

Ніколай Кукушкін

Як

Плескіт однією долонею

нежива
природа
породила
людський
розум



Зміст

Анотація.....	5
Передмова	5
Книга про себе	6
Життя як диво	6
Частина I	7
Звідки взялися всі.....	7
1. На початку були літери	8
Пантеон елементів	8
Світ як рецепт пиріжка	12
Молекула всього	13
Чотирибуквений роман	15
У центрі догми	16
Останній універсальний	19
Про шанси урагану на складання боїнга	20
Машина для виробництва себе.....	21
Загублене місто	23
2. Хороша ідея	25
Бульдог	26
Колекціонер в'юрків	26
Походження видів.....	28
У вас спина страшна	29
Гіпотези та теорії.....	31
"Ніщо в біології не має сенсу, окрім як у світлі еволюції"	32
Останній кошмар Дарвіна	34
Гідротермальний дарвінізм.....	35
Час проти життя	38
Після Дарвіна	38
3. Навіщо все ускладнювати	39
Республіка з фашистськими нахилами	40
Текучі кігті.....	42
Два кити чи три черепахи?	43
Фотосинтез	45
Турбіна на кульці	48
Що роблять рослини в темряві.....	49
Зламати воду	50
Червоний шлях і зелений шлях	54
Замок Локі.....	56
Про хижаків і жертв	57
Прометей - це Локі.....	57
У союзі з вогнем.....	59
Народження особистості	59

4. Чого не зробиш заради любові	60
Помилки Ланністерів	61
Я пам'ятаю дивовижну мить	63
У паху в тополі	64
Комуністична монархія	67
Влада гермоплазми	69
Перша смерть	70
Емерджентний домен	71
Частина II	73
Звідки взяли ми	73
5. Додавання руху	73
Двоцарство.....	74
Діти губок	76
Базова форма "шлунок"	78
Принади порожнини	79
Фігура обертання.....	81
Vive la révolution.....	84
6. На сушу!.....	87
І Дух Божий носився над водою.....	88
Як вижити на суші	90
Грибокорінь або коренегриб	91
Війна, якої не було	93
Кам'яновугільна Візантія.....	94
Сила в квадраті	95
Повітря в мішку	97
Дихання палеозою	98
7. Коли закінчується світло.....	100
І не князя будити, динозавра.....	101
Дірка в голові.....	102
П'ятсот Помпей.....	105
Помста Ольговичів	105
ДО РЕЧІ	105
Бридкі лебеді.....	106
Мономах іде в тінь.....	108
Наздогнати і перегнати.....	109
Повітряні зябра	110
Культ Кисню	112
У темряві.....	113
Швидкість усього.....	114
Зламати метаболізм	115
Далі смерті поглянути	117
8. Дзеркало	119

За що капуцини не люблять огірки.....	120
Мільярд років самотності	121
У вогні твоїх розширених зіниць	122
Чому не чихуа хуа.....	124
Дерев'яна посудина.....	125
Любов для розлуки, шлюб назавжди.....	127
Навіщо потрібні руки	129
ЧАСТИНА III.....	131
9. Думка як абстракція	131
Із чого зроблена свідомість.....	132
Дроти	134
Найдорожча деталь	137
Постріл голосуванням.....	139
Ілюзія минулого	143
Що таке пам'ять.....	144
Мистецтво втягувати.....	145
Коан равлика	147
10. Вогонь зсередини.....	148
Право проти ліва	150
Хлор і золота сукня.....	153
Чому світом не правлять несплячі	155
Що пророкує телефон.....	157
Плоскість свідомості	159
Ряди і колони	163
Естафета четвертого шару	165
Звивина пам'яті	166
Другий сигнал	167
Два вогні.....	169
11. Скільки коштує щастя	170
Шлях дофаміну.....	171
Що таке добре	173
Біржа самооцінки.....	174
Причина страждання	175
Навіщо вмикати світло	176
Чого не зробиш заради себе.....	178
Економіка буддизму.....	180
12. На початку було слово	182
Революція і контрреволюція	184
Уо, дельфін.....	186
Народження граматики.....	187
Походження мов	188
Як поріжеш - так зрозумієш	190

Про що думає старший брат	191
Суспільний фрактал	193
Друге народження життя	195
Перше обличчя	196
Епілог	197
Як звучить "людина"?	198
За Енгельса чи за Докінза?	199
Подяки	200

"Плескіт однією долонею. Як нежива природа породила людський розум": 2020

Анотація

Життя на Землі - незбагненна, всюдисуща вакханалія, що кишить мільйонами ніг, сучків, колючок і зубів, в якій ми існуємо і з якої ми походимо. Три з половиною мільярди років вона обходила без нас, і ось, в останні миті історії, з цього хитросплетіння тварин, рослин, грибів і мікробів виринає людина і ставить запитання: хто я такий і в чому сенс мого, людського, життя? У своїй дебютній книжці еволюційний нейробіолог Микола Кукушкін крок за кроком відтворює картину світу від неживої матерії до людського розуму, щоб віднайти в минулому свого виду відповіді на вічні запитання.

Виявляється, в людському стражданні винні динозаври, легені існують завдяки лишайникам, а головною подією в житті наших предків за останній еон було перетворення на черв'яків. "Плескіт однією долонею" - це історія людини та її внутрішнього світу, що вміщає в себе весь шлях від неорганічних молекул до виникнення мови та розказана так, ніби це лицарський роман чи міфічний епос.

Передмова

Але в нас горить ще бажання,
До нього йдуть поїзди,
І мчить метелик свідомості
З нізвідки в нікуди.

Віктор Пелевін. Чапаєв і Порожнеча

"Дві долони сходяться в ударі - і виникає звук. Який звук однієї долони?"

У дзен буддизмі є спеціальний тип уявної вправи - коан. Іноді дзен коани описують як загадки без розгадки, але це не зовсім точно. Насправді коан має на меті не розв'язати задачу, а скоріше відчуття невирішеності, викликати в практикуючого "стан запитування". Але насправді це не означає, що в коанів взагалі не може бути "розгадок". Просто в коані важлива не розгадка, а сам процес розгадування.

Уперше я почув коан про плескіт в інституті, на біолого-ґрунтовому факультеті СПбДУ, від однокурсників-інтелектуалів. Всі ми тоді захоплювалися, так би мовити, поп-буддизмом - Борхесом, Пелевінім, Гребенщиковим - і в перервах між лекціями про стародавні рослини і зоологію безхребетних розгадували дзен коани, різко сплескуючи одну долонею. О, дотепність першокурсника!

З роками я став бачити у цього коана іншу розгадку. У плесканні сходяться дві руки, і звук - те, що відбувається в результаті їхнього з'єднання. Це метафора сприйняття, взаємодії між світом і розумом. Усе, що я чую, бачу і відчуваю, - це звук удару, що народжується на кордоні між мною і навколишньою реальністю, між двома долонями, між суб'єктом і об'єктом.

Світ завжди, з першої секунди нашого життя, поділений на дві частини, одна з яких спрямована всередину, а інша - назовні. Я і все інше. Ми і вони. Свої і чужі. Людина і тварини. Дослідник і зразок. Будь-яке таке розсічення світу навпіл - це ляскання двома руками. Наше життя - це звук, що народжується на межі між мною і не мною.

Але що, якщо суб'єкт - це частина об'єкта? Що, якщо я - це частина всього іншого, а дослідник - частина зразка, на який він дивиться? Що, якщо дві руки - це ілюзія? Як звучить плескіт, якщо рука всього одна?

