отклик штаммов будет максимальным. Используя спектрофлуориметр «Флуорат-02-Панорама» (Люмекс, Россия), мы вы-

яснили спектры поглощения УФ-излучения физиологическим раствором и LB-бульоном и его концентраций (рис. 1).

Результаты показали, что физиологический раствор незначительно больше поглощает свет в спектре УФ-С, УФ-В, тогда как LB-бульон характеризуется выраженными фотопротекторными свойствами, убывающими по мере разведения данной среды.

Для определения оптимальных условий эксперимента мы сопоставили результаты облучения микроорганизмов в LB-бульоне и физиологическом растворе. В качестве модельного источника облучения была использована компактная люминесцентная лампа. Облучение производилось на расстоянии 5 см (табл. 3).

Было выявлено, что в физиологическом растворе реактивность штаммов выше в среднем в 2 раза.

Измерения проводились при освещённости 2000 люкс, так как данный уровень освещённости необходим при проведении работ, требующих сильного зрительного напряжения. Проведённые исследования выявили возрастание биолюминесценции при использовании некоторых видов ламп, что говорит о ДНК повреждающем воздействии (табл. 4).

Таблица 1. Характеристики использованных ламп

Тип	Марка	Мощность, Вт	Освещённость, люкс	Диапазон УФ, мВт/м ²		
				УФ-А	УФ-В	УФ-С
ЛН	Образец 1	60	2000	25	10	30
	Образец 2	60		110	50	125
	Образец 3	60		122	58	140
	Образец 4	60		95	45	130
КЛЛ	Образец 5	11		160	5	10
	Образец 6	9		200	5	15
	Образец 7	15		125	5	10
LED	Образец 8	7		6	7	20
	Образец 9	7		3	3	12
	Образец 10	7,5		3	2	8

Таблица 2. Определение оптимальных условий для работы штаммов *E.coli* MG1655 recA::lux colD::lux

Время световой экспозиции, мин	Время прединкубации в LB-бульоне, мин									
	0		30		60		90		120	
	Штамм									
	recA	colD	recA	colD	recA	colD	recA	colD	recA	colD
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2,5	2,4	1,76	2,01	1,91	3,31	0,82	3,06	1,95	2,28	1,09
5	2,67	2,04	2,56	2,17	4,39	0,94	4,57	2,65	2,26	1,04
10	3,1	2,65	3,78	2,39	6,26	1,01	6,4	3,82	3,36	1,01
15	2,84	1,72	3,93	2,05	6,2	0,9	6,51	3,84	2,56	0,94

При изучении отклика штамма *E.coli* MG1655 *recA::lux* на воздействие различных источников освещения, наибольший индекс свечения выявился при облучении ЛН образцом 1 и образцом 2 (возрастание отклика более чем в

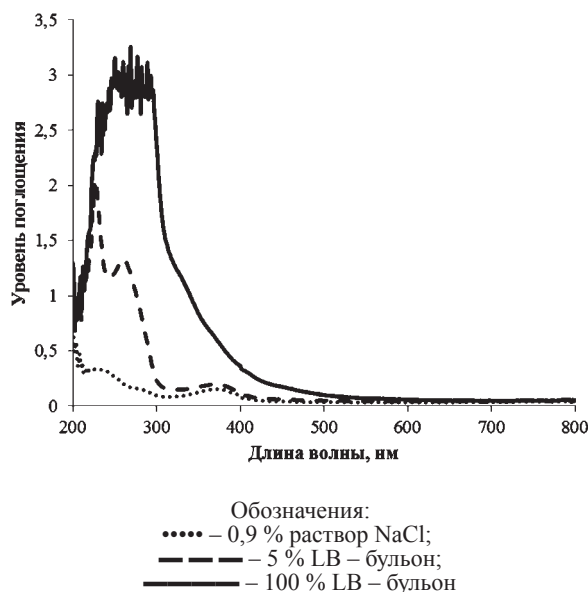


Рисунок 1. Спектры поглощения 0,9% раствора NaCl и LB-бульона

2 раза по сравнению с контрольной группой), и КЛЛ образцом 7 (индукция свечения возросла в 2,2 раза). Повреждающее действие выявилось и при облучении светодиодными лампами образца 9 и образца 10. Наименьший отклик дала ЛН образца 2. Под воздействием светодиодной лампы образца 8 индукция возросла в 1,5–2 раза.

