

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

**РОЛЬ МИКРООРГАНИЗМОВ
В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ
ЖИВЫХ СИСТЕМ:
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
И БИОИНЖЕНЕРНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ**



ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ

Вып. 28 | 2010

ИНТЕГРАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ СО РАН

Вып. 28

SB RAS INTEGRATED PROJECTS

Issue 28

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
SIBERIAN BRANCH
INSTITUTE OF CYTOLOGY AND GENETICS
INSTITUTE OF GENERAL AND EXPERIMENTAL BIOLOGY
INSTITUTE OF SYSTEMATICS AND ECOLOGY OF ANIMALS
LIMNOLOGICAL INSTITUTE
INSTITUTE OF COMPUTATIONAL MODELLING
SOBOLEV INSTITUTE OF GEOLOGY AND MINERALOGY
INSTITUTE OF CHEMICAL BIOLOGY AND FUNDAMENTAL MEDICINE
INSTITUTE OF BIOPHYSICS
BORESKOV INSTITUTE OF CATALYSIS
INSTITUTE OF MINERALOGY AND PETROGRAPHY
THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE RF
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

**THE ROLE OF MICROORGANISMS
IN THE FUNCTIONING OF LIVING SYSTEMS:
FUNDAMENTAL PROBLEMS
AND BIOENGINEERING APPLICATIONS**

Under edition

Academician V. V. Vlasov, Corresponding Member of RAS A. G. Degermendzhi,
Academician N. A. Kolchanov, Academician V. N. Parmon,
Cand. Biol. Sci. V. E. Repin



NOVOSIBIRSK
PUBLISHING HOUSE OF THE SIBERIAN BRANCH
OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
2010

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ЦИТОЛОГИИ И ГЕНЕТИКИ
ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БИОЛОГИИ
ИНСТИТУТ СИСТЕМАТИКИ И ЭКОЛОГИИ ЖИВОТНЫХ
ЛИМНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ,
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ им. В. С. СОБОЛЕВА
ИНСТИТУТ ХИМИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ И ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МЕДИЦИНЫ
ИНСТИТУТ БИОФИЗИКИ
ИНСТИТУТ КАТАЛИЗА ИМ. Г. К. БОРЕСКОВА
ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ И ПЕТРОГРАФИИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

РОЛЬ МИКРООРГАНИЗМОВ В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И БИОИНЖЕНЕРНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ

Под редакцией
академика В. В. Власова, члена-корреспондента РАН А. Г. Дегерменджи,
академика Н. А. Колчанова, академика В. Н. Пармона,
канд. биол. наук В. Е. Репина



НОВОСИБИРСК
ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
2010

УДК 579
ББК 28.4
Р68

Редакционная коллегия серии:

академик В. М. Фомин (главный редактор), академик Ю. И. Шокин, член-корреспондент РАН В. А. Ламин, член-корреспондент РАН В. Н. Опарин, доктор биологических наук В. В. Глупов, доктор экономических наук В. Ю. Малов, доктор химических наук В. П. Федин, кандидат физико-математических наук Н. Г. Никулин (ответственный секретарь)

Серия основана в 2003 г.

Роль микроорганизмов в функционировании живых систем: фундаментальные проблемы и биоинженерные приложения / [И. С. Андреева и др.] ; под ред. В. В. Власова, А. Г. Дегерменджи, Н. А. Колчанова, В. Н. Пармона, В. Е. Репина ; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т цитологии и генетики [и др.] . — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. — 476 с. — (Интеграционные проекты СО РАН; вып. 28).

В монографии рассмотрены общие проблемы экологической микробиологии, приведены результаты изучения наиболее эффективных бактериальных штаммов с целью получения химических веществ. Рассмотрены проблемы молекулярной эпидемиологии ряда социально значимых заболеваний и функционирование паразитарных систем природно-очаговых трансмиссивных инфекций человека. Рассмотрены подходы к оптимизации метаболических процессов в бактериальной клетке на основе биоинформационных технологий и методов математического моделирования.

Данное издание рассчитано на студентов и преподавателей биологических, химических и медицинских специальностей.

Утверждено к печати

Ученым советом Института цитологии и генетики СО РАН

Рецензенты:

докт. биол. наук *К. С. Байков*,
докт. мед. наук *А. И. Шевела*

Авторы:

И. С. Андреева, А. В. Брянская, С. М. Жмодик, В. А. Лихошвай, Б. Б. Намсараев, Д. Ю. Rogozin, О. П. Таран, С. Е. Ткачев, Е. А. Ананько, К. Асао, Д. А. Афонников, Т. Г. Банзаракцаева, Д. Д. Бархутова, Ж. Батаа, В. В. Бахвалова, С. И. Беликов, В. М. Белолипецкий, П. В. Белолипецкий, Т. К. Белянин, А. А. Богуш, Е. В. Болдырева, Е. Н. Болдарева, А. В. Брушков, Л. И. Бурцева, С. П. Бурюхаев, В. В. Власов, С. Н. Генова, Н. А. Гольцова, В. М. Горленко, К. В. Гунбин, Э. В. Данилова, А. Г. Дегерменджи, М. А. Дымова, Е. К. Емельянова, В. И. Жираковский, А. В. Задорожный, С. С. Ибрагимова, Л. И. Иванов, Г. В. Калмыкова, Т. П. Камынина, А. В. Качко, И. В. Козлова, Л. П. Козырева, Ю. П. Колмогоров, Н. А. Колчанов, В. Н. Компаниченко, Е. В. Лаврентьева, Е. В. Лазарева, С. А. Лашин, С. Г. Ливанов, Н. Н. Ливанова, Ю. Г. Матушкин, И. В. Морозов, О. В. Морозова, З. Б. Намсараев, С. Ф. Орешкова, Д. Ю. Ощепков, В. В. Панов, В. Н. Пармон, С. Е. Пельтек, Н. И. Печуркина, О. А. Подколдная, В. А. Пономарчук, И. Г. Прокопкин, В. Г. Пугачев, Н. М. Пуховская, Л. И. Пучкова, В. А. Рар, А. В. Ратушный, В. Е. Репин, А. С. Розанов, Е. И. Рябчикова, Ю. В. Сабитова, И. В. Саранина, Д. В. Семенова, В. А. Симонов, О. Г. Смирнова, К. Н. Сорокина, Т. Ю. Степанова, О. В. Стронин, В. В. Суслов, М. Такака, О. С. Таранов, Н. В. Тикунова, И. И. Турнаев, Т. Торок, О. Д. Тотменина, М. Ю. Трусова, М. Утсуми, М. Л. Филипенко, Н. В. Фоменко, М. Фукуда, М. А. Хаснатинов, Т. М. Хлебодарова, Д. Д. Цыренова

Работа выполнена в рамках интеграционных проектов СО РАН № 24

«Роль микроорганизмов в функционировании живых систем: фундаментальные проблемы и биоинженерные приложения» и « 114 «Организация живых систем и геохимическая эволюция гидротерм в зонах современной вулканической деятельности»

ISBN 978-5-7692-1147-8
(вып. 28)
ISBN 978-5-7692-0669-6

- © Институт цитологии и генетики СО РАН, 2010
- © Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, 2010
- © Институт систематики и экологии животных СО РАН, 2010
- © Лимнологический институт СО РАН, 2010
- © Институт вычислительного моделирования СО РАН, 2010
- © Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, 2010
- © Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, 2010
- © Институт биофизики СО РАН, 2010
- © Институт катализа им. Г. К. Борескова СО РАН, 2010
- © Сибирский федеральный университет, 2010
- © Оформление. Издательство СО РАН, 2010

Глава 1

ГИДРОТЕРМЫ ДОЛИНЫ ГЕЙЗЕРОВ И БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