Я починав свій шлях у біології з молекул і клітин (моя кандидатська, наприклад, про глікопротеїни - білки з вуглеводними мітками), але якимось чином опинився серед усього неохопленого і нескінченного. Зараз я вивчаю, як із молекулярних сигналів виникає в мозку пам'ять і як так склалося за мільйони років еволюції. Тут мимоволі доводиться думати в термінах, що сильно нагадують коани. Якщо я заміряю пам'ять через молекули, то де межа

між пам'яттю і рухом цих молекул? Як зрозуміти, де механізм мислення, а де саме мислення? А якщо це незрозуміло, то де межа між тілом і свідомістю, між моїм мозком і мною? Як зрозуміти, коли я думаю "назовні", а коли "всередину", і що, якщо різниці немає взагалі? Який, коротше кажучи, звук однієї долоні?

Книга про себе

Ця книжка - про витоки всього, що робить нас людьми.

Що таке людина? Залежить від того, у кого питати. Біолог, психолог, філософ, історик, художник - усі вони дадуть відповідь на це запитання по-різному. Одні шукатимуть відповідь на запитання всередині себе, інші - у навколишньому світі, треті - у глибинах минулого. Кожна галузь думки, наукова чи ні, заломлює людське життя призмою власних понять і категорій. Це плескання двома долонями: долоня людського життя сходиться з долонею наукового методу, або з долонею чуттєвого сприйняття, або з долонею історичної перспективи - і виникає звук.

І все ж біологів, психологів, філософів, істориків і художників об'єднує те, що всі вони люди. Усі вони чують звук, коли їхні власні долоні - долоні людини як суб'єкта - лягають на долоню людини як об'єкта, людини загалом, людини в принципі. Але насправді ці дві долоні єдині. Людина є людина, незалежно від того, суб'єкт вона чи об'єкт.

Завдання цієї книжки - поглянути на людину одночасно зсередини і з боку, з позицій минулого і з позицій сьогодення, з погляду біолога і з погляду філософа, з погляду виду *Homo sapiens* і з погляду інших видів: бактерій, рослин, медуз, птахів. Ця книжка - про все не людське, що передбачило і визначило все людське: від зародження життя до статевого розмноження, від походження тварин до соціальних інстинктів, від нейронних мереж до абстрактного мислення. Книжку можна вважати науково популярною з того погляду, що я буду використовувати наукові знання і сподіватися, що книжка буде популярною. Але це книга не про науку, а про природу. Не про людей, які вивчають життя, а про життя, що породжує людину. Замість історії життя від імені людей, це історія людей від імені життя.

Ця книга - літопис людини і її розуму. Повість про те, як з нізвідки і з нічого виник хтось, хто зумів озирнутися назад.

Життя як диво

Як не крути, те, що ми є, - це диво. Навіть три дива.

Диво перше: життя. Навколо нас незліченні кількості живих істот, великих і маленьких, видимих і невидимих, і ми - одні з них. Навіть найпримітивніша рослина або тварина за своєю складністю перевершує все, що коли-небудь уміла робити своїми руками людина. Їхню кількість і різноманітність просто неможливо охопити людським розумом. Життя на Землі - незбагненна, всюдисуща, кишача мільйонами ніг, сучків, колючок і зубів вакханалія, в якій ми існуємо і з якої ми походимо.

Цьому диву присвячена перша частина книги: "Звідки взялися всі". Усі живі тобто. Людину багато що робить людиною, але той факт, що вона - живий організм, мабуть, усе таки головний. У цій частині книги людей майже не буде, зате буде цей товариш, живий організм, і його історія як низка подій стародавнього світу. Ми розглянемо походження та еволюцію життя на Землі, а також становлення історичної траєкторії, яку через мільярди років увінчає людський вид. Найраніша історія життя задала тон усім подальшим подіям, що відбулися на планеті. Ми побачимо, що багато властивостей людини - від безпрецедентної складності її мозку до гендерних ролей - беруть свої витоки за мільярди років до появи навіть найпримітивніших тварин.

Диво друге: людський вид. Ми можемо робити речі, які не може робити ніхто. Людина як вид явно виділяється на тлі всього іншого, що вона бачить навколо. Ми полюємо зі списками, розводимо вогонь і заготовляємо їжу на зиму. Ми літаємо в космос, будуємо міста і підводні човни. Я багато бурчу на тему антропоцентризму, тобто переконання, що людина - пуп землі. Але нашому виду *Homo sapiens* усе таки варто віддати належне. Людина - це справді диво. Їй як виду серед інших видів присвячена друга частина книги: "Звідки взялися ми".

Ця частина книги найбільше нагадує літопис. Її поділено на чотири розділи, що відповідають чотирьом ерам: "докембрійській", палеозойській, мезозойській і кайнозойській. Мова в них піде про виникнення людини як виду. Прийнято вважати, що момент походження людини від мавпи зробив її "особливою", а до того в системі природи людина нічим не виділялася. Я постараюся переконати читача, що історія людської винятковості починається набагато раніше. Для цього мені доведеться розповісти про безліч інших видів, без яких розмова про винятковість втратила б будь-який сенс. Ми познайомимося з динозаврами, комахами, губками, навіть із водоростями і грибами. Тільки в такій перспективі стане зрозумілою виняткова доля нашого виду і його предків.

Нарешті, диво третє: людська свідомість. Серед усіх людей у кожного з нас є одна обрана, виняткова людина, яка принципово з них вирізняється. Вона називається "я". Вона дивиться на інших людей зі своїх очей і розмовляє внутрішнім голосом. Її думки, бажання та емоції доступні нам безпосередньо, а не через сприйняття слів або виразів облич. Ми можемо керувати своїм тілом зусиллям волі.

Третя частина книги присвячена цьому "диву точки зору", першій особі, свідомості, що розщеплює світ на себе і не себе. У ній піде мова про мозок, у хитросплетіннях якого захований наш внутрішній світ. Ми поговоримо про те, що в принципі являє собою мозок і в чому полягає його еволюційне завдання. Ми побачимо, що мозок має особливий статус у нашому організмі, надаючи нам часткову незалежність від власних генів. Наша свідомість - наслідок такої часткової свободи. З одного боку, це дає нам право на особистість, але з іншого боку, вічно отруює нам життя. У цій частині книжки ми заглибимося в деталі власної пам'яті, сприйняття, мотивації, мови і постараємося поєднати погляд на людину збоку з поглядом зсередини. Мозок - це історія всередині історії, життя всередині життя, диво всередині дива, і з усіх трьох "чудес" цієї книжки в ньому на сьогоднішній день залишається найбільше загадок.