Также наблюдается зависимость повреждения ДНК от времени экспозиции – чем дольше клетки находятся под излучением, тем выше индукция свечения.

Схожие результаты наблюдались с биосенсором *E.coli* MG1655 *colD::lux* (табл. 5). Этот штамм оказался ещё более чувствительным к облучению компактной люминесцентной лампой образца 5. Повреждающее воздействие было отмечено и под воздействием ЛН образца 1 и образца 4 (также как и в случае штамма *recA* возрастание отклика более чем в 2 раза по сравнению с контрольной группой). Небольшой отклик под воздействием ЛН образца 2 и КЛЛ образца 7 (индукция свечения возросла в 1,4 раза). Наименьший отклик дала светодиодная лампа образца 8, и практически никакого – ЛН образца 3. В целом, штамм *colD* оказался менее

Таблица 3. Определение оптимальных условий для работы штаммов *E.coli* MG1655 *recA::lux*; *colD::lux*

Условия, в которых проводилось облучение	Время экспозиции, мин									
	0		15		30		45		60	
	Штамм									
	<i>recA</i>	<i>colD</i>	<i>recA</i>	<i>colD</i>	<i>recA</i>	<i>colD</i>	<i>recA</i>	<i>colD</i>	<i>recA</i>	<i>colD</i>
Бульон	1	1	2,27	1,55	2,54	1,73	2,52	2,01	2,93	2,23
Физиологический раствор	1	1	1,85	1,48	4,92	2,01	3,09	2,04	3,28	3,49

Таблица 4. Отклик штамма *E.coli* MG1655 *recA::lux* при воздействии различных источников освещения при освещённости 2000 люкс

Тип использованной лампы	Марка использованной лампы	Время экспозиции, мин			
		0	30	60	90
ЛН	Образец 1	1	2,58±0,19*	2,86±0,14*	3,41±0,36*
	Образец 2	1	0,09±0,007	0,89±0,468	1,94±0,12
	Образец 3	1	1,68±0,03	1,93±0,22	2,01±0,12*
	Образец 4	1	2,61±0,18*	2,76±0,14*	3,32±0,31*
КЛЛ	Образец 5	1	1,65±0,01	1,96±0,05	1,44±0,05
	Образец 6	1	2,47±0,12*	1,7±0,1	1,86±0,07
	Образец 7	1	2,23±0,31*	2,31±0,2*	2,22±0,16*
LED	Образец 8	1	1,64±0,15	1,76±0,21	2,49±0,22*
	Образец 9	1	1,99±0,15*	2,81±0,15*	2,45±0,26*
	Образец 10	1	2,59±0,05*	2,39±0,19*	2,58±0,03*

Примечание: * – возрастание свечения в опытной пробе в 2 раза по сравнению с контрольной позволяет оценивать образец как ДНК-повреждающий

чувствительным к воздействию облучения, чем гесА. Кроме того, в отклике штамма colD уже не наблюдается такой зависимости от времени экспозиции облучения.

Штамм E.coli MG1655 *ibrA*::lux также подвергался облучению наряду с штаммами E.coli *гесА*::lux и E.coli *colD*::lux для контроля отсутствия теплового воздействия (табл. 6).

Штамм E.coli MG1655 *гесА*::lux – репортёрный штамм, регистрирующий активацию белков теплового шока, следовательно, отсутствие больших значений говорит об отсутствии теплового воздействия на клетки. Отклик штамма на источники освещения не превышает 1,5 раза по сравнению с контролем.

Кроме того, при работе штамма *ibrA*, так же, как и в работе *гесА*, в основном наблюдается зависимость индукции свечения от времени экспозиции.

Итогом проделанной работы стало выявление зависимости уровня ДНК-повреждений бактериальной клетки от типа источника излучения, дозы и интенсивности освещения (табл. 7).

Была выявлена прямая корреляция повреждений ДНК штамма *гесА* от интенсивности УФ-облучения в диапазонах В и С (с уровнем значимости 0,01), корреляция ДНК-повреждений штамма *colD* от УФ-облучения в диапазоне А (уровень значимости 0,05) и обратная корреляция повреждений белков теплового шока штамма *ibrA* от облучения в УФ-С диапазоне (уровень значимости 0,05).