1.1. НОВЫЕ ГРАМОТРИЦАТЕЛЬНЫЕ, ОБРАЗУЮЩИЕ ЭНДОСПОРЫ БАКТЕРИИ, ВЫДЕЛЕННЫЕ ИЗ ТЕРМАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ И ИСТОЧНИКОВ ДОЛИНЫ ГЕЙЗЕРОВ (КАМЧАТКА)

Среди многочисленных описаний спорообразующих бактерий в литературе можно найти лишь несколько упоминаний о бактериях, окрашивающихся грамтрицательно на всех или некоторых стадиях культивирования. Наличие эндоспор автоматически подразумевало грамположительную клеточную стенку и принадлежность, если это были аэробные палочки, к роду *Bacillus*. После 1990 г. на основании филогенетического анализа нуклеотидных последовательностей фрагментов генома род *Bacillus* был разделен на 12 родов, включая род *Paenibacillus* [Ash et al., 1993]. Изначально к роду *Paenibacillus* были отнесены аэробные или факультативно анаэробные микроорганизмы, с содержанием Г + Ц в ДНК от 40 до 54 мол.%, образующие эндоспоры, имеющие обычно грамположительную окраску и типичную грамположительную структуру клеточной стенки [Ash et al., 1993]. Можно предположить, что наличие такого разброса по содержанию Г + Ц подразумевает дальнейшее подразбиение рода. В последние годы показано, что некоторые представители рода *Paenibacillus* имеют грамвариабельную или грамтрицательную окраску [Seija et al., 2001; Dal-Soo Kim et al., 2004; Jesús Montes et al., 2004; Ken-ichiro Iida et al., 2005; Takeda et al., 2005; Saha et al., 2005].

При микробиологическом исследовании почвы, воды и ила источников Долины Гейзеров (Камчатка) были выделены образующие эндоспоры бактерии, окрашивающиеся грамтрицательно на всех стадиях культивирования. Цель настоящей работы состояла в изучении биоразнообразия Долины Гейзеров, в фенотипическом и молекулярно-генетическом анализе необычных спорообразующих грамтрицательных бактерий Долины Гейзеров и определении их таксономической принадлежности.

Выделение чистых культур и изучение их фенотипических свойств. Образцы почвы, воды и ила источников были собраны в августе 2004 г. на удаленных друг от друга участках Долины Гейзеров (Камчатка), различающихся значением рН, температурой, разнообразием флоры и другими характеристиками. Грамтрицательные, спорообразующие бактерии выделены при высеве образцов на рыбный питательный агар (РПА, рН 5,0, 7,0, 9,0) при температуре инкубирования 28—30 °С.

Изучение физиологических и биохимических свойств микробных изолятов проводили стандартными методами [Bergey's Manual..., 1986; Методы..., 2004]. Морфологические признаки штаммов изучали с помощью световой микроскопии (Axioskop 40, Carl Zeiss, Германия), а также на ультратонких срезах в электронном микроскопе (Hitachi H-600, Япония).

Способность штаммов к росту при различных температурных условиях и значениях pH питательной среды. Исследуемые бактерии инкубировали в среде LB при значениях pH от 3,0 до 12,0 и температурах 6, 15, 20, 37, 42, 45, 50, 55 и 60 °C. Интенсивность роста штаммов определяли по оптической плотности (ОП) культуральной жидкости (КЖ) при 550 нм с использованием спектрофотометра СФ-46 (Россия). Каждый опыт выполнен в трех повторах, для анализа использованы средние величины данных.

Определение содержания ГЦ-состава ДНК, нуклеотидных последовательностей продуктов ПЦР, соответствующих фрагментам гена 16S рРНК, выполнено, как описано ранее [Андреева и др., 2005].

Филогенетический анализ. Филогенетический анализ проводили с использованием программы MEGA версии 4 [Tamura et al., 2007] для нуклеотидных последовательностей гена 16S рРНК, определенных в данной работе (номера доступа в базе данных GenBank EU497635-EU497641), и из базы данных GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) для следующих видов бактерий: *Paenibacillus amylolyticus* (GenBank X60606), *P. chibensis* (D85395), *P. azoreducens* (AJ272249), *P. lautus* (D78473), *P. glucanolyticus* (AB073189), *P. borealis* (AJ011325), *P. azotofixans* (AJ251192), *P. durus* (X77846), *P. antarcticus* (AJ60529), *P. macquariensis* (X60625), *P. polymyxa* (X60632), *P. campinasensis* (AF021924), *P. illinoisensis* (D85397), *P. barcinonensis* (AJ716019), *P. pabuli* (X60630), *P. agarixedens* (AJ345020), *P. agaridevorans* (AJ345023), *P. curdlanolyticus* D78466), *P. kobensis* (D78471), *P. dendritiformis* (AY359885), *P. thiaminolyticus* (D78475), *P. apiarius* (PAU49247), *P. alvei* (PBB16SRRI), *P. validus* (PBB16SRRL), *P. alginolyticus* (AB073362), *P. chondroitinus* (D82064), *P. larvae* subsp. *pulvifaciens* (X60636), *P. larvae* subsp. *larvae* (AY530294), *Brevibacillus parabrevis* (AB215101), *Bacillus subtilis* (X60646).

Морфологические характеристики штаммов. Исследуемые спорообразующие бактерии имеют грамтрицательную окраску палочковидных клеток на всех стадиях культивирования и грамтрицательный тип строения клеточной стенки. Наружная мембрана клеток штаммов Dg-824, Dg-904, Gi-739 и Gi-724 волнистая, ограничивающая развитое периплазматическое пространство, у штаммов K-58, K-59, Gi-691, Gi-733, Dg-1009 и Gi-662 — гладкая, лежащая параллельно внутренней мембране, периплазматическое пространство имеет вид узкой щели (рис. 1.1).

Электронно-микроскопическое исследование выявило все этапы формирования эндоспор и их оболочек, характерные для спорообразующих бактерий. Споры штаммов Dg-824, Dg-904, Gi-733 и Gi-739 на поверхности имели дополнительные структуры в виде продольно расположенных ребер, количество которых и форма у каждого штамма были индивидуальны (см. рис. 1.1). Аналогичные структуры были описаны ранее у грамтрицательного микроорганизма *Paenibacillus borealis* [Seija et al., 2001] и у грамтрицательного по окраске, но грамположительного по

строению клеточной стенки бактериального штамма *Paenibacillus motobuensis* MC10^T [Kenichiro Iida et al., 2005]. Эллиптические эндоспores в клетке у исследуемых штаммов располагались терминально или субтерминально, вдоль оси клетки (штаммы Gi-662, Gi-691, Dg-904, Dg-1009, K-58 и K-59) или под углом к ней (штаммы Dg-824, Gi-733, Gi-739, Gi-724). Спорангий спорулирующих клеток всех штаммов увеличен, что хорошо наблюдается при фазово-контрастной микроскопии (см. рис. 1.1, *a—в*).