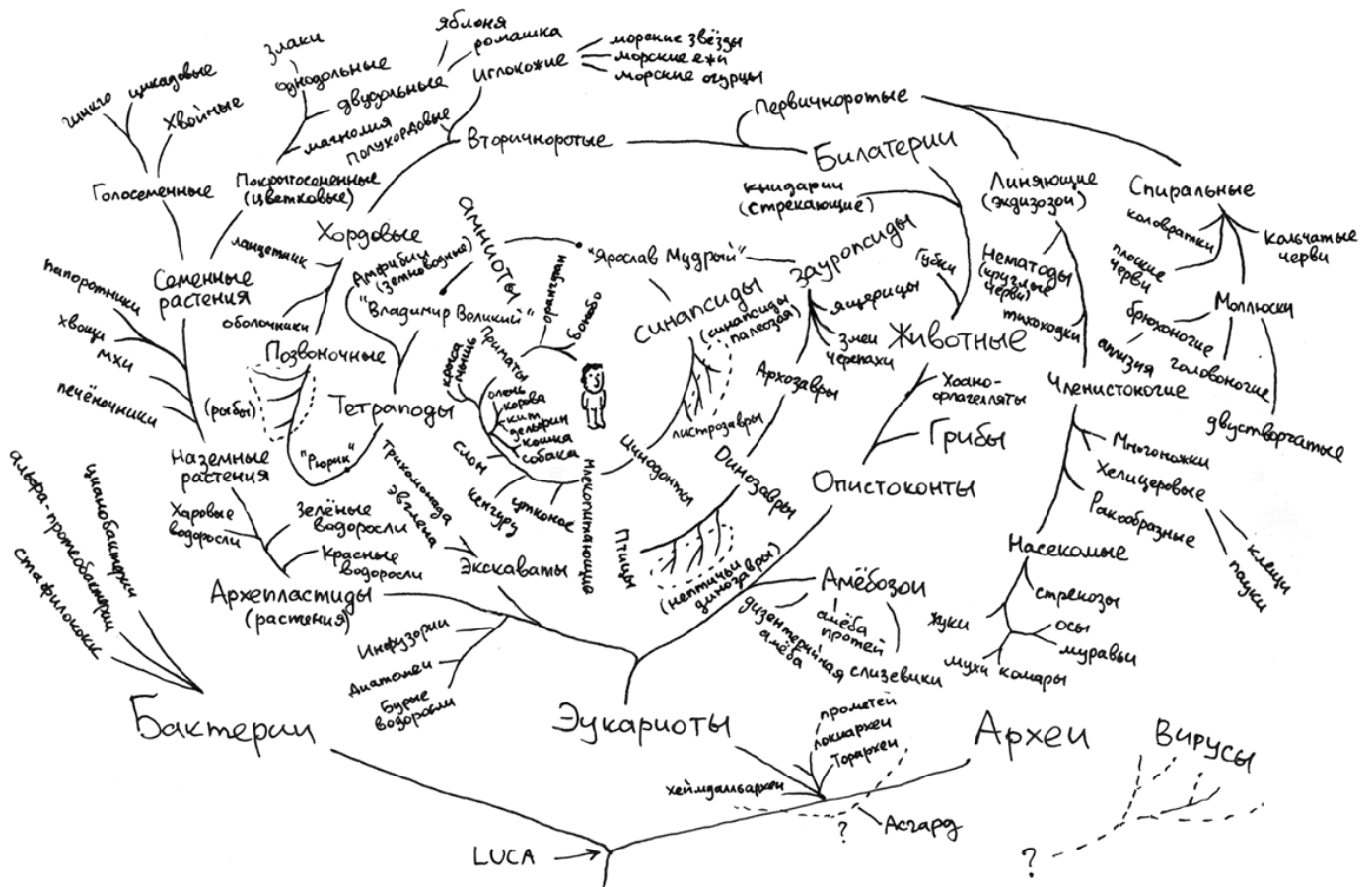
Що таке диво? Можна сказати, що це щось реальне, але при цьому незрозуміле. Прийнято вважати, що якщо диво пояснити - то воно перестає бути дивом. Але, з іншого боку, як показує історія, людина тільки й робить, що знаходить пояснення чудесам. Ми не любимо невирішених питань і так чи інакше пояснюємо існування себе та навколишнього світу. Звідки беруться блискавка і грім? Напевно, там нагорі сидить мужик зі спеціальним молотком, якого неможливо побачити. Куди йдуть мертві? Мабуть, під землю, до іншого мужика. (Ми взагалі любимо скрізь мужиків додавати.)

Мені здається, що чудесність дива полягає саме в його поясненні. Що грандіозніше пояснення - то чудесніше диво. І ось за такою шкалою чудесності ніщо не можна порівняти з картиною світу, вибудованою сучасним науковим знанням. Легенди і міфи Стародавньої Греції - це дитячі казки порівняно з історією еволюції фотосинтезу. Мужики зрозуміліші, ніж молекули, але я постараюся переконати дорогого читача, що молекули набагато грандіозніші. Можна навіть сказати, епічніші.



Частина I

Звідки взялися всі



1. На початку були літери

Усе відбувається ненавмисно.
Лев Толстой. Війна і мир

Світ, строго кажучи, складається з енергії.

Є бородатий анекдот про складність цього поняття. Запитання на іспиті з фізики: що таке енергія? Студент мучиться, пихкає, врешті-решт каже: "Вибачте, професоре, знав, але забув!" Професор встає й урочисто оголошує аудиторії: "Друзі, трагедія! Одна людина у світі знала, що таке енергія, але й та забула!"

Під час спроби визначити, що таке енергія, зазвичай приземлена й конкретна мова фізичної науки виляє з боку в бік і обростає майже езотеричними інтонаціями. Це міра причинно-наслідкового зв'язку. Розмінна валюта Всесвіту, що описує, що на що може перетворюватися, що куди може рухатися або чим ставати. Енергія - це таке незрозуміле і філософськи неподільне щось, що ніяк не виглядає і ні з чого не складається, не убуває і не виникає, але являється нам у різних формах - маси, тепла, руху, хвилі. Енергія перетікає з однієї форми в іншу: наприклад, теплом можна викликати рух. Щоб зробити щось, що не хоче робитися саме, потрібно вкласти енергію - штовхнути камінь у гору, наприклад. А якщо щось робиться самовільно, то енергія при цьому виділяється, як світло і жар при горінні. У тому, звідки і куди енергія перетікає, полягає, власне, послідовність усіх подій у світі. Ми називаємо напрямок цього перетікання часом.

Одна з головних форм існування енергії - це матерія, тобто енергія з масою. Відома нам матерія складається з атомів, крупинок енергії, спійманої у формі масивних грудок. Завдяки наявності маси атоми мають властивості, інтуїтивно зрозумілі нам, масивним істотам. Атоми, наприклад, відскакують один від одного - їх можна досить умовно порівняти з більярдними кулями.

Усі атоми мають схожу структуру. У центрі - важке ядро, що несе в собі майже всю масу атома. Ядро складається з щільно зліплених один з одним протонів і нейтронів, яких може бути від однієї штуки (у водню) до кількох сотень (в урану). У нейтронів є тільки маса, а у протонів, крім маси, є ще заряд - особлива властивість матерії, яка існує у двох варіантах, що притягують один одного. Ми називаємо ці варіанти позитивним і негативним зарядом: у протона за домовленістю плюс, а протилежний мінус - у ще однієї складової атома, електрона.

В основному атом складається з порожнечі. Ядро з протонів з нейтронами - центр тяжіння - займає незначну частину простору порівняно з діаметром атома. Поверхня ж атома складається з майже невагомої електронної хмари. У шкільних підручниках заведено писати, що електрон літає навколо ядра, але це відразу створює хибне уявлення, яке доводиться потім довго ламати, коли справа доходить до квантової механіки. Річ у тім, що якщо атом загалом ще так собі нагадує кульку, то електрон - узагалі щось інше, і як кульку його жодним чином не описати. Він і хвиля, і матерія. У нього є маса, але немає чіткого положення: ймовірність його існування ніби розмазана по простору, що оточує атом. Електрони мають заряд, протилежний протонному, завдяки чому електронна оболонка й оточує ядро, до якого її весь час тягне. Таких оболонок в атома може бути багато, вони шаруються і переплітаються навколо ядра багатомірною квантовою капустою, від якої студентам першокурсникам на лекціях з хімії або фізики зазвичай стає погано.

Розрізняються атоми кількістю протонів, нейтронів та електронів. Атоми з певною кількістю протонів називаються елементами. Елемент - це тип атома. У кожного елемента свої властивості. Найпростіший елемент - водень. У водню один протон і один електрон, а нейтронів зазвичай немає взагалі. У вуглецю, наприклад, 6 протонів і зазвичай 6 нейтронів, а в заліза - 26 протонів і 30 нейтронів. Що більше протонів із нейтронами - то важчий атом. Кількість електронів у нормі врівноважує кількість протонів, нейтралізуючи загальний заряд атома. Але в махінаціях з електронами, як ми побачимо, полягає все атомно-молекулярне життя.

