

22-4526-Б

НА ДОМ НЕ ВЫДАЕТСЯ

БИОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ

22-04526



М. Дж. Ф. БАРРЕСИ
С. Ф. ГИЛБЕРТ

М. ДЖ. Ф. БАРРЕСИ
С. Ф. ГИЛБЕРТ

БИОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ

Перевод с английского

под редакцией
доктора биол. наук,
профессора А. В. Васильева



Москва
Лаборатория знаний

УДК 573
ББК 28.03
Б25

Переводчики:

Е. А. Радугина (гл. 1–4, 21, 22), Ю. В. Храмова (гл. 5–7, 12),
Д. А. Никишин (гл. 8, 9, 10), И. Е. Борисенко (гл. 13, 15, 19),
В. В. Козин (гл. 17, 18), Н. М. Алешина (гл. 11, 20),
Е. Ю. Шмуклер (гл. 14, 16), Ю. Б. Шмуклер (гл. 23, 24)

Барреси М. Дж. Ф.

Б25 Биология развития / М. Дж. Ф. Барреси, С. Ф. Гилберт ; пер.
с англ. под ред. д-ра биол. наук А. В. Васильева. — М. : Лабо-
ратория знаний, 2022. — 800 с. : ил.

ISBN 978-5-00101-323-5

Перевод нового, дополненного 12-го издания «Биологии развития»
М. Дж. Ф. Барреси и С. Ф. Гилберта привлекает своей основательностью
и возможностью эффективно узнавать о классических принципах и о пере-
довых разработках в этой обширной междисциплинарной области. Книга
очень любима, хорошо иллюстрирована и предельно понятно написана.

Обновлены главы об оплодотворении, дроблении, гастрюляции, раннем
развитии позвоночных, клеточной дифференцировке и клеточных взаимо-
действиях в процессе развития. Включена информация о биологии растений
в те из них, которые посвящены клеточной спецификации, регуляции
генов, клеточной коммуникации, производству гамет, оплодотворению,
определению осей, формированию органов и регенерации.

Представлен новый материал о морфомеханике развития во время
гастрюляции у дрозофилы и формирования легких млекопитающих. Особое
внимание уделено использованию полногеномных подходов, выводящих
наше понимание дифференцировки клеток на новый уровень.

Для студентов и аспирантов биологических и медицинских вузов,
а также их преподавателей, будет полезна старшеклассникам для более
глубокого изучения предмета.

УДК 573
ББК 28.03

Учебное издание

**Барреси Майкл Дж. Ф.
Гилберт Скотт Ф.**

БИОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ

Ведущий редактор канд. биол. наук *В. В. Гейдебрехт*
Художественные редакторы *В. А. Прокудин, И. К. Дилоян*
Технический редактор *Т. Ю. Федорова*. Корректор *И. Н. Панкова*
Компьютерная верстка: *В. И. Савельев*

Подписано в печать 25.11.21. Формат 60×90/8.
Усл. печ. л. 100,00. Заказ № ВЗК-05940-21.

Издательство «Лаборатория знаний»
125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3
Телефон: (499) 157-5272
e-mail: info@pilotLZ.ru, http://www.pilotLZ.ru

Отпечатано в АО «Первая Образцовая типография», филиал «Дом печати — ВЯТКА»
в полном соответствии с качеством предоставленных материалов.
610033, г. Киров, ул. Московская, 122.

Developmental Biology, International Twelfth Edition was originally published in English in 2020. This translation is published by arrangement with Oxford University Press. BKL Publishers is solely responsible for this translation from the original work and Oxford University Press shall have no liability for any errors, omissions or inaccuracies or ambiguities in such translation or for any losses caused by reliance thereon.

Developmental Biology, International Twelfth Edition было впервые опубликовано на английском языке в 2020 г. Этот перевод опубликован по договоренности с Oxford University Press. ООО «Лаборатория знаний» несет полную ответственность за этот перевод оригинального произведения, и Oxford University Press не несет ответственности за любые ошибки, упущения, неточности или двусмысленности в этом переводе или за убытки, причиненные в связи с его использованием.