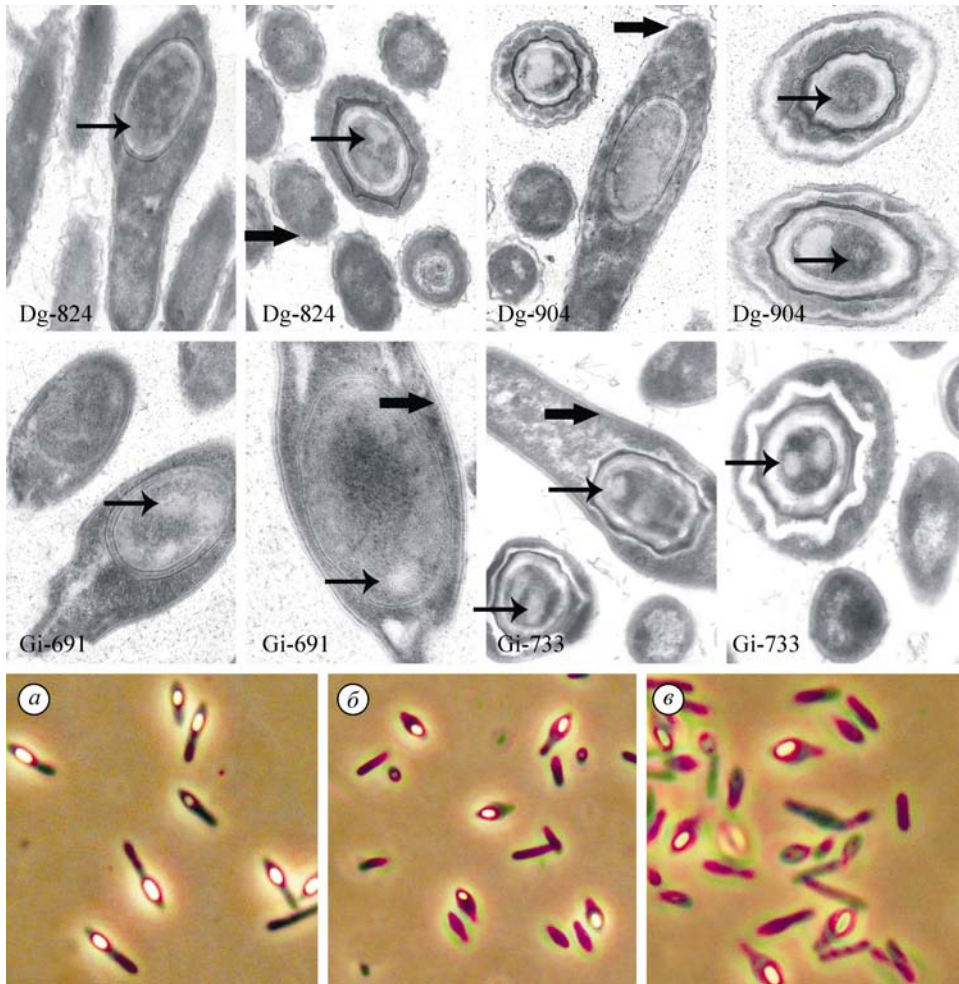


Рис. 1.1. Ультратонкие срезы клеток грамотрицательных бацилл рода *Paenibacillus* на разных стадиях споруляции.

Толстой стрелкой указана двойная клеточная мембрана (наружная и внутренняя); тонкой стрелкой — формирующиеся эндоспores. Фазово-контрастное изображение спорующих клеток. *a* — споры расположены вдоль оси клетки (штамм Gi-662); *б*, *в* — споры расположены вдоль оси клетки или под углом к ней (штаммы Gi-733, Gi-739 соответственно).

На плотной питательной среде штаммы Gi-733, Gi-739, Gi-724, Gi-662, Gi-691, K-58, K-59 образуют прозрачные или полупрозрачные, компактные мелкие колонии. Штаммы Dg-824, Dg-904, Dg-1009 формируют расплзающиеся плоские колонии неправильной формы, со сложной структурой поверхности (рис. 1.2).

Биохимические свойства. Все штаммы были положительны в тестах на оксидазу, каталазу, эскулин и в реакции с метиловым красным (MR), не имели лецитиназы и липолитической активности, не гидролизовали казеин, не росли при 5 °С, были отрицательны в тестах на фенилаланиндезаминазу, аргининдекарбоксилазу, утилизацию ацетата, цитрата и сорбита, не образовывали индол, росли в присутствии лизоцима (0,001 %); все, за исключением Dg-904 и Dg-824, обладали гемолитическими способностями. Отличительные свойства штаммов, позволяющие разделить их на отдельные группы, в сравнении с типовыми штаммами суммированы в табл. 1.1. Некоторое сходство по фенотипическим признакам проявляют между собой штаммы Gi-733, Gi-739 и Gi-724, штаммы Gi-691 и Gi-662, штаммы Dg-824 и Dg-1009, штаммы K-58 и K-59. Штамм Dg-904 значительно отличается ото всех исследуемых штаммов.

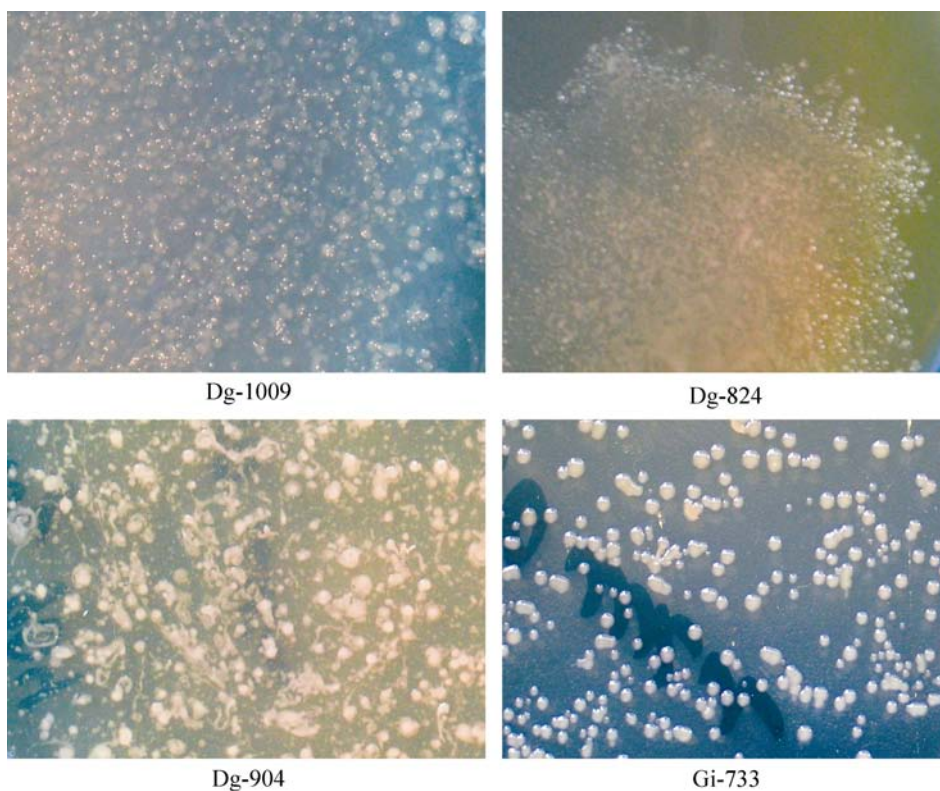


Рис. 1.2. Морфология колоний штаммов грамотрицательных, спорообразующих бактерий Долины Гейзеров.

Колонии штаммов Dg-1009, Dg-824, Dg-904 представлены фрагментом одной гигантской колонии с неоднородной поверхностью; штамм Gi-733 — множеством небольших, округлых изолированных колоний.