Пантеон елементів

Атомам весь час не сидиться зі своїм набором електронів. У цій нервозності - причина всіх хімічних реакцій. Спокійна тільки особлива група атомів, що мають милозвучну назву благородних газів: гелій, неон, аргон, криптон, ксенон, радон. У пантеоні хімічних елементів вони як шість бодхісаттв, що підтримують баланс своїх електронів у повній гармонії з протонами, позбавлені бажань і прагнень, які не вступають у жодні реакції і ведуть самотнє життя у формі газу.

Решта атомів, так чи інакше, чогось хочуть від інших атомів, завдяки чому й існують речовини, предмети та організми. Деякі атоми не задоволені своєю "природною" кількістю електронів і хочуть відірвати або хоча б відтягнути їх від інших атомів. Іншим атомам забагато належного набору, і вони шукають охочого прийняти надлишок. У деяких начебто все гаразд із кількістю електронів, але в них нестабільна конфігурація, яку можна стабілізувати, тільки вступивши в зв'язок з іншим атомом зі схожою проблемою.

Хімічний зв'язок виникає, коли електронні хмари двох атомів зливаються в єдину хмару. Отримана спільна електронна оболонка розподіляється між ядрами партнерами. Буває мирне злиття, коли обидва атоми отримують

порівну комунальної хмари. Бувають майже рейдерські захоплення, коли один атом після злиття перетягує хмару на себе, і перед атомом-партнером постає вибір: або задовольнитися краєчком хмари, прилипаючи до загарбника, або відколотися і залишитися взагалі без електрона. Якщо хмара розтягнута на два ядра, то тепер два атоми існують як єдине ціле, і така стабільна зв'язка атомів називається молекулою. Молекули допомагають атомам заспокоїти свою нервозність.

Живий світ складається не з окремих атомів, а саме з молекул - конгломератів атомів, пов'язаних один з одним спільними електронами. Молекули живої природи - органічні молекули - вирізняються своїми величезними розмірами. Вони складаються не з двох-трьох атомів, а з десятків, сотень, навіть тисяч атомів, що складають свої електронні хмари в складні тривимірні структури. Кількість можливих молекул нескінченна, а кількість реально існуючих молекул визначається, скоріше, нашими здібностями їх знаходити або створювати. Але атомів набагато менше, ніж молекул, а ключові атоми природи, власне хімічний каркас життя, і зовсім можна перерахувати на пальцях.

Головний із них - безперечно, вуглець. Якщо говорити абстрактно, то з вуглецю складається все живе, а інші атоми - так, поналіпліплі. Чому вуглець? Він має унікальні серед елементів здібності. Атом вуглецю в молекулі може бути пов'язаний з двома, трьома і навіть чотирма іншими атомами, зокрема, і це особливо важливо, з іншими атомами вуглецю. У підсумку утворюються розгалужені ланцюги і багатогранні кільця, причому їхні розміри і будова майже нічим не обмежені. Ця властивість вуглецю настільки розширює можливості й розмаїття молекул, що складаються з нього, що їх вивчення навіть має особливу назву - "органічна хімія".

ДО РЕЧІ

Є такий жарт: що таке органічна молекула? Це будь-яка молекула, цікава хімікам органікам.

Межу між органічною та неорганічною молекулою справді складно провести. На перший погляд, це просто: переважна більшість органічних сполук одночасно складається з вуглецю і виробляється живими організмами - звідси "органіка" в їхній назві. Але є спірна територія, наприклад вуглекислий газ - всюдисуща і дуже проста форма існування вуглецю, яка буває на інших планетах і без жодного життя. Його навряд чи можна віднести до органічних молекул, а ось сечовину - молекулу не набагато складнішу, але набагато рідкіснішу за межами біосфери - можливо. Саме синтез сечовини з ціанату амонію, здійснений німецьким хіміком Фрідріхом Велером, вважається першим випадком штучного виробництва органічної сполуки з неорганічної. Своїм досягненням Велер допоміг спростувати концепцію віталізму, згідно з якою в молекулах живого організму міститься особлива життєва сила, що принципово відрізняє її від "неживих" речовин.

Вуглець - фігура конструктивна, продуктивна, господарська. Він готовий співпрацювати з іншими атомами на розумних умовах. Він не намагається відірвати в них кожен побачений електрон, а спокійно об'єднує свої електронні хмари з чужими у дедалі більші структури. Вуглець готовий співпрацювати з іншими вуглецькими, до чотирьох на атом - виходять розгалужені ланцюжки, де всі на рівних правах. Вуглець поводить себе чемно навіть у відносинах з воднем, лише злегка відтягуючи на себе його сміховинний єдиний електрон. Саме завдяки таким діловим якостям вуглецю жива природа існує у відомому нам вигляді. Через свою зговорливість і товарицькість вуглець ідеально підходить для складання в гігантські мегамолекули, такі як білки або ДНК.



Водень - найпоширеніший елемент у Всесвіті¹.

Матерія загалом, можна сказати, складається з водню і його близького родича, благородного бодхісаттви гелію, із вкрапленнями інших, важчих елементів. Але серед цих великих елементів водень - найдрібніша сошка. Він як нещасний кріпак-селянин, щільно приліплений до пана своїм електроном, що курсує у складі загальної молекули. У нього зовсім немає сил, щоб утримати і цей свій єдиний негативний заряд, тому стосунки з іншими атомами у нього майже завжди підлегли. Але ні від кого на планеті Земля водень не страждає стільки, скільки від кисню.

Кисень - елемент деструктивний, нещадний, лютий. Він розірве на частини все, що йому підсунуть. За силою, з якою він тягне на себе електрони, йому немає рівних, за винятком екзотичного фтору². Вклинюючись у чужі молекули, кисень розчленовує їх на окремі атоми, присмоктуючись до їхніх електронних хмар і утворюючи прості сполуки. Якщо попадеться водень - вийде вода. Якщо попадеться вуглець - вийде вуглекислий газ. Молекула жертви, скажімо, целюлоза в папері та деревині, може містити кілька тисяч складно зістикованих вуглеців, але кисень готовий перетворити всю цю складність на прості, дрібні, неорганічні молекули. Частина енергії, що міститься в електронних хмарах вуглеводневого каркаса целюлози, при цьому вивільняється у формі світла і тепла. Це називається горінням.



Звісно, така суто деструктивна роль кисню - велике спрощення. Кисень не тільки руйнує молекули з вуглецю і водню, а й входить до їхнього складу. Проте з планетарного погляду можна дивитися на такі кисневмісні молекули як на паливо в поступовому процесі згорання. Вуглекислий газ і вода - кінцеві продукти горіння вуглеводневої молекули, а всі інші форми існування в ній кисню - проміжні продукти.

На перший погляд, вуглець і кисень виглядають ворогами: один будує, інший руйнує. Вуглець відрізняється тим, що з нього можна створювати надскладні інженерні конструкції. Кисень же здатний будь-які конструкції в кінцевому підсумку перетворити на найпростіші молекули.

Насправді навіть у горінні є очевидна користь. У хімічних зв'язках, що скують складну молекулу, міститься величезна кількість енергії, яку можна вивільнити, якщо цю складну молекулу розщепити на прості. Горіння палива, наприклад, несе ракету в космос зі швидкістю, небаченою в дикій природі. Це теж кисень, що накидається на вуглець із воднем, і енергія, виділена під час такої атаки, перетворюється на прискорення. Так само і кисень у живому організмі: його "електронна жадібність" використовується природою для вивільнення енергії, яку можна потім використовувати. Ми вдихаємо кисень, щоб спалити з'їдений обід і пустити його енергію на конструктивні справи: наприклад, обмірковування вечері.

У дихотомії вуглецю і кисню є щось космічно значуще для життя на Землі. У кисню справді в характері руйнувати й відбирати, але він уміє це робити так ефективно й нещадно, що з чинимого ним тотального знищення народжується нове й неможливе. Кисень - не просто вандал природи, він щось на кшталт хімічного Шиви - несе оновлення через руйнування. (Для вуглецю тоді запрошується образ чотирирукого Вішну.)