Таким образом, в ходе исследования было произведено сравнение физических характеристик источников освещения; для создания оптимальных условий работы штаммов была создана методика оценки освещённости и ДНК-повреждающего воздействия, с помощью кото-

Таблица 5. Отклик штамма E.coli MG1655 *colD*::lux при воздействии различных источников освещения при освещённости 2000 люкс

Тип использованной лампы	Марка использованной лампы	Время экспозиции, мин			
		0	30	60	90
ЛН	Образец 1	1	2,33 ±0,13*	2,58±0,33*	3,14±0,32*
	Образец 2	1	1,34±0,003	1,44±0,08	1,49±0,17
	Образец 3	1	0,75±0,02	0,74±0,02	0,07±0,01
	Образец 4	1	2,37±0,26*	2,58± 0,23*	3,14±0,25*
КЛЛ	Образец 5	1	32,41±5,32*	1,52±0,05	1,48±0,01
	Образец 6	1	2,07±0,18*	1,39±0,14	1,73±0,18
	Образец 7	1	1,35±0,03	1,21±0,25	1,3±0,07
LED	Образец 8	1	1,04±0,06	0,83±0,16	1,17±0,3
	Образец 9	1	1,98±0,1	1,9±0,07	1,86±0,07
	Образец 10	1	1,84 ±0,05	2,03±0,05	1,91±0,08

Примечание* – возрастание свечения в опытной пробе в 2 раза по сравнению с контрольной позволяет оценивать образец как ДНК-повреждающий

Таблица 6. Отклик штамма E.coli MG1655 *ibrA*::lux при воздействии различных источников освещения при освещённости 2000 люкс

Тип использованной лампы	Марка использованной лампы	Время экспозиции (мин)			
		0	30	60	90
ЛН	Образец 1	1	1,3±0,19	1,11±0,21	1,41±0,13
	Образец 2	1	1,19±0,01	1,54±0,06	1,37±0,07
	Образец 3	1	1,47 ±0,09	1,43±0,16	1,93±0,16
	Образец 4	1	1,07± 0,15	1,11± 0,21	1,41±0,13
КЛЛ	Образец 5	1	0,82±0,03	1,14±0,02	1,54±0,06
	Образец 6	1	1,17±0,03	1,55±0,16	0,85±0,21
	Образец 7	1	1,5±0,08	1,62±0,12	1,71±0,13
LED	Образец 8	1	1,2±0,06	1,45±0,13	1,8±0,09
	Образец 9	1	1,29 ±0,04	1,48±0,03	1,6±0,08
	Образец 10	1	1,35± 0,02	1,55± 0,03	1,64±0,05

рой было зарегистрировано ДНК-повреждающее действие ламп, при этом не выявлено зависимости ДНК-повреждений от типа источника освещения, однако выявлена корреляция повреждений от интенсивности УФ-облучения, а именно: прямая корреляция поврежденных ДНК штамма *E.coli* MG1655 *recA::lux* от интенсивности УФ-облучения в диапазонах В и С, корреляция ДНК-повреждений штамма *E.coli* MG1655 *colD::lux* от УФ-облучения в диапазоне А и обратная корреляция повреждений белков теплового шока

Таблица 7. Зависимость уровня ДНК-повреждений бактериальной клетки от диапазона УФ-излучения

Штамм	Спектр		
	УФ-А	УФ-В	УФ-С
<i>E.coli</i> K12 MG1655 <i>recA::lux</i>	r = -0,034 P = 0,698	r = 0,266** P = 0,002	r = 0,292** P = 0,001
<i>E.coli</i> K12 MG1655 <i>colD::lux</i>	r = 0,220* P = 0,012	r = -0,049 P = 0,584	r = -0,117 P = 0,188
<i>E.coli</i> K12 MG1655 <i>ibpA::lux</i>	r = -0,023 P = 0,795	r = -0,168 P = 0,054	r = -0,186* P = 0,033

Обозначения: r – коэффициент корреляции; P* – уровень значимости < 0,01; P** – уровень значимости < 0,05

штамма *E.coli* MG1655 *ibpA::lux* от облучения в УФ-С диапазоне.