Таблица 1.1

Дифференциация видов *Paenibacillus amylolyticus* (X60606=NRRL NRS-290T), *P. chibensis* (D85395=NRRL B142T), *P. lautus* (D78473=NRRL NRS-666T) [Shida et al., 1997], *P. azoreducens* (AJ272249=DSM13822) [Logan et al., 2004], *P. alvei* (DSM 29T AJ320491=LMG13253T=IFO3343T) и грамотрицательных, спорообразующих штаммов Долины Гейзеров

Признак	<i>P. amylolyticus</i>	Gi-662	Gi-691	<i>P. chibensis</i>	Dg-1009	K-58	K-59	<i>P. lautus</i>	Dg-824	<i>P. azoreducens</i>	Gi-724	Gi-733	Gi-739	<i>P. alvei</i>	Dg-904
Грамреакция	+	-	-	+	-	-	-	+	-	v	-	-	-	+	-
Клеточная стенка (Гр +/-)	нд	-	-	нд	-	-	-	нд	-	нд	-	-	-	+	-
Анаэробный рост	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Пигмент колоний	-	-	-	+	+	+	+	v	-	+	-	-	-	-	+
Оксидаза	-	+	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	нд	+
Уреаза	-	+	+	-	-	-	-	нд	-	-	-	-	-	нд	-
Восстановление нитратов	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-
Образование индола ацетилметил-карбинола	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+
Гидролиз казеина	w	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
желатина	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	-
крахмала	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-
Рост при															
5 % NaCl	-	-	-	+	+	+	+	v	+	+	+	+	+	v	+
0,001 % лизоцима	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
40 °C	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
50 °C	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
pH 5,7	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Кислота из D-арабинозы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
лактозы	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
маннита	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
рамнозы	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
D-ксилозы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
галактозы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	нд	+
глицерина	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
инозита	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
D-мальтозы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
эскулина	-	+	+	+	+	+	+	+	+	нд	+	+	+	+	+
Оптимальная температура роста, °C	37	30	30—37	37	30—37	30	30	28—30	30—37	37	30—42	30—42	30—42	28	37
ГЦ-состав, мол. %	46—47	49,6	49,6	53	41,1	45,4	45,4	49—50	45,6	47—46,8	43,5	43,4	47,0	45—47	42,9

Примечание. «+» — положительная реакция; «-» — отрицательная реакция; v — варибельная реакция; w — слабая положительная реакция, нд — нет данных.

Филогенетический анализ. В настоящее время для определения рода и вида прокариот необходима информация о структуре гена 16S рРНК. Анализ нуклеотидных последовательностей гена 16S рРНК исследованных штаммов выявил гомологию более 93 % с представителями рода *Paenibacillus*, а также достаточные для достоверного филогенетического анализа различия между штаммами. Филогенетические деревья, построенные с использованием критериев максимальной экономии, минимальной эволюции и UPGMA, имели аналогичную топологию (данные не представлены).

Штаммы Gi-724, Gi-733 и Gi-739 по результатам филогенетического анализа близки к ранее описанному виду *P. azoreducens* (AJ272249) (рис. 1.3), однако, отличаются от него грамтрицательным окрашиванием, наличием оксидазной активности, способностью к восстановлению нитратов в нитриты и гидролизу рамнозы, неспособностью к утилизации D-арабинозы и к росту при 50 °С, отсутствием пигментации колоний, имеют иные температурные границы роста и значений рН среды культивирования (см. табл. 1.1, 1.2) [Meehan et al., 2001], что не позволяет отнести их к виду *P. azoreducens*.

Штаммы Gi-662 и Gi-691 по последовательностям 16S рРНК сходны друг с другом и близки к грамположительной бактерии *P. amylolyticus* (X60606) [Shida et al., 2001], но отличаются от него по другим признакам: имеют грамтрицательную окраску, положительны по оксидазе и уреазе, не восстанавливают нитраты, гидролизуют эскулин, но не казеин и желатин, способны к росту при 40 °С и 0,001 % лизоцима, образуют кислоту из рамнозы и лактозы (см. табл. 1.1, 1.2).

Штаммы Dg-824 и Dg-904 находятся на значительном филогенетическом расстоянии от ближайших видов *Paenibacillus* (*P. lautus* и *P. alvei* соответственно).

Таблица 1.2

Границы роста штаммов грамтрицательных, спорообразующих бактерий Долины Гейзеров при разных температурах, значениях рН и концентрации NaCl в питательной среде

Штамм	Диапазон роста						Рост штаммов			
	температура, °С			значения рН			концентрация NaCl, %			
	min	opt	max	min	opt	max	0,5	1,0	2,0	3,0
Dg-824	20	30—37	45	5,0	7,0—9,0	12,0	+	+	+	—
Dg-904	20	37	45	5,0	6,0—8,0	10,0	+	+	+	+
Dg-1009	20	30—37	55	5,0	5,0—7,0	10,0	+	+	+	+
Gi-662	20	30	45	5,0	6,0—7,0	9,0	+	+	+	—
Gi-691	20	30—37	42	5,0	6,0—7,0	8,0	+	+	+	+
Gi-724	20	30—42	45	5,0	6,0—7,0	8,0	+	+	+	+
Gi-733	20	30—42	45	5,0	6,0—7,0	8,0	+	+	+	+
Gi-739	20	30—42	45	5,0	6,0—7,0	8,0	+	+	+	+
K-58	20	30	42	6,0	7,0—8,0	11,0	+	—	—	—
K-59	20	30	42	6,0	7,0—8,0	11,0	+	—	—	—

Примечание. «+» — наличие роста; «—» — отсутствие роста; min — минимальное значение, opt — оптимальное, max — максимальное значение исследуемого фактора роста штаммов. Примечание: ни один штамм не рос при концентрации 5 % NaCl в среде культивирования.

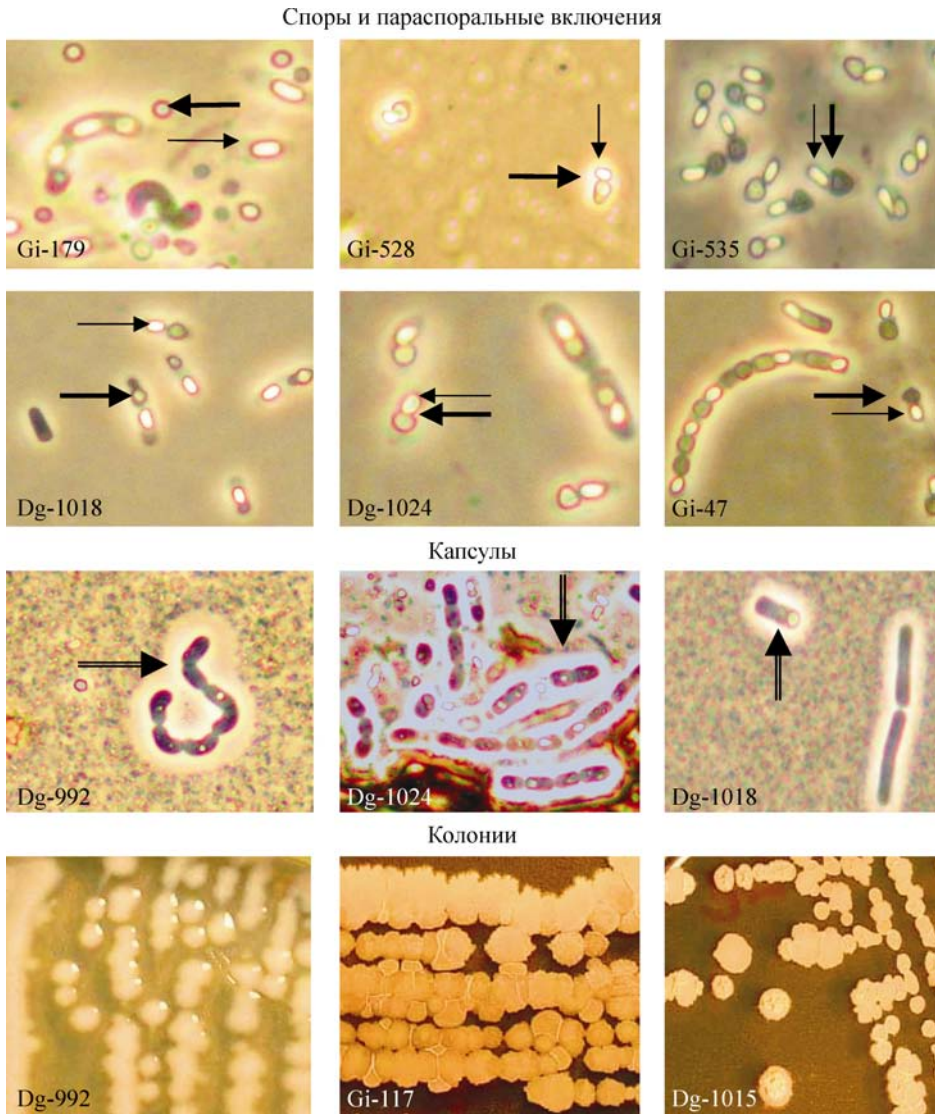


Рис. 1.3. Морфологические особенности штаммов *Bt* Долины Гейзеров.