Кисень і вуглець як елементи втілюють у собі властивості, які після виникнення життя ляжуть в основу метаболізму, або обміну речовин. Метаболізм має два боки. Анаболізм - будівництво великих молекул із затратою енергії, тобто майже завжди будівництво вуглецевих ланцюжків. Катаболізм - розщеплення великих молекул із

виділенням енергії, тобто, в сучасній природі, майже завжди спалювання вуглецевої їжі киснем. Разом анаболізм і катаболізм замикаються в енергетичний цикл, здатний пристосовуватися до будь-яких потреб живого організму, і в цьому циклі полягає одна з найголовніших, найчудовіших властивостей життя. Будь-який живий організм має складну систему "обміну валюти", яка пов'язує анаболізм із катаболізмом. Ця чудова система дає нам змогу запитати до рота майже все, що завгодно, і якимось чином без жодних зусиль перетворювати заховану там хімічну енергію на думки та рухи.

Можна сказати, що метаболізм - це половина того, що означає бути живим. Але цикл енергії, що в принципі підходить під визначення обміну речовин, зустрічається в багатьох системах (наприклад, будь-який природний кругообіг). У поняття живого організму, принаймні у відомих нам земних варіантах, входить, крім метаболізму, ще один цикл: інформаційний. Живі організми мають спадковість. Але, перед тим як я вимовлю слово на букву "г", пропоную відволіктися на легкий перегляд природи реальності.

Світ як рецепт пиріжка

У побутовому сенсі ми використовуємо слово "інформація" для позначення значущого і зазвичай переданого знання. Інформація передається, коли дві людини розмовляють. Під час читання інформація перетворюється з письмової форми в уявну. Інформація копіюється, якщо переслати файл з одного комп'ютера на інший. Може здатися, що саме поняття інформації виникає в той момент, коли щось значуще кудись передається. Тобто з побутового погляду інформація - це "міра спілкування", слово, що позначає передачу якихось важливих параметрів з однієї системи в іншу.

З більш формального, фізичного погляду інформація зовсім необов'язково має кудись копіюватися або щось означати, щоб бути інформацією. Інформація - це не передача параметрів, це самі параметри. Абстрактний опис системи, що відрізняє її від інших систем. Наприклад, у будинку міститься інформація про взаємне розташування цеглин, і ця інформація існує незалежно від самих цеглин, від вашого знання про ці цеглини і взагалі від матеріального світу. Вона може бути ніде не записана і нікому не відома, але вона те, що відрізняє будинок від купи цегли. Інформація - не стільки "міра спілкування", скільки "міра порядку", індекс властивостей системи, що виділяє її з хаосу. Вона "міститься" в матерії, але існує незалежно. Наприклад, роман "Війна і мир" - це інформація, абстрактний опис того, як мають бути розташовані літери на аркуші, щоб відобразити задум автора. Ця інформація може міститися в паперовій книжці або в пам'яті комп'ютера, але ці матеріальні носії - не те саме, що великий роман російського класика.

З цього погляду можна ще раз поглянути на Всесвіт у цілому. З чого він складається? Припустімо, що весь Всесвіт узяли, стерли в порошок і розпорошили до гомогенної пари. Сумарна кількість енергії залишиться точно такою самою, навіть кількість атомів і частинок навряд чи зміниться (залежить від того, як прати в порошок). Що зникне при такому стиранні - так це інформація. Розподіл атомів та енергії між річками та морями, материками, планетами та галактиками, розподіл, завдяки якому вони були собою. Чи не буде логічним сказати, що з інформації Всесвіт і складається? Енергія - це начинка Всесвіту, а інформація - рецепт вселенського пиріжка. Ось вам і легкий перегляд реальності.

Що робить життя живим? Здатність відтворювати інформацію. Точніше, здатність інформації відтворювати саму себе. Але все по порядку.



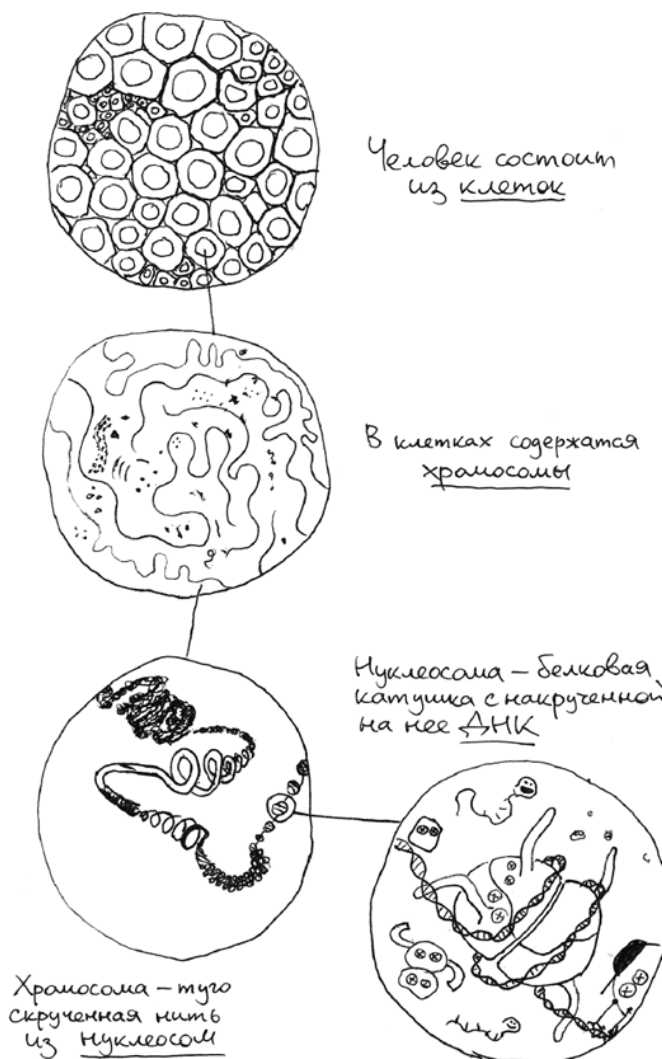
Л. Н. Толстой
пересматривает свой
взгляд на "Войну и мир"

Молекула всього

Принциповими для розуміння життя є два типи молекул: білки і нуклеїнові кислоти.

Це величезні молекули, якщо дивитися на них з погляду неживої природи. Припустимо, ви атом вуглецю - як ми пам'ятаємо, чотирирукий міцний господарник, з якого здебільшого збудовані молекули живого організму.

Припустимо, ваш діаметр відповідає людському зросту. У таких координатах середній білок буде розміром десь зі Спаську вежу або статую Свободи, а рибосома - машина для виготовлення білків - приблизно з футбольний стадіон. Матрична РНК - програма, яка в цю машину вставляється, - виявиться стрічкою завширшки 20 метрів, а завдовжки десятки кілометрів. ДНК - дві схожі стрічки, закручені одна навколо одної, але стрічки настільки довгі, що це, скоріше, дороги, що ведуть із нізвідки в нікуди. У бактерій ДНК замкнута у величезне кільце, окружністю в половину, а іноді й увесь земний екватор. У людини ДНК не кільцева, тому початок і кінець у неї все таки є, зате довжина людської ДНК у багато разів більша за бактеріальну. У наших уявних координатах відстань між двома кінцями ДНК у людській хромосомі - порядку відстані від Землі до Місяця. Вона і в звичайних, реальних то координатах вражає. Кожна хромосома - це одна молекула ДНК, намотана на щільно упаковані котушки з білків гістонів, а всього хромосом у кожній клітині 46 штук. Якщо хромосоми розмотати, то в кожній клітині людини виявиться аж два метри ДНКЗ.