© 2020 Oxford University Press
© Лаборатория знаний, 2022

ISBN 978-5-00101-323-5

Содержание

Предисловие к русскому изданию	6	Новое в международном двенадцатом издании	18
Предисловие: широкий взгляд на биологию развития	17	Развитие растений охватывает все	18
Вспомним междисциплинарные основы области	17	Модернизированная и расширенная глава по регенерации	18
		Обновления во всех главах	18
		Новый, ориентированный на студентов, подход	19
		Благодарности	19

ЧАСТЬ I • Раннее развитие: дробление, гастрюляция и формирование осей 21



Возникновение тела и области: введение в биологию развития 21

«Как ты? Кто ты?». Сравнительная эмбриология и вопросы биологии развития	23
Жизненный цикл	27
Жизненный цикл животного	27
Жизненный цикл цветкового растения	28
Пример 1: жизнь лягушки	28
Гаметогенез и оплодотворение	29
Дробление и гастрюляция	29
Органогенез	31
Метаморфоз и гаметогенез	31
Пример 2: даже в жизни сорняков есть место цветам	32
Фазы репродукции и гаметофита	32
Эмбриогенез и созревание семени	32
Вегетативные фазы: от роста спорофита до определения соцветия	34

Обзор раннего развития животных	34
Способы дробления	34
Гастрюляция: важнейшее событие в нашей жизни	36
Первичные зародышевые листки и первые органы	37
Постигая поведение клеток в эмбрионе	38
Принципиальный подход к наблюдению развития	40
Подход к проблеме: обнаружить, утратить, переместить	40
Прямое наблюдение за живыми эмбрионами	41
Мечение красителями	41
Генетические метки	41
Химеры с трансгенной ДНК	43
Эволюционная эмбриология	45
Понимание древа жизни позволяет увидеть взаимосвязи в развитии его представителей	47
История развития наземных растений	52
Медицинская эмбриология и тератология	56
Генетические аномалии и синдромы	56
Нарушения и тератогены	56
Послесловие	57



Определение идентичности: механизмы разметки тела в развитии 59

Уровни коммитирования	59
Дифференцировка клеток	60
Созревание согласно траектории развития клетки	60
Автономная спецификация	61
Цитоплазматические детерминанты и автономная спецификация у оболочника	61
Условная спецификация	64
Синцитиальная спецификация	68
Положение определяют противонаправленные градиенты вдоль осей	68



Дифференциальная экспрессия генов: механизмы дифференцировки клеток 71

Определение дифференциальной экспрессии генов	71
Короткий курс по центральной догме	72
Доказательства геномной эквивалентности	73
Анатомия гена	75
Состав хроматина	75
Экзоны и интроны	76
Основные части гена эукариот	76
Продукт транскрипции и его процессинг	76
Некодирующие регуляторные элементы: включение, выключение, регулировка активности гена	77
Механизмы дифференциальной экспрессии генов: транскрипция	82
Эпигенетические модификации: настройка доступности генов	82
Транскрипционные факторы регулируют транскрипцию генов	85
Генная регуляторная сеть: определение отдельных клеток	90
Механизмы дифференциальной экспрессии генов: процессинг пре-мРНК	91

Создание семейств белков путем альтернативного сплайсинга пре-мРНК 91

Механизмы дифференциальной экспрессии генов: трансляция мРНК 93

Дифференциальная стабильность мРНК	93
мРНК, запасенные в ооцитах: избирательное ингибирование трансляции мРНК	93
Избирательность рибосом: избирательная активация трансляции мРНК	94
МикроРНК: специфическая регуляция трансляции и транскрипции мРНК	95
Контроль экспрессии РНК за счет локализации в цитоплазме	97

Механизмы дифференциальной экспрессии генов: посттрансляционные модификации белка 97

Послесловие 106



Межклеточная коммуникация: механизмы морфогенеза 109

Основы межклеточной коммуникации	110
Адгезия и сортировка: юкстакринные взаимодействия и физика морфогенеза	111
Дифференциальное сродство клеток	111
Термодинамическая модель взаимодействия клеток	113
Кадгерины и клеточная адгезия	114
Внеклеточный матрикс как источник сигналов для развития	116
Интегрины: рецепторы молекул внеклеточного матрикса	117
Эпителио-мезенхимный переход	118
Клеточная сигнализация	119
Индукция и компетенция	119
Паракринные факторы: молекулы-индукторы	123
Градиенты морфогенов	123
Каскады передачи сигнала: ответ на индукторы	125
Факторы роста фибробластов и тирозинкиназный сигнальный путь	125
FGF и сигнальный путь JAK-STAT	126
Семейство Hedgehog	127
Семейство Wnt	131
Суперсемейство TGF β	135
Другие паракринные факторы	137

Клеточная биология паракринной сигнализации	140	Ниши стволовых клеток у взрослых животных	159
Локальные выросты мембраны как источник сигналов	140	Стволовые клетки стимулируют развитие половых клеток в яичнике <i>Drosophila</i>	159
Юкстакринная сигнализация в определении идентичности клеток	145	Постнатальная ниша стволовых клеток в вентрикулярно-субвентрикулярной зоне	160
Сигнальный путь Notch: юкстапозиция лигандов и рецепторов в установлении разметки тела	145	Нейронная ниша стволовых клеток в В-СВЗ	163
Координация паракринной и юкстакринной сигнализации: индукция вульвы у <i>C. elegans</i>	146	Постнатальная ниша стволовых клеток кишечника	166
		Самообновление клеток в крипте	166
		Стволовые клетки обеспечивают поддержание клеточного состава крови	168
		Гемопоэтическая ниша стволовых клеток	168
		Мезенхимные стволовые клетки: поддержание разнообразия тканей взрослого организма	171
		Регуляция развития МСК	172
		Модели систем человека для изучения развития и болезней	172
		Плюрипотентные стволовые клетки в условиях лаборатории	173
		Индуцированные плюрипотентные стволовые клетки	176
		Органоиды: изучение органогенеза человека в культуральной чашке	179
		Стволовые клетки: надежда или шумиха?	182
Стволовые клетки: ниши стволовых клеток и их потенциал	151		
Концепция стволовой клетки	152		
Деление и самовоспроизведение	152		
Потенции определяют типы стволовых клеток	152		
Регуляция стволовых клеток	154		
Плюрипотентные клетки в эмбрионе	155		
Клетки меристемы у эмбриона <i>Arabidopsis thaliana</i>	156		
Клетки внутренней клеточной массы в эмбрионе мыши	158		

5




ЧАСТЬ II • Гаметогенез и оплодотворение: определение пола 185


6





Определение пола и гаметогенез	185	Хромосомное определение пола у <i>Drosophila</i>	197
Определение пола	185	Определение пола путем дозировки X-хромосомы	197
Хромосомное определение пола	186	Ген <i>Sex-lethal</i>	197
Способы определения пола у млекопитающих	186	<i>Doublesex</i> : ген переключения определения пола	199
Гонадное определение пола у млекопитающих	187	Определение пола в зависимости от внешних факторов	200
Вторичное определение пола у млекопитающих: гормональная регуляция полового фенотипа	193	Гаметогенез у животных	203
		ППК млекопитающих: от половых валиков до гонад	203
		Мейоз: переплетение жизненных циклов	204
		Сперматогенез у млекопитающих	207
		Оогенез у млекопитающих	211

Зародышевый щиток и нейральный киль	369	Раннее развитие птиц	379
Процесс формирования дорсально-вентральной оси	371	Дробление у птиц	379
Губа бластопора у рыб	371	Гастрюляция у птиц	379
Разделение сил Nodal и BMP во время детерминации оси	372	Спецификация осей и роль организатора в эмбрионах птиц	386
Формирование лево-правой оси	374	Формирование лево-правой асимметрии	387
		Раннее развитие млекопитающих	388
Птицы и млекопитающие	377	Дробление у млекопитающих	389
		Трофобласт или ВКМ? Первое решение, определяющее всю дальнейшую жизнь	391
		Гастрюляция у млекопитающих	392
		Формирование осей тела у млекопитающих	396
		Близнецы	402
		Послесловие	404

ЧАСТЬ IV • Строим из эктодермы: нервная система позвоночных и эпидермис 409

		Механизмы развития, регулирующие рост мозга	435
Формирование и разметка нервной трубки	409	Поведение нейральных стволовых клеток во время деления	435
Трансформация нервной пластинки в нервную трубку: рождение ЦНС	411	Нейрогенез: стройка снизу вверх (или изнутри наружу)	437
Первичная нейруляция	412	Глия как матрикс для мозжечка и неокортекса	438
Вторичная нейруляция	421	Сигнальные механизмы, регулирующие развитие неокортекса	438
Разметка центральной нервной системы	422	Развитие человеческого мозга	441
Передне-задняя ось	422	Фетальный рост нейронов после рождения	442
Дорсально-вентральная ось	422	Холмы высятся на горизонте обучения	442
Противостоящие морфогены	422	Гены роста мозга	444
Все оси сходятся	426	Изменения в количестве транскриптов	445
		Подростковый мозг: подключен и раскован	446

			
Рост мозга	429	Клетки нервного гребня и специфичность аксонов	449
Нейроанатомия развивающейся центральной нервной системы	429	Нервный гребень	449
Клетки развивающейся центральной нервной системы	430	Регионализация нервного гребня	451
Ткани развивающейся центральной нервной системы	430	Нервный гребень: мультипотентные стволовые клетки?	452

Спецификация клеток нервного гребня	454	...Нетрин	481
		Slit и Robo	481
Миграция клеток нервного гребня:		Путешествие аксонов ганглиозных клеток сетчатки	482
из эпителия в мезенхиму и не только	455	Рост аксонов ганглиозных клеток к зрительному нерву	482
Деламинация	455	Рост аксонов ганглиозных клеток сетчатки сквозь зрительную хиазму	483
Движущая сила контактного ингибирования	458	Выбор мишени: «Мы уже на месте?»	484
Коллективная миграция	459	Хемотактические белки	485
Пути миграции клеток туловищного нервного гребня	460	Выбор мишени аксонами сетчатки: видеть — значит верить	485
Вентральный путь	461	Формирование синапса	488
Дорсально-латеральный путь	464		
Головной нервный гребень	465		
Модель «преследуй и беги»	468		
Тянитолкай: хитроумное сотрудничество	468		
Скелет черепа, образующийся из нервного гребня	470		
Сердечный нервный гребень	471		
Установление аксональных путей в нервной системе	471	Эктодермальные плакоды и эпидермис	493
Конус роста: водитель и двигатель аксона в поиске мишени	473	Черепные плакоды: чувства нашей головы	494
Rho действует на актиновые филаменты под влиянием сигнальных каскадов	473	Индукция черепных плакод	495
Наведение аксона	475	Развитие слуховой и эпибранхиальной плакод: общий опыт	495
Внутреннее программирование навигации моторных нейронов	476	Морфогенез глаза позвоночных	501
Клеточная адгезия: механизм, чтобы удержаться на пути	477	Формирование глазного поля: образование сетчатки	502
Местные и дальнедействующие направляющие молекулы: дорожные знаки для зародыша	478	Индукционный каскад хрусталик–сетчатка	504
Паттерн избегания: эфрины и семафорины	478	Эпидермис и кожные придатки	505
Как аксон пересекает дорогу?	480	Происхождение эпидермиса	507
		Эктодермальные придатки	508
		Сигнальные пути, в которые мы можем вонзить зубы	509
		Стволовые клетки эктодермальных придатков	510

16



ЧАСТЬ V • Позднее развитие мезодермы и энтодермы: органогенез

515

17



Параксиальная мезодерма: сомиты и их производные 515

Клеточные типы сомита 518

Определение параксиальной мезодермы и клеточного развития вдоль передне-задней оси 519

Спецификация параксиальной мезодермы 519


Пространственно-временная коллинеарность экспрессии Нох-генов определяет идентичность структур туловища 521

Сомитогенез 524

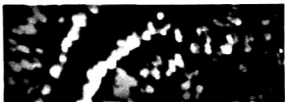
Удлинение оси: каудальная зона предшественников и межтканевая адгезия	525
Как формируется сомит: модель часов и волнового фронта	528
Связь часов и волнового фронта с Нох-опосредованной осевой идентичностью и завершением сомитогенеза	533
Развитие склеротома	535
Формирование позвонков	537
Формирование сухожилий: синдетом	540
Развитие дермомиотома	540
Детерминация центрального дермомиотома	542
Детерминация миотома	543

18	
Промежуточная мезодерма и мезодерма боковой пластинки: сердце, кровь и почки	
	547

Промежуточная мезодерма: почка	548
Спецификация промежуточной мезодермы: Pax2, Pax8 и Lim1	550
Реципрокные взаимодействия тканей развивающейся почки	551
Механизмы реципрокной индукции	552
Мезодерма боковой пластинки: сердце и кровеносная система	557
Развитие сердца	558
Миниатюрное сердце	558
Формирование полей сердца	558
Спецификация кардиогенной мезодермы	560
Миграция клеток-предшественников сердца	560
Начало дифференцировки клеток сердца	563
Образование петли сердечной трубки	563
Формирование кровеносных сосудов	565
Васкулогенез: начало формирования кровеносных сосудов	565
Ангиогенез: ветвление кровеносных сосудов и перестройка сосудистого русла	568
Кроветворение: стволовые клетки и долгоживущие клетки-предшественники	568
Места кроветворения	568
Ниша ГСК в костном мозге	569
Послесловие	573

19	
Развитие конечности тетрапод	
	575

Анатомия конечности	575
Почка конечности	576
Дифференцировка скелета конечности за счет Нох-генов	578
От проксимального к дистальному: Нох-гены в конечности	578
Как определить, какую конечность формировать и где ее расположить	580
Спецификация полей конечности	580
Индукция ранней почки конечности	582
Рост: формирование проксимально-дистальной оси конечности	587
Апикальный эктодермальный гребень	587
Спецификация мезодермы конечности: детерминация проксимально-дистальной полярности	588
Модель Тьюринга: реакционно-диффузионный механизм проксимально-дистального развития конечности	589
Спецификация передне-задней оси	593
Sonic hedgehog определяет зону поляризующей активности	593
Спецификация идентичности пальцев под влиянием Sonic hedgehog	596
Sonic hedgehog и FGF: еще одна петля положительной обратной связи	597
Нох-гены как часть регуляторной сети, обеспечивающей спецификацию идентичности пальцев	597
Формирование дорсально-вентральной оси	600
Гибель клеток и формирование пальцев и суставов	602
Формирование аутоподия	602
Формирование суставов	602
Эволюция путем изменения сигнальных центров конечности	603

20	
Энтодерма: трубки и органы для пищеварения и дыхания	
	607

Глотка	609
---------------	-----

Кишечная трубка и ее производные	611	Дыхательная трубка	617
Спецификация кишечной ткани	613	Эпителио-мезенхимные взаимодействия	
Придаточные органы: печень, поджелудочная железа и желчный пузырь	614	и биомеханика ветвления в легких	618

ЧАСТЬ VI • Постэмбриональное развитие 623

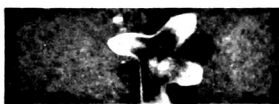
21



Метаморфоз: гормональная реактивация развития 623

Метаморфоз у амфибий	624
Морфологические изменения, связанные с метаморфозом амфибий	624
Гормональный контроль метаморфоза амфибий	626
Программы развития с региональной специфичностью	628
Метаморфоз у насекомых	629
Имагинальные диски	630
Гормональный контроль метаморфоза у насекомых	633
Молекулярная биология активности 20-гидроэкизона	635
Детерминация имагинального диска крыла	635

22



Регенерация: развитие на службе восстановления 639

Определение проблемы регенерации	640
Регенерация: повторение эмбрионального развития?	641
Эволюционный взгляд на регенерацию	643
Механика регенерации	646
Регенерация у растений	647
Тотипотентный способ регенерации	647
Чудесные целительные силы меристемы растений	648
Регенерация всего тела у животных	652

Гидра: регенерация за счет стволовых клеток, морфаллакис и эпиморфоз	652
Регенерация за счет стволовых клеток у плоских червей	655

Тканеспецифичная регенерация у животных 663

Саламандра: эпиморфная регенерация конечности	663
Определение клеток в регенерационной бластеме	664
Рыбка <i>Danio</i> : извлекаемая механизмы регенерации	667

Регенерация у млекопитающих 675

Компенсаторная регенерация печени млекопитающих	675
Иглистые мыши: грань между регенерацией и образованием рубца	677

23



Нормальное развитие и патология:

врожденные дефекты, вещества, нарушающие эндокринную систему, и онкологические заболевания	681
--	-----

Роль случая	682
--------------------	-----

Генетические ошибки в развитии человека 682

Развитие и природа генетических синдромов у человека	682
Генетическая и фенотипическая гетерогенность	683

Тератогенез: атаки среды на развитие животного 684

Алкоголь как тератоген	685
Ретиноевая кислота как тератоген	690

Вещества, нарушающие эндокринную систему: эмбриональные истоки заболеваний 691

Диэтилстильбэстрол	692
--------------------	-----

Бисфенол А	694	Ограничения, накладываемые развитием на эволюцию	719
Атразин: эндокринные нарушения, вызываемые нарушением синтеза гормона	696	Физические ограничения	720
Гидравлический разрыв пласта: новый потенциальный источник веществ, нарушающих эндокринную сферу	697	Морфогенетические ограничения	720
Наследование нарушений развития	698	Плейотропные ограничения и избыточность	720
Рак как заболевание, связанное с развитием	698	Экологическая эволюционная биология развития	720
Онкотерапия, основанная на факторах развития	704	Пластичность – первая эволюция	721
Послесловие	705	Генетическая ассимиляция в лабораторных условиях	722
		Генетическая ассимиляция в природной среде	723
		Отбираемые эпигенетические вариации	724
		Эволюция и симбиоз развития	726
		Эволюция многоклеточности	727
		Эволюция плацентарных млекопитающих	727
		Послесловие	727
		Приложение	731
		Краткое руководство по поиску и пониманию научных статей по биологии развития	731
		Исследование для исследования	731
		Поисковое исследование	731
		Навигация по базе данных PubMed	733
		Получение PDF-файла статьи	733
		Определение анатомии исследовательской работы	733
		Глоссарий	735
		Указатель	791
		Рецензенты 12-го издания	800



Развитие и эволюция: механизмы биологии развития в эволюционных изменениях **707**

Модель генетики развития в эволюционных изменениях 708

Предпосылки эволюции 708

Структура развития в геноме 708

Модульность: дивергенция через диссоциацию 708

Молекулярная экономия: дупликация генов и дивергенция 710

Механизмы эволюционных изменений 714

Гетеротопия 714

Гетерохрония 715

Гетерометрия 716

Гетеротипия 718