Споры и параспоральные кристаллы штаммов (тонкой стрелкой обозначены споры, толстой — параспоральные включения); капсулы, окрашенные по Гинсу (обозначены двойной стрелкой); колонии — слизистые, блестящие (штамм Dg-992) и матовые, шероховатые (штаммы Gi-117 и Dg-1015).

Штамм Dg-824 отличается от *P. lautus* по ряду основополагающих свойств, таких как грамреакция, ГЦ-состав, гидролиз желатина, крахмала, сорбита, оксидазная активность, тест Фогеса—Проскауэра (образование ацетилметилкарбинола) и др., вследствие чего не может быть отнесен к этому виду (см. табл. 1.1, 1.2). Фенотипические характеристики штамма Dg-904 во многом не совпадают с признаками

типового штамма грамположительной бактерии *P. alvei* (IFO3343T) по таким показателям как состав ГЦ, окраска по Граму, реакция в тестах на гидролиз казеина, желатина, крахмала, образование индола, рост при pH 5,7 (см. табл. 1.1, 1.2). Полученные характеристики штаммов, в совокупности с данными филогенетического анализа, позволяют считать штаммы Dg-824 и Dg-904 новыми видами рода *Paenibacillus*, не описанными ранее.

Штаммы K-58 и K-59, а также Dg-1009 образуют изолированные клады филогенетического дерева, находящиеся от других на расстоянии, значительно превышающем среднее для ранее известных видов рода *Paenibacillus*. Штаммы этой группы имеют некоторое фенотипическое сходство (низкая биохимическая активность, способность к росту при щелочных значениях pH среды). В то же время, штаммы K-58 и K-59 имеют ряд отличительных особенностей. Так, несмотря на то, что они были выделены из грязевой ванны Долины Гейзеров с pH 3,5, оптимальное значение pH питательной среды для их роста составляет 7,0—8,0, максимальное — до pH 11,0. Среди всех изученных только штаммы K-58 и K-59 не растут при концентрации NaCl в среде более 0,5 % (см. табл. 1.2). Последнее, по-видимому, не случайно, так как анализ воды данной пробы показал, что она отличается от всех остальных образцов, взятых в долине р. Гейзерная, низкой концентрацией ионов натрия (7 мг/мл, в других пробах — от 68 до 575 мг/мл). В отличие от штамма Dg-1009 штаммы K-58 и K-59 отрицательны в тестах на восстановление нитратов и Фогеса—Проскауэра, не растут при 45 °C и pH 5,7, не образуют кислоты из арабинозы и мальтозы (K-59), образуют непигментированные, компактные, мелкие колонии, что, вместе с данными филогенетического анализа, позволяет определенно считать штамм Dg-1009 и штаммы K-58 и K-59 разными, ранее не известными видами рода *Paenibacillus*.

Анализ ГЦ-состава. Полученные данные по ГЦ-составу хромосомной ДНК (см. табл. 1.1) находятся в пределах значений, известных для бактерий рода *Paenibacillus* (от 41,1 до 49,6 мол.%).

Рост штаммов при разных температурах и значениях pH среды культивирования. Выяснено, что температурный диапазон роста штаммов Gi-724, Gi-733, Gi-739, Dg-824, Gi-904 и Gi-662 составляет 20—45 °C, для штаммов Gi-691, K-58 и K-59 — 20—42 °C, для штамма Dg-1009 — 55 °C. Оптимальной для штаммов Gi-724, Gi-733, Gi-739 является температура 30—42 °C, для штаммов Gi-691 и Dg-824, Dg-1009 — 30—37 °C, для штаммов Gi-662, K-58, K-59 — 30 °C, Gi-904 — 37 °C (см. табл. 1.2). Следует отметить также, что штаммы сохраняли жизнеспособность после прогревания споросодержащих суспензий при 80 °C в течение 10 мин.

Все штаммы не способны к росту при pH среды 3,0 и 4,0 в течение 72 ч. Диапазон значений pH питательной среды, при котором сохраняли способность роста штаммы Gi-691, Gi-724, Gi-733, Gi-739, был наиболее узким (5,0—8,0); для штамма Gi-662 он составлял 5,0—9,0; для штаммов Gi-904 и Dg-1009 — 5,0—10,0; для штаммов K-58 и K-59 — 6,0—11,0 и, наконец, для штамма Gi-824 — 5,0—12,0. Оптимальное значение pH для большинства штаммов было близко к нейтральному значению, исключение составили штамм Dg-824, активно растущий при pH среды от 7,0 и до 9,0, и штамм Dg-1009, сохраняющий высокую скорость роста в диапазоне pH среды от 5,0 до 7,0 (см. табл. 1.2).

Способность к росту в широком диапазоне рН и температур, наряду со способностью к образованию термоустойчивых и кислотоустойчивых эндоспор, свидетельствует о способности исследуемых бактерий сохранять жизнеспособность в меняющейся среде их природного обитания.

Таким образом, штаммы грамотрицательных, образующих эндоспоры бактерий Долины Гейзеров Камчатки (Dg-824, Dg-904, Dg-1009, Gi-662, Gi-691, Gi-733, Gi-739, Gi-724, K-58 и K-59) по своим фенотипическим характеристикам, ГЦ-составу и результатам анализа нуклеотидных последовательностей гена 16S рРНК могут быть отнесены к новым видам рода *Paenibacillus*.

Описание новых видов рода *Paenibacillus*. *P. fortunatus* sp. nov. (штаммы Gi-724, Gi-733, Gi-739). Наименование вида (*fortunatus* — удачный) присвоено по месту взятия проб (разные точки стока горячего источника Удачный на склоне у гейзера Сахарный). Клетки палочковидные, подвижные, грамотрицательные по окраске и строению клеточной стенки на всех стадиях культивирования, $(0,7–0,8) \times (2–3)$ мкм, деление бинарное. Эндоспоры эллиптические, терминальные или субтерминальные, расположены вдоль оси клетки или под углом к ней, спорангий раздут. Факультативный анаэроб. На агаризованной среде LB образует полупрозрачные, белесые, компактные колонии. Положителен по каталазе, оксидазе, фосфатазе, орнитин- и лизиндекарбоксилазе, в реакции с метиловым красным, восстанавливает нитраты в нитриты, выделяет сероводород и аммиак. Отрицателен в тестах на липолитическую активность, лецитиназу, уреазу, фенилаланиндезаминазу и аргининдекарбоксилазу, не образуют индол и ацетилметилкарбинол, не утилизирует цитрат, гидролизует желатин и крахмал, но не казеин. Образует кислоту из глюкозы, сахарозы, лактозы, мальтозы, маннита, ксилозы, рамнозы, но не арабинозы. Рост ингибируется в присутствии NaCl (5 %). Растет в диапазоне температур от 20 до 45 °С и рН от 5,0 до 8,0, оптимальными являются температура 30–42 °С, рН 6,0–7,0. ГЦ-состав 43,4–47,0 мол.%. Типовым штаммом является Gi-724 (ГЦ-состав 43,5 мол.%), коллекционный номер ФГУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора В-1104. Штамм Gi-739 отличается от типового неспособностью к гидролизу крахмала.

