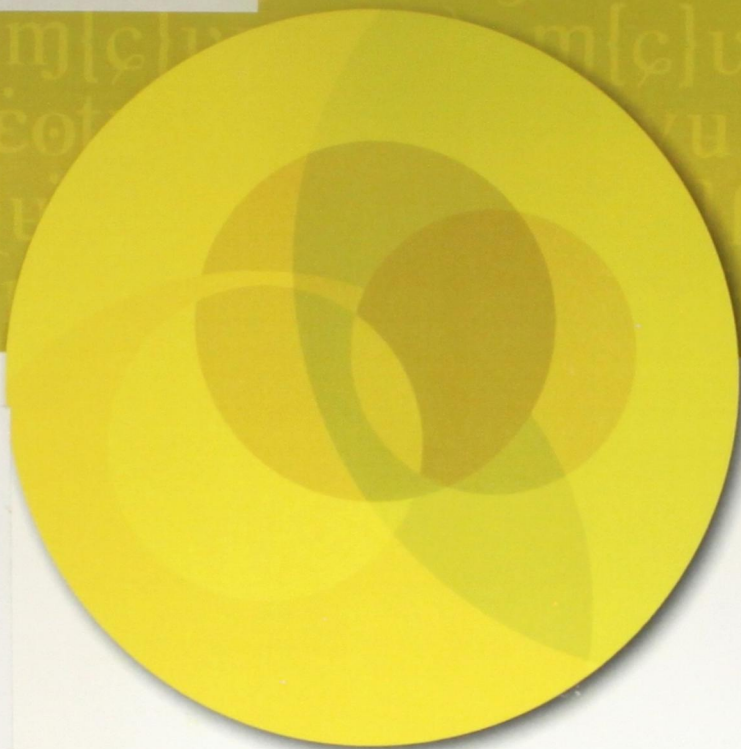




СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBIRIAN FEDERAL UNIVERSITY

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

21-6385



21-06385

ГМО: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ  
И ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Сибирский федеральный университет

# **ГМО: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ И ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ**

Монография

Красноярск  
СФУ  
2021

УДК 168.521

ББК 20.1

Г559

К о л л е к т и в а в т о р о в: А. В. Брильков, Ю. Ю. Логинов,  
Е. В. Брилькова, В. В. Ганусов, А. Н. Шуваев

Р е ц е н з е н т ы:

В. В. Заворуев, доктор биологических наук, профессор, ведущий  
научный сотрудник Института вычислительного моделирования СО РАН;

Н. А. Сетков, доктор биологических наук, профессор, главный на-  
учный сотрудник ФИЦ КНЦ СО РАН

Г559      **ГМО: экспериментальная эволюция и проблемы безопас-  
ности** : монография / А. В. Брильков, Ю. Ю. Логинов, Е. В. Брилько-  
ва [и др.] ; под ред. А. В. Брилькова. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т,  
2021. – 224 с.

ISBN 978-5-7638-4274-6

Посвящена исследованию выживания и распространения генетически мо-  
дифицированных организмов (ГМО) в природных экосистемах с помощью со-  
временных возможностей экологического и системного моделирования на при-  
мере трансгенных микроорганизмов. Рассмотрены актуальные вопросы физио-  
логии, изменчивости и распространения трансгенных микроорганизмов, содер-  
жащих в своем составе клонированные гены, в модельных и природных экоси-  
стемах. Приведены результаты экспериментального и теоретического исследо-  
вания последствий интродукции ГМО в природные экосистемы.

Предназначена для специалистов естественно-научного профиля, студен-  
тов старших курсов биологических и физических направлений, а также для ши-  
рокого круга читателей.

Электронный вариант издания см.:  
<http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 168.521  
ББК 20.1

ISBN 978-5-7638-4274-6

© Сибирский федеральный  
университет, 2021

---

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....                                                                                                                                                    | 6  |
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                                                                                     | 7  |
| Глава 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ГМО<br>И ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ .....                                                                                                          | 9  |
| Глава 2. ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИКРОЭВОЛЮЦИИ<br>ПОПУЛЯЦИЙ ТРАНСГЕННЫХ<br>МИКРООРГАНИЗМОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ<br>НЕПРЕРЫВНОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ.....                                              | 20 |
| 2.1. Непрерывное культивирование микроорганизмов .....                                                                                                                            | 21 |
| 2.2. Закономерности микроэволюции популяций<br>микроорганизмов при длительном культивировании<br>в хемостате .....                                                                | 23 |
| 2.3. Микроэволюция трансгенных микроорганизмов<br>при длительном культивировании в турбидостате .....                                                                             | 29 |
| 2.4. Экспериментальная оценка энергетических затрат<br>на поддержание трансгенных бактерий .....                                                                                  | 41 |
| 2.5. Закономерности микроэволюции трансгенных<br>бактерий <i>Escherichia coli</i> MG1655 (Ap <sup>R</sup> , GFP <sup>+</sup> )<br>при непрерывном культивировании в pH-стате..... | 48 |
| 2.6. Закономерности микроэволюции популяции морских<br>светящихся бактерий <i>Photobacterium leiognathi</i><br>при длительном непрерывном культивировании<br>в pH-стате.....      | 50 |
| 2.7. Микроэволюция морских светящихся бактерий<br><i>Vibrio harveyi</i> в процессе автоселекции<br>мутантов, резистентных к ингибиторам .....                                     | 55 |
| Глава 3. ПОПУЛЯЦИОННАЯ «СТОИМОСТЬ»<br>ПОДДЕРЖАНИЯ КЛОНИРОВАННЫХ ГЕНОВ<br>ТРАНСГЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ .....                                                                        | 66 |
| 3.1. Математическая модель и оценка параметров<br>нестабильности трансгенных бактерий.....                                                                                        | 66 |