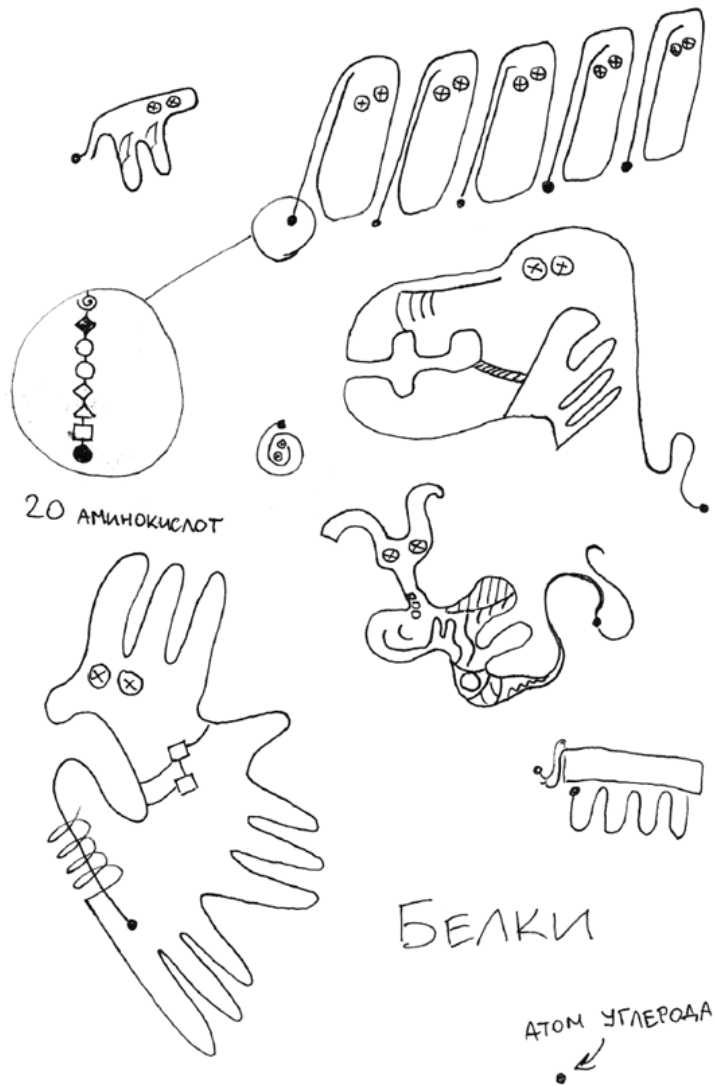


Білки - абсолютно безглузда назва для чогось настільки важливого й величного. Що таке білок, знає кожна дитина: білок - це біла, на мою думку, менш смачна частина яйця. Який зв'язок між яєчним білком, прозорим желе, що біліє під час нагрівання, і білками, з яких складається наше тіло, зрозуміти дуже складно. Яєчна аналогія допомагає засвоїти, що білки дуже поживні, але заважає зрозуміти, що білок зовсім не гомогенна маса однієї і тієї ж речовини.

Ту саму, загалом, ідею однорідності білкової речовини висловлює синонім "білка" - "протеїн". Запропонував його 1838 р. шведський учений Йонс Якоб Берцеліус у листі до голландського хіміка на ім'я Герріт Ян Мульдер4. Мульдер вивчав хімічний склад різних біологічних субстанцій (шовку, яєць, плазми крові) і дійшов переконання, що в основі всього живого лежить одна й та сама сутність, "першоречовина". Мульдер фантазував, що цю першоречовину виробляти вміють тільки рослини і в цьому полягає їхня поживна цінність для тварин. Берцеліус -

видатний шведський хімік, з яким Мульдер багато років листувався, - запропонував так цю першоречовину й назвати: протеїн, від слова πρῶτεος, тобто "первинний" грецькою.

Усе виявилось дещо інакше, ніж припускав Мульдер. "Первовещества" як такого насправді немає. Усі складні молекули, з яких ми складаємося, виробляють наші власні клітини з найпростіших деталей, причому організм чудово вміє виготовляти одні деталі з інших. Деякі деталі повинні обов'язково надходити з їжею, як, наприклад, половина амінокислот - з них складаються білки. Але загалом живий організм обходиться тим, що має. Як правило, він може зжертви що завгодно, розібрати практично на атоми і зібрати в будь-які потрібні йому молекули. Тому ідея про те, що рослини виробляють якийсь єдиний білок, з якого складаються тварини, неправильна. Проте Мульдер дійсно намацав дещо важливе і спільне між досліджуваними ним субстанціями. Просто вони виявилися не одним і тим самим білком, а різними білками. Білок - не одна якась молекула, а тип складної хімічної сполуки, що являє собою різноманітні ланцюги з однакового набору деталей, намистин, амінокислот. Тобто хімічно білки дуже схожі один на одного, що і наштовхнуло хіміка Мульдера на думку про "першоречовину". Але головне в білку те, що різні послідовності намистин дають змогу створювати абсолютно різні молекули з одного й того самого набору компонентів.



Ці різноманітні білки правлять живим організмом. Як робітники різних професій, вони роблять усе, що тільки можна в ньому робити. Ми перетравлюємо їжу за допомогою білків, дихаємо киснем за допомогою білків, рухаємося за допомогою білків. Білки копіюють ДНК, синтезують клітинну мембрану, а під час формування довгострокової пам'яті білки в гіпокампі відправляють за допомогою білків білкові сигнали іншим білкам у кору. Загалом у людини близько 20 000 різних білків⁵, але кожна клітина вирішує, коли і в яких кількостях виробляти з них той чи інший білок.

Загалом, як "першоречовина" термін "протеїн" себе не виправдав: білок - це не одна річ, а величезна кількість схожих речей. Я пропоную просте вирішення питання: можна переосмислити етимологію слова як відсилання до грецького бога Протея, морського божества, здатного набувати різних форм. Тоді все стає на свої місця. Так чи інакше, "протеїн" - слово, звісно, більш елегантне, ніж "білок", але, на жаль, у російській мові так білки називають тільки продавці біодобавок. Тож доведеться терпіти яечну термінологію. Білки так білки.

Нуклеїнові кислоти - назва ще гірша. По-перше, довга, складна, підручником хімії віє за кілометр. По-друге, той факт, що нуклеїнові кислоти саме кислоти, звісно, багато що визначає в їхніх хімічних властивостях, але для загального розуміння їхнього сенсу абсолютно не принциповий. Та й "нуклеїновість" цих кислот, загалом, вторинна. Nucleus означає "ядро", відділ клітини, в якому у нас, еукаріотів, нуклеїнові кислоти зберігаються. У бактерій - найчисленнішої форми життя на Землі - ядер немає, а кислоти все одно нуклеїнові.

Що такого важливого в нуклеїнових кислотах - ДНК і РНК? Самі по собі, тобто без білків, вони майже безпорадні. За рідкісними (хоча й важливими) винятками, про які мова попереду, нуклеїнова кислота тихо лежить, а білки з нею щось роблять. Сила нуклеїнових кислот не в працездатності або багатofункціональності, а в тому, що вони несуть інформацію про те, якими потрібно бути білкам, щоб виконувати потрібні функції. Нуклеїнові кислоти кодують білки. Білки насправді - це не робітники, а роботи. Вони виготовляються за спеціальними програмами, записаними в нуклеїнових кислотах.

Фізично і білки, і нуклеїнові кислоти являють собою ланцюги, складені з послідовностей повторюваних деталей, блоків, намистин. Білки складаються з блоків, званих амінокислотами, нуклеїнові кислоти - з блоків, званих нуклеотидами.