P. levis sp. nov. (штаммы Gi-662 и Gi-691, выделены из разных почвенных образцов Долины Гейзеров). В наименовании вида отражен характер роста (*levis* — нежный) на плотной среде. Кроме того, семантически прослеживается буквенное выражение имени основателя Государственного научного центра вирусологии и биотехнологии «Вектор», академика РАН Льва Степановича Сандахчиева. Клетки подвижные, палочковидные, грамотрицательные по окраске и строению клеточной стенки на всех стадиях культивирования, $(0,6–0,8) \times (2–3,5)$ мкм, деление бинарное. Эндоспоры эллиптические, терминальные или субтерминальные, спорангий раздут. Факультативный анаэроб. На агаризованной среде LB образует прозрачные, мелкие, блестящие колонии. Положителен по каталазе, оксидазе, фосфатазе, уреазе, орнитиндекарбоксилазе, в реакции с метиловым красным, не восстанавливает нитраты в нитриты, выделяет сероводород. Отрицателен в тестах на липолитическую активность, лецитиназу, фенилаланиндезаминазу и аргининдекарбоксилазу, не образует индол и ацетилметилкарбинол, не утилизирует цитрат, гидролизует крахмал, но не казеин и желатин. Образует кислоту из глюкозы, сахарозы, лактозы, мальтозы, маннита, ксилозы, рамнозы и арабинозы. Рост ингибиру-

ется в присутствии NaCl (5 %). Растет в диапазоне температур от 20 до 42—45 °С и pH от 5,0 до 8,0—9,0, оптимальными являются температура 30—37 °С, pH 6,0—7,0. ГЦ-состав 49,6 мол.%. Типовым штаммом является Gi-662, коллекционный номер ФГУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора В-1098.

P. alcalophilus sp. nov. (штамм Dg-824, выделен из прикорневой почвы злаков, прибрежный участок р. Гейзерная). Наименование вида дано в соответствии со способностью клеток к активному росту в щелочной среде. Клетки палочковидные, грамотрицательные по окраске и строению клеточной стенки на всех стадиях культивирования, подвижные, $(0,6—0,8) \times (2—3,5)$ мкм, деление бинарное. Эндоспоры эллиптические, терминальные или субтерминальное, расположены вдоль оси клетки или под углом к ней, спорангий раздут. Факультативный анаэроб. На агаризованной среде LB образует плоские, полупрозрачные, расплывающиеся колонии с зернистой поверхностью и неровным краем. Положителен по каталазе, оксидазе, фосфатазе, в реакции с метиловым красным, восстанавливает нитраты в нитриты, выделяет сероводород, образует ацетилметилкарбинол. Отрицателен в тестах на липолитическую активность, лецитиназу, уреазу, фенилаланиндезаминазу, лизин-, орнитин- и аргининдекарбоксилазу, не образует индол, не утилизирует цитрат, не гидролизует крахмал, казеин и желатин. Образует кислоту из глюкозы, сахарозы, лактозы, мальтозы, маннита, ксилозы, рамнозы и арабинозы. Рост ингибируется в присутствии NaCl (3 %). Растет в диапазоне температур от 20 до 45 °С и pH от 5,0 до 12,0, оптимальными являются температура 30—37 °С, pH 7,0—9,0. ГЦ-состав 45,6 мол.%. Типовым штаммом является Dg-824, коллекционный номер ФГУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора В-1093.

P. flocculosus sp. nov. (штамм Dg-904, выделен из почвы склона Малого витража). Наименование вида связано с характером роста (*flocculosus* — клочковатый) на агаризованной среде. Клетки палочковидные, грамотрицательные по окраске и строению клеточной стенки на всех стадиях культивирования, подвижные, $(0,6—0,7) \times (2—4)$ мкм, деление бинарное. Эндоспоры эллиптические, терминальные или субтерминальное, спорангий раздут. Факультативный анаэроб. На агаризованной среде LB образует желтоватые, полупрозрачные, гигантские, расплывающиеся колонии, с клочковатой, неоднородной поверхностью и неровным краем. Положителен по каталазе, оксидазе, фосфатазе, в реакции с метиловым красным, не восстанавливает нитраты в нитриты, образует ацетилметилкарбинол. Отрицателен в тестах на липолитическую активность, лецитиназу, уреазу, фенилаланиндезаминазу и аргининдекарбоксилазу, не образует индол, не утилизирует цитрат, не гидролизует крахмал, казеин и желатин. Образует кислоту из глюкозы, сахарозы и мальтозы, но не лактозы, маннита, ксилозы, рамнозы и арабинозы. Рост ингибируется в присутствии NaCl (5 %). Растет в диапазоне температур от 20 до 45 °С и pH от 5,0 до 10,0, оптимальными являются температура 37 °С, pH 6,0—8,0. ГЦ-состав 42,9 мол.%. Типовым штаммом является Dg-904, коллекционный номер ФГУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора В-1094.

P. inaequalis sp. nov. (штамм Dg-1009, выделен из прикорневой почвы *Calamagrostis purpurea*). Наименование вида связано с характером роста на агаризованной среде (*inaequalis* — неоднородный). Клетки палочковидные, грамотрицательные, по окраске и строению клеточной стенки на всех стадиях культивирования, подвижные, $(0,6—0,7) \times (2—4)$ мкм, деление бинарное. Эндоспоры эллип-

тические, терминальные или субтерминальное, спорангий раздут. Факультативный анаэроб. На агаризованной среде LB образует желтоватые, полупрозрачные, гигантские, расплзающиеся колонии с влажной, неоднородной, пупырчатой поверхностью. Положителен по каталазе, оксидазе, фосфатазе, в реакции с метиловым красным, восстанавливает нитраты в нитриты, образует ацетилметилкарбинол. Отрицателен в тестах на липолитическую активность, лецитиназу, уреазу, фенилаланиндезаминазу и аргининдекарбоксилазу, не образует индол, не утилизирует цитрат, не гидролизует крахмал, казеин и желатин. Образует кислоту из глюкозы, сахарозы, мальтозы, арабинозы, лактозы, ксилозы, но не маннита и рамнозы. Рост ингибируется в присутствии NaCl (5 %). Растет в диапазоне температур от 20 до 55 °С и pH от 5,0 до 10,0, оптимальными являются температура 30—37 °С, pH 5,0—7,0. ГЦ-состав 41,1 мол.%. Типовым штаммом является Dg-1009, коллекционный номер ФГУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора В-1092.

P. formosus sp. nov. (штаммы К-58 и К-59, выделены из грязевой ванны вблизи гейзера Коварный). Наименование связано с особенностью морфологии клеток (*formosus* — стройный). Клетки палочковидные, грамотрицательные по окраске и строению клеточной стенки на всех стадиях культивирования, подвижные, удлинённые, (0,4—0,5) × (2—7) мкм, деление бинарное. Эндоспоры эллиптические, терминальные или субтерминальные, спорулирующие клетки укорочены, спорангий раздут. Факультативный анаэроб. На агаризованной среде LB образует мелкие, белесые, полупрозрачные колонии. Положителен по каталазе, оксидазе, фосфатазе, в реакции с метиловым красным, не восстанавливает нитраты в нитриты, не образует ацетилметилкарбинол. Отрицателен в тестах на липолитическую активность, лецитиназу, уреазу, фенилаланиндезаминазу, лизин-, орнитин- и аргининдекарбоксилазу, не образует индол, не утилизирует цитрат, не гидролизует крахмал, казеин и желатин. Образует кислоту из глюкозы, сахарозы, лактозы, ксилозы, глицерина, но не маннита, рамнозы и арабинозы. Рост ингибируется в присутствии NaCl (1 %). Растет в диапазоне температур от 20 до 42 °С и pH от 6,0 до 11,0, оптимальными являются температура 30 °С, pH 7,0—8,0. ГЦ-состав 45,4 мол.%. Типовым штаммом является штамм К-58, коллекционный номер ФГУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора В-1137.