|                                                                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2. Оценка популяционной «стоимости»<br>поддержания трансгенных микроорганизмов<br>(феноменологическая модель).....                                                                                                 | 72  |
| 3.3. Оценка параметров нестабильности<br>плазмидсодержащих трансгенных бактерий<br>с учетом эффективности экспрессии<br>клонированных генов .....                                                                    | 80  |
| 3.4. Эксперименты по интродукции трансгенных<br>бактерий в модельные микроэкосистемы .....                                                                                                                           | 84  |
| 3.5. Динамика трансгенных бактерий <i>E.coli</i> Z905,<br>содержащих клонированные гены<br>люминисцентной системы,<br>в водных микроэкосистемах при наличии<br>и отсутствии «цветения» зеленых микроводорослей ..... | 90  |
| <br><b>Глава 4. СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ<br/>КОПИЙНОСТИ ПЛАЗМИД<br/>ТРАНСГЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ.....</b>                                                                                                                |     |
| 4.1. Вероятностное моделирование динамики копияности<br>плазмид в клетках трансгенных микроорганизмов.....                                                                                                           | 101 |
| 4.2. Приближенная стохастическая модель<br>сегрегационной потери плазмид трансгенных<br>микроорганизмов при периодическом<br>и хеостатном культивировании .....                                                      | 104 |
| 4.3. Экспериментальная оценка влияния эффективности<br>экспрессии клонированных генов на вероятность<br>сегрегационной потери плазмид и селективное<br>преимущество трансгенных микроорганизмов.....                 | 119 |
| 4.4. Динамика распределения клеток трансгенных<br>микроорганизмов по количеству плазмид<br>в селективных и неселективных условиях .....                                                                              | 135 |
| 4.4. Динамика распределения клеток трансгенных<br>микроорганизмов по количеству плазмид<br>в селективных и неселективных условиях .....                                                                              | 144 |
| <br><b>Глава 5. ДИНАМИКА СТАЦИОНАРНЫХ<br/>РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ТРАНСГЕННЫХ БАКТЕРИЙ<br/>В ПОПУЛЯЦИИ ПО КОЛИЧЕСТВУ<br/>КОПИЙ ПЛАЗМИД В КЛЕТКАХ<br/>ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ<br/>ЭКСПРЕССИИ КЛОНИРОВАННЫХ ГЕНОВ.....</b>   |     |
| 5.1. Динамика копияности малокопийных плазмид<br>в клетках трансгенных бактерий.....                                                                                                                                 | 155 |
| 5.1. Динамика копияности малокопийных плазмид<br>в клетках трансгенных бактерий.....                                                                                                                                 | 156 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2. Стационарные распределения клеток в популяции трансгенных бактерий по числу копий плазмид, оценка параметров модели и их влияния на поддержание плазмид.....                                                                                                             | 166 |
| 5.3. Влияние эффективности экспрессии клонированных генов биолюминесценции в <i>Escherichia coli</i> Z905 (pPHL7), (Ap <sup>R</sup> , Lux <sup>+</sup> ) и <i>Escherichia coli</i> MG1655 (pGLO), (Ap <sup>R</sup> , GFP <sup>+</sup> ) на их популяционную «стоимость» ..... | 173 |
| 5.4. Динамика копийности плазмид трансгенных микроорганизмов в различных условиях .....                                                                                                                                                                                       | 178 |
| 5.5. Влияние копийности плазмид и образования плазмидных мультимеров на сегрегационную нестабильность трансгенных бактерий .....                                                                                                                                              | 182 |

|                                                                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Глава 6. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЫЖИВАНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТРАНСГЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ В МОДЕЛЬНЫХ И ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ.....              | 196 |
| 6.1. Математическая модель выживания и распространения трансгенных микроорганизмов в модельных и природных экосистемах .....           | 198 |
| 6.2. Методы селекции активных штаммов микроорганизмов, оценки их выживаемости и конкурентоспособности в процессах биоаугментации ..... | 204 |
| 6.3. Оценка выживаемости и конкурентоспособности трансгенных микроорганизмов (ГМО) при субстратном ингибировании их роста.....         | 205 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                                                                       | 220 |