У білках 20 можливих складових частин, причому всі вони дуже різні з хімічної точки зору. Амінокислоти - це як набір "Юний хімік". Усі їх можна комбінувати в майже нескінченній кількості варіантів. Завдяки різним послідовностям амінокислот різні білки набувають різних властивостей, згинаються в складні тривимірні форми, вкриті всілякими хімічними групами, що працюють як деталі машини. Ця велика кількість компонентів і комбінацій дає білкам таку нескінченну різноманітність функцій. В кінцевому підсумку все зводиться до найпростішого рецепту: такі то амінокислоти в такій то послідовності. Інформація визначає функцію. Послідовність білка вирішує, що цей білок вміє робити.

Чотирибуквений роман

Що стосується нуклеїнових кислот, то вони бувають двох типів: рибонуклеїнова (РНК) і дезоксирибонуклеїнова (ДНК). За молекулярним складом вони дуже схожі одна на одну, але їхні ролі та значення абсолютно різні. Про РНК розмова попереду, поки ж для простоти можна обмежити нуклеїнові кислоти знаменитою подвійною спіраллю ДНК.

У ДНК всього чотири складові частини, які не так сильно розрізняються за хімічною сутністю. Але ці складові частини, нуклеотиди, мають ключову властивість, що має назву комплементарності. Комплементарність - це здатність одного ланцюга нуклеотидів зв'язуватися з іншим комплементарним ланцюгом нуклеотидів, якщо їхні послідовності співвідносяться як негатив і позитив. Інакше кажучи, це здатність одного ланцюга задавати інший ланцюг, і навпаки.

Завдяки цій властивості нуклеотидні ланцюги ідеально підходять для відтворення особливого типу інформації, яку називають спадковою інформацією, генетичною інформацією або просто генами. (Ось воно, слово на літеру Г!) Усі гени організму в сукупності називаються геномом. Ген - це фрагмент генома, як глава - фрагмент роману. Геном записаний у ДНК, як роман записаний у книзі.

Кожен ланцюг ДНК складається з чотирьох можливих нуклеотидів: аденін, гуанін, цитозин і тимін. Їх іноді навіть називають для простоти "буквами": А, Г, Ц і Т. Ці літери пов'язані одна з одною послідовно, як намистини: наприклад, Т Ц Ц Ц Г Г А. Завдяки хімічній структурі чотирьох нуклеотидів такий ланцюг може зв'язатися з іншим, паралельним, ланцюгом, причому до А підходить тільки Т, а до Г - тільки Ц, і навпаки. Тобто парний ланцюг у нашому прикладі: А Г Г Г Г Ц Ц Т. Два ці ланцюги, зустрівшись, обв'язуються один навколо одного й утворюють подвійну спіраль, а два інші ланцюги з випадковими, не підходящими один до одного послідовностями її не утворюють. Таку "парність" двох ланцюгів і називають комплементарністю, а самі парні послідовності - комплементарними.

Чим так принципова комплементарність? Завдяки тому, що послідовність одного ланцюга "знає" послідовність іншого ланцюга, ДНК можна копіювати. Маючи два ланцюги, достатньо знати послідовність одного з ланцюгів, щоб відновити всю вихідну молекулу. Це відбувається під час поділу будь-якої клітини. ДНК розмотується з подвійної спіралі на дві окремі нитки, і відсутня нитка добудовується спеціальними білковими роботами за принципом комплементарності. У підсумку утворюються дві однакові подвійні спіралі, які розподіляються між дочірніми клітинами.

Тобто нуклеїнові кислоти, завдяки своїй хімічній структурі, дають змогу копіювати інформацію, що міститься в їхній послідовності. У якомусь сенсі комплементарні ланцюги ДНК - це втілення самої ідеї життя. Подвоєння, копіювання, розмноження, поділ - все це синоніми, коли йдеться про ДНК. (Вдумайтеся: тільки в біології множити і ділити - це одне й те саме.) Навіть виробництво Єви з ребра Адама слідує тому ж самому принципу, що й копіювання послідовності ДНК: маючи частину початкової сировини, віднови те, чого бракує.

Але найголовніше в тому, що ця сама генетична інформація, послідовність нуклеотидів, так добре пристосована до копіювання, має прихований сенс, який у ній можна прочитати, якщо знати шифр. Послідовність нуклеотидів -

не просто молекулярне намисто. Це код. Інформація в ДНК означає послідовність білка, а разом з нею - те, що білок робить: дихання, рух, харчування, і всі інші функції живого організму. За допомогою цієї своєї кодувальної властивості бездіяльна ДНК, що тихо зберігає в собі мудрість поколінь, маніпулює навколишнім світом, витягаючи з себе інформацію про полчища білкових роботів.

Роботи кодуються чотирибуквеним кодом, у якому кожній амінокислоті відповідає "слово" з трьох букв: АТТ - ізолейцин, ГЦЦ - цистеїн і так далі. Загалом можливі 64 таких слова, і вони розподілені між 20 амінокислотами та спеціальними позначеннями "кінець білка": ТАА, ТАГ і ТГА. Якщо частину послідовності ДНК прочитати зі спеціальним словником, то вийде послідовність білка.

ДО РЕЧІ

Словник перекладу з нуклеотидного на амінокислотний називається генетичним кодом. Генетичний код - це не те саме, що генетична інформація. Генетична інформація - це все, що записано в ДНК. Генетичний код - це таблиця з 64 трибуквених комбінацій нуклеотидів, або кодонів, і відповідних амінокислот, які вони кодують. "Таблиця кодонів" висить над столом у багатьох біологів на кшталт таблиці Менделєєва в хіміків або, напевно, карти метро в працівників метрополітену - потрібна часто, теоретично можна й запам'ятати, але навіщо?

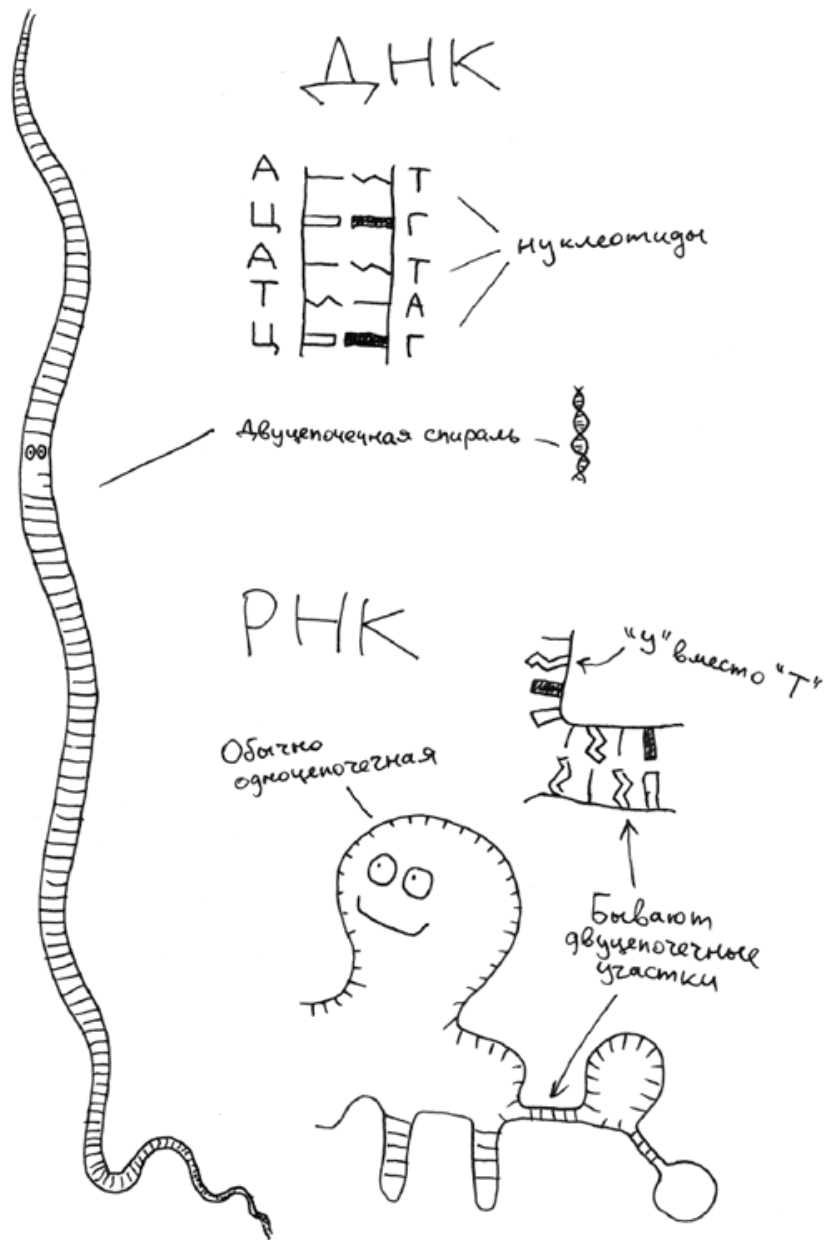
У живій клітині є спеціальна машина, відповідальна за "переклад зі словником". Цей величезний молекулярний комплекс під назвою рибосома - точка, в якій виробляються білки і в якій нуклеїнові кислоти повідомляють їм свою генетичну волю. Тут принципово стає друга з кислот, рибонуклеїнова, вона ж РНК, родичка всюдисущої подвійної спіралі. Пора скласти сімейний портрет.