1.2. *BACILLUS THURINGIENSIS* Долины Гейзеров (Камчатка). ФЕРМЕНТАТИВНАЯ И АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ

Штаммы бактерии *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), обладающие способностью формировать параспоральные кристаллические включения белковой природы [Feitelson et al., 1992], многие годы используются как основа биоинсектицидных препаратов, т. е. для регулирования численности насекомых — вредителей сельского и лесного хозяйства [Hofte, Witheley et al., 1989; Wasano, 1998; Navon, 2000]. Кристаллические белки, или δ-эндотоксины [Crickmore et al., 1998], обуславливают, главным образом, инсектицидную активность *Bt*, хотя многие штаммы этого вида продуцируют и другие факторы активности по отношению к насекомым. К ним относятся термостабильный β-экзотоксин, токсичный для насекомых, устойчивых к кристаллическим белкам *Bt* [Levinson, 1990]; лецитиназа (фосфолипаза С); протеазы; хитиназы и так называемые VIP-токсины, секретируемые во время фазы

вегетативного роста клеток *Bt* [Lovgren et al., 1990; Zhang et al., 1993; Warren et al., 1994]. Известно также, что различные подвиды *Bt* обладают избирательным действием в отношении не только насекомых, но и микроорганизмов [Юдина, Бурцева, 1997; Патогены..., 2001]. В последнее время открыты новые возможности применения *Bt* в пищевой промышленности [Ahern et al., 2003] и медицине [Ito et al., 2004; Katayama, 2007]. Так, белки параспоральных включений ряда штаммов *Bt* демонстрируют цитотоксическую активность относительно опухолевых клеток.

Поиск новых и описание перспективных для использования штаммов ведется постоянно и представляется актуальным. Наиболее продуктивными в этом отношении являются необычные экологические ниши, такие как Кроноцкий заповедник, с ослабленным антропогенным и техногенным влиянием.

В образцах почвы, воды и осадков горячих источников Долины Гейзеров (Камчатка) в 2004 г. авторами были выделены образующие эндоспоры бактерии, продуцирующие необычные параспоральные кристаллические включения, как правило, сцепленные со спорой. Морфологические особенности выделенных штаммов были аналогичны свойствам спорообразующих бактерий, описанных ранее [Rampersad et al., 2005a], отнесенных в соответствии с результатами световой и электронной микроскопии клеток, SDS-PAGE, PCR-анализа, ДНК-гибридизации и биотестами к виду *Bacillus thuringiensis* [Rampersad et al., 2005b].

Поэтому цель настоящей работы состояла в сравнительном исследовании фенотипических признаков, белкового состава параспоральных включений, инсектицидной и антимикробной активностей кристаллосодержащих, спорообразующих штаммов Долины Гейзеров для уточнения их таксономического положения и выяснения возможного биотехнологического применения.

Исследуемые штаммы. Кристаллообразующие, содержащие эндоспоры бактерии (Dg-1011, Dg-1015, Dg-1018, Dg-1024, Dg-992, Dg-994, Gi-47, Gi-117, Gi-416, Gi-424, Gi-429, Gi-443, Gi-466, Gi-528, Gi-530, Gi-535, Gi-542, Gi-719) были обнаружены в пробах почвы, воды и осадков источников Долины Гейзеров при их высеве на агаризованные среды РПА и LA со значениями pH 5,0, 7,0, 9,0 и температуре инкубирования 28—30 °С. Исследуемые образцы были взяты на удаленных друг от друга участках Долины, различавшихся значением pH, температурными условиями, составом произрастающих растений и другими характеристиками. Выделенные штаммы бактерий депонированы в коллекции микроорганизмов ФГУН ГНЦ ВБ «Вектор» Роспотребнадзора.

Питательные среды: рыбный питательный агар (РПА, ФГУП НПО «Микроген» МЗ РФ); среда LA (0,25 % LB «Difco», 1,7 % агара, дистиллированная вода — до 1 л); среда А (0,7 % пептона, 0,4 % рыбного гидролизата, 0,5 % NaCl, 1,7 % агара, дистиллированная вода — до 1 л); среда КФ (картофельный агар: пептон — 0,1 %, K_2HPO_4 — 0,04 %; агар — 1,9 %, картофельный отвар — до 1 л). Перед культивированием в среду КФ добавляли 0,5 % стерильного 20%-го раствора глюкозы и 0,1 % стерильного 10%-го раствора $MnSO_4$. Значение pH всех сред составляло 7,0—7,2.

Изучение морфологических, физиологических и биохимических свойств микробных изолятов, проведение косвенных тестов на патогенность выполнено стандартными методами [Методы..., 1984]. Особенности морфологии клеток, форму и размеры параспоральных включений оценивали с помощью микроскопа Axioskop 40 (Carl Zeiss) при использовании фазово-контрастной микроскопии.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
-------------------	---

ЧАСТЬ 1
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ

ГЛАВА 1

ГИДРОТЕРМЫ ДОЛИНЫ ГЕЙЗЕРОВ И БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ	13
1.1. Новые граммотрицательные, образующие эндоспоры бактерии, выделенные из термальных полей и источников Долины Гейзеров (Камчатка) (И. С. Андреева, И. В. Морозов, О. В. Морозова, Е. И. Рябчикова, И. В. Саранина, Е. К. Емельянова, Л. И. Пучкова, В. В. Власов, В. Е. Репин)	—
1.2. <i>Vacillus thuringiensis</i> Долины Гейзеров (Камчатка). Ферментативная и антимикробная активность (И. С. Андреева, Н. И. Печуркина, Л. И. Бурцева, Г. В. Калмыкова, Л. И. Пучкова, И. В. Саранина, В. Е. Репин)	23
1.3. Геохимические особенности щелочных гидротерм Баргузинской долины. Биогенное минералообразование в цианобактериальных матах. Изотопный состав углерода микробных матов. Перераспределение элементов между минеральной и органической частями микробного мата (Е. В. Лазарева, А. В. Брянская, С. М. Жмодик, В. А. Пономарчук, Д. Д. Бархутова, О. П. Таран, Д. В. Семенова, Ю. П. Колмогоров)	33
1.4. Разнообразие и функциональная активность микробных сообществ наземных гидротерм Байкальской рифтовой зоны (Б. Б. Намсараев, Д. Д. Бархутова, З. Б. Намсараев, А. В. Брянская, Т. Г. Банзаракцаева, Е. В. Лаврентьева, Э. В. Данилова)	45
1.5. <i>Brevibacillus barguzinii</i> sp. nov. — новая, образующая эндоспоры граммотрицательная зубактерия, выделенная из термального источника Змеиный (Баргузинский заповедник, Россия) (В. Е. Репин, И. С. Андреева, О. В. Морозова, Е. И. Рябчикова, Е. К. Емельянова, Л. И. Пучкова)	74
1.6. Новый вид бактерий <i>Roseomonas baikalica</i> sp. nov., обнаруженный в древних осадочных породах дна озера Байкал (И. С. Андреева, Н. И. Печуркина, О. В. Морозова, Е. И. Рябчикова, С. И. Беликов, Л. И. Пучкова, Е. К. Емельянова, Т. Торок, В. Е. Репин)	78
1.7. Роль микроорганизмов в накоплении платины и других металлов океаническими железомарганцевыми конкрециями (С. М. Жмодик, Д. К. Белянин, А. А. Богуш)	85