10.05.2015

Список литературы:

- 1 Айзенберг, Ю. Б. Современные проблемы энергоэффективного освещения / Ю.Б. Айзенберг // Энергосбережение. – 2009. – № 1. – С. 42-47.
- 2 Грибков, О.И. Исследование источников света : Методические указания к лабораторной работе № 32 / О.И. Грибков, А.В. Волков, О.А. Устинов. – Москва: МИИТ, 2006. – 48 с.
- 3 Российская Федерация. Законы. Об энергосбережении, о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон РФ № 261-ФЗ : [принят Гос. Думой 11 ноября 2009 г. : одобрен Советом Федерации 18 ноября 2009 г.].
- 4 Абрамова, Л.В. Психологическая и гигиеническая оценка освещения высокоэффективными источниками света / Л.В. Абрамова // Светотехника. – 2001. – № 3. – С. 11–15.
- 5 Mironava, T. The effects of UV emission from compact fluorescent light exposure on human dermal fibroblasts and keratinocytes in vitro / T. Mironava, M. Hadjiargyrou, M. Simon, M.H. Rafailovich // Photochemistry and photobiology. – 2012. – V. 88. – № 6. – P. 1497–1506.
- 6 Light sensitivity [Электронный ресурс]. / Scientific committee on emerging and newly identified health risks. – 2008. – Режим доступа : http://ec.europa.eu/health/ph_risk/risk_en.htm. – 23.09.2008.
- 7 Health effects of artificial light [Электронный ресурс]. / Scientific committee on emerging and newly identified health risks. – 2012. – Режим доступа : http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/policy/index_en.htm. – 19.03.2012.
- 8 Van der Lelie, D. The use of biosensors for environmental monitoring / D. Van der Lelie, P. Corbisier, E. Thiry, L. Diels // Res. Microbiol. 1994. – V. 145. – № 1. – P. 67–74.
- 9 Robbens, J. Escherichia coli as a bioreporter in ecotoxicology / J. Robbens, F. Dardenne, L. Devriese, W. De Coen, R. Blust // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 2010. – V. 88. – № 5. – P. 1007–1025.
- 10 Ушаков, В. Ю. SOS-система репарации ДНК у бактерий / В.Ю. Ушаков // Вестник Пермского Университета. – 2010. – № 2. – С. 19–25
- 11 Kisker, C. Prokaryotic nucleotide excision repair / C. Kisker, J. Kuper, B. Van Houten // Cold spring harbor perspectives in biology. – 2013. – V. 5. – № 3. – P. 1259–1263.
- 12 Lu, D. Structural basis of Escherichia coli single-stranded DNA-binding protein stimulation of exonuclease I / D. Lu, J.L. Kec // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2008. – V. 105. – № 27. – P. 9169–9174.
- 13 Norman, A. Construction of a ColD cda promoter-based SOS-green fluorescent protein whole-cell biosensor with higher sensitivity toward genotoxic compounds than constructs based on *recA*, *umuDC*, or *sulA* promoters / A. Norman, L.H. Hansen, S.J. Sorensen // Applied and environmental microbiology. – 2005. – V. 71. – № 5. – P. 2338–2346.
- 14 Kotova, V. Yu., Lux-biosensors for detection of SOS-response, heat shock, and oxidative stress / V. Yu. Kotova, I.V. Manukhov, G. B. Zavi'l'gel'skii // Applied biochemistry and microbiology. – 2010. – T. 46. – №. 8. – С. 781–788.
- 15 Manukhov, I.V. Induction of oxidative stress and SOS response in Escherichia coli by plant extracts: the role of hydroperoxides and the synergistic effect of simultaneous treatment with cisplatinium / I.V. Manukhov, V. Yu. Kotova, D. G. Mal'dov, A. V. Il'ichev, A. P. Bel'kov, G. B. Zavi'l'gel'skii // Microbiology. – 2007. – V. 77. – № 5. – P. 590–597.

Сведения об авторах:

Самкова Эльвина Борисовна, студентка группы 10МБ химико-биологического факультета
Оренбургского государственного университета
e-mail: riddleelvina@yandex.ru

Каримов Ильшат Файзелгаянович, доцент кафедры микробиологии химико-биологического факультета
Оренбургского государственного университета, кандидат биологических наук
e-mail: ifkarimov@yandex.ru

460018, Оренбург, пр-т Победы, д. 13, корп. 16, ауд. 306