У центрі догми

ДНК сувора, спокійна, схильна до стабільності. Її роль - нести своє знання з покоління в покоління з максимальною точністю. Вона наче жриця, що живе під тягарем вічності: у ній містяться гени, які обчислюють час епохами. ДНК - це зазвичай гігантський ланцюг із мільйонів нуклеотидів, і різні білки записані в різних ділянках цього ланцюга. Геном, у принципі, можна називати будь-яку ділянку ДНК. За Річардом Докінзом, наприклад, ген - "одинаць, що продовжує існувати в ряду численних послідовних індивідуальних тіл "6. Але зазвичай як таку одиницю вибирають ділянку ДНК, що позначає один білок.

РНК куди менш стабільна, ніж ДНК, - постійний головний біль для біохіміків, які намагаються її досліджувати. Вона метушлива і швидкоплинна, але в якомусь сенсі набагато талановитіша, ніж її статна родичка ДНК. ДНК не вміє робити нічого і тільки урочисто зберігає спокій генів, що містяться в ній. РНК не зрівняється з білком у плані талантів, але в принципі вміє робити безліч речей, іноді навіть вступаючи в принципово важливі хімічні реакції. Її життя коротке, а за розмірами вона рідко перевищує тисячу іншу нуклеотидів (хоча і за такої довжини РНК більша за більшість білків).

РНК - це копія однієї з ділянок ДНК. Вона ніби роздруківка одного з тисяч негативів, що зберігаються в архіві. Зробити таку роздруківку можна, звісно, завдяки комплементарності. На один із ланцюгів ДНК сідає спеціальний білок, званий РНК-полімеразою, і збирає комплементарний йому ланцюг, який тільки складається зі злегка відмінних нуклеотидів. У реальному часі РНК полімераза швидше летить уздовж ланцюга ДНК, а зростаюча копія - ланцюг РНК - зміїться за нею хвостом. Весь процес "роздруківки" називається транскрипцією. Транскрипція - це виготовлення РНК на базі послідовності ДНК.



Нуклеотиди в РНК називаються рибонуклеотидами, а в ДНК - дезоксирибонуклеотидами, в останніх на один кисень менше, звідси "дезокси". Крім цієї відмінності, є ще одна: в РНК замість тиміну (Т) використовується урацил (У). Нічого важливого для розуміння при цьому не змінюється. Це приблизно як відмінність українського алфавіту від російського - не дуже значні, історично сформовані відмінності в буквах.

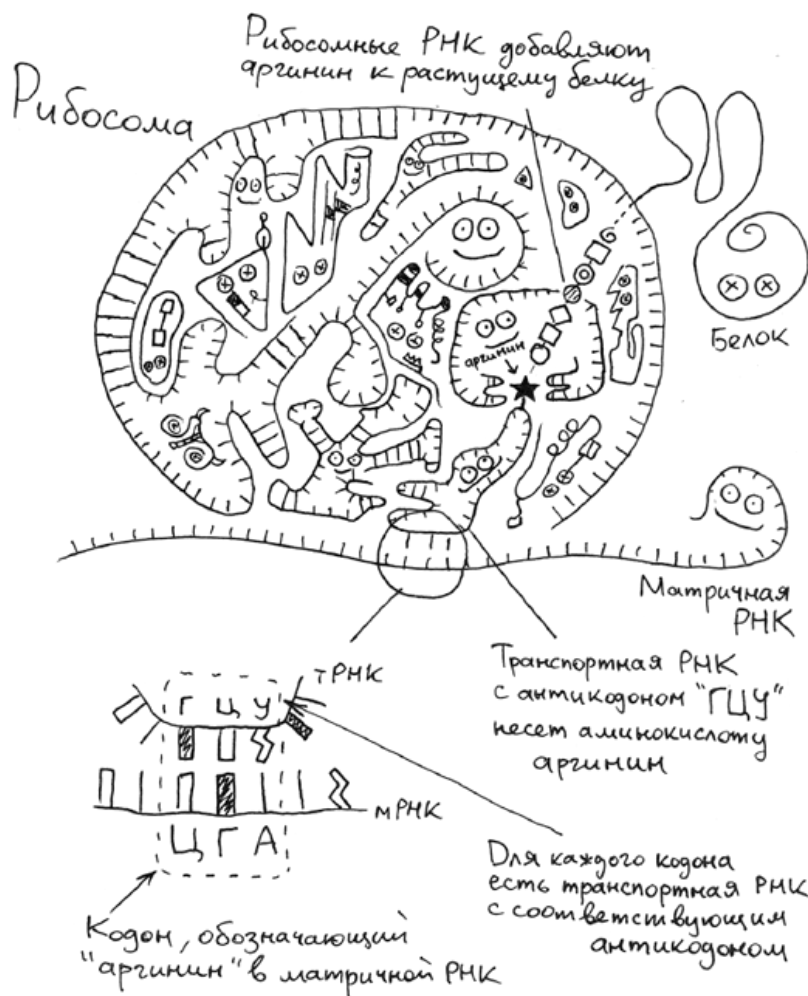
Ланцюг РНК як такий за хімічною структурою майже ідентичний ДНК, але через невеликі відмінності в нуклеотидах поводить ся інакше. РНК не схильна до довгих ланцюгів і подвійних спіралей, хоча це й можливо: дволанцюгова РНК є, наприклад, у деяких вірусів. Замість подвійних спіралей, у яких один до одного прилипають цілі комплементарні ланцюги, поодинокий ланцюг РНК живе сам по собі, але любить згинатися в складні тривимірні структури - зовсім як білок. Це відбувається завдяки комплементарному "злипання" різних ділянок одного й того самого ланцюга РНК, що згинає молекулу в тому чи іншому напрямку. У сукупності з більшою, ніж у ДНК, реакційною здатністю все це ставить РНК в якомусь сенсі посередині між двома головними молекулами природи. За своєю сутністю РНК - майже ДНК. Вона складається з нуклеотидів і може транскрибуватися ("роздруковуватися") з одного з ланцюгів подвійної спіралі. Але за своєю схильністю до складних тривимірних форм і готовністю вступати в хімічні реакції РНК - майже білок.

З транскрипції починається шлях гена - інформації, записаної в ДНК, - у матеріальний світ. Тому одне з основних завдань клітини