ГЛАВА 2

МИНЕРАЛИЗОВАННЫЕ ОЗЕРА ЮГА СИБИРИ И ЗАБАЙКАЛЬЯ	102
2.1. Общее описание Меромиктических озер юга Сибири (А. Г. Дегерменджи, Д. Ю. Rogozin)	—
2.2. Структура и динамика микробного сообщества серного цикла в озерах Шири и Шунет (Д. Ю. Rogozin, М. Ю. Трусова, А. Г. Дегерменджи)	104

2.3. Скорости микробных процессов цикла серы и углерода в озерах Шира и Шунет (Д. Ю. Rogozin, А. Г. Дегерменджи)	119
2.4. Математическое моделирование вертикальной структуры стратифицированного водоема. Гидрофизические модели (В. М. Белоліпецкий, П. В. Белоліпецкий, С. Н. Генова)	126
2.5. Новая одномерная вертикальная модель меромиктического соленого озера Шира (Россия, Хакасия): принципы, уравнения, модельные расчеты (И. Г. Прокопкин, А. Г. Дегерменджи, Д. Ю. Rogozin).....	150
2.6. Экологический прогноз динамики серного цикла в озерах Шира и Шунет с помощью математических моделей (Д. Ю. Rogozin, И. Г. Прокопкин, А. Г. Дегерменджи)	163
2.7. Геохимическая и микробиологическая характеристика соленых экосистем Новосибирской области (А. В. Брянская, О. П. Таран, В. А. Симонов, Е. В. Лазарева, А. С. Розанов, С. Е. Пельтек, В. Н. Пармон, Н. А. Колчанов)	168
2.8. Разнообразие и функциональная активность микробных сообществ содово-соленых озер Центральной Азии (Б. Б. Намсараев, Л. П. Козырева, З. Б. Намсараев, А. В. Брянская, С. П. Бурюхаев, Д. Д. Цыренова, Е. Н. Болдарева, В. М. Горленко).....	176
ГЛАВА 3	
ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ	199
3.1. Что новое привнесли микроорганизмы в теорию эволюции (В. Е. Репин, В. В. Власов).....	—
3.2. Точка отсчета микробной эволюции: возникновение первичных экосистем на Земле с позиции системной концепции зарождения биосферы (В. Н. Компаниченко).....	205
3.3. Микроорганизмы многолетнемерзлых пород как уникальные объекты эволюции (А. В. Брушков, М. Утсуми, К. Асано, М. Танака, М. Фукуда, В. Е. Репин).....	215
3.4. Исследование адаптации к экстремальным условиям культивируемых эубактерий о. Короля Георга, Антарктида (О. В. Морозова, И. С. Андреева, В. И. Жираковский, Е. К. Емельянова, Н. И. Печуркина, Л. И. Пучкова, Т. П. Камынина, В. Е. Репин, В. В. Власов)	221
3.5. Микроорганизмы позднего плейстоцена (В. Е. Репин, В. Г. Пугачев, О. С. Таранов, Е. К. Емельянова, О. Д. Тотменина, С. Ф. Орешкова, Л. И. Пучкова, Е. И. Рябчикова, И. С. Андреева, А. В. Брушков)	230

ЧАСТЬ 2 БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ И МЕДИЦИНСКАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ

ГЛАВА 4	
БИОРЕМЕДИАЦИЯ ОТХОДОВ. БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ	239
4.1. Возможности применения микроорганизмов в переработке отходов производства биодизельного топлива с целью получения химических веществ (К. Н. Сорокина, А. С. Розанов, С. Е. Пельтек, Н. А. Колчанов, В. Н. Пармон)	—

ГЛАВА 5

СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫЕ И ТРАНСМИССИВНЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ	247
5.1. Молекулярная эпидемиология туберкулеза (М. А. Дымова, М. Л. Филипенко).....	–
5.2. Генотипирование изолятов и штаммов вируса клещевого энцефалита, выявленных в природных очагах лесопарковой зоны Новосибирского научного центра (С. Е. Ткачев, В. В. Панов, В. В. Бахвалова).....	259
5.3. Определение и сравнительный анализ последовательностей генов <i>ospA</i> и <i>p83/100</i> западносибирских изолятов <i>B. afzelii</i> и <i>B. garinii</i> (Н. В. Фоменко, Ю. В. Сабитова, Н. А. Гольцова, М. А. Хаснашинов, Ж. Батаа, О. В. Стронин).....	266
5.4. Генетическое разнообразие эрлихий и анаплазм на территории азиатской части России (В. А. Пар, Н. Н. Ливанова, Н. М. Пуховская, И. В. Козлова, Л. И. Иванов).....	286
5.5. Паразитарные системы природноочаговых трансмиссивных заболеваний человека Северного Зауралья (Н. Н. Ливанова, С. Г. Ливанов, В. А. Пар, С. Е. Ткачев).....	297

ЧАСТЬ 3

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ

ГЛАВА 6

КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ БАКТЕРИАЛЬНЫХ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	315
6.1. Анализ эволюции в семействах белоккодирующих генов у архей рода <i>Pyrococcus</i> при адаптации к высоким давлениям океанических глубин (К. В. Гунбин, Д. А. Афонников, Е. В. Болдырева, Н. А. Колчанов).....	–
6.2. Влияние <i>Neisseria gonorrhoeae</i> на жизнеспособность клеток хозяина: реконструкция генной сети (О. А. Подколотная).....	330
6.3. Моделирование коэволюции одноклеточных гаплоидных организмов с помощью программного комплекса «Эволюционный конструктор» (С. А. Лашин, В. В. Суслов, Ю. Г. Матушкин, Н. А. Колчанов).....	347
6.4. Компьютерный генетический конструктор: математическое моделирование генетических и метаболических подсистем <i>E. coli</i> (В. А. Лихошвай, Т. М. Хлебодарова, А. В. Ратушный, С. А. Лашин, И. И. Турнаев, О. А. Подколотная, Е. А. Ананько, О. Г. Смирнова, С. С. Ибрагимова, Н. А. Колчанов).....	376
6.5. Компьютерный ресурс «Генетический конструктор» для моделирования молекулярно-генетических процессов в бактериальной клетке: анализ циклической генной сети (В. А. Лихошвай, Т. М. Хлебодарова, Н. А. Колчанов).....	392
6.6. Экспериментально-компьютерное конструирование и анализ бактериальных геносенсоров для детекции токсичности окружающей среды (Т. М. Хлебодарова, Н. В. Тикунова, В. А. Лихошвай, А. В. Качко, Т. Ю. Степанова, Д. Ю. Ощепков, А. В. Задорожный, Ю. Г. Матушкин, Н. А. Колчанов).....	404
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	423
СВЕДЕНИЯ О ФИНАНСОВОЙ ПОДДЕРЖКЕ ТЕМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРОВЕДЕННЫХ В РАМКАХ РАЗДЕЛОВ МОНОГРАФИИ, А ТАКЖЕ БЛАГОДАРНОСТИ АВТОРОВ ...	465
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	470

Научное издание

**РОЛЬ МИКРООРГАНИЗМОВ
В ФУНКЦИОНИРОВАНИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ:
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
И БИОИНЖЕНЕРНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ**

Интеграционные проекты СО РАН
Вып. 28

Редактор *Н. А. Лившиц*
Технический редактор *Н. В. Бутакова*
Корректоры *Н. В. Счастлива, Е. С. Языкова*

Подписано в печать с оригинал-макета 10.11.2010
Уч.-изд. л. 43. Усл. печ. л. 39,5. Формат 70×100/16
Тираж 400 экз. Заказ № 362

Издательство СО РАН
630090, Новосибирск, Морской просп., 2
E-mail: psb@ad-sbras.nsc.ru
тел. (383) 330-80-50
Интернет-магазин Издательства СО РАН
<http://www.sibran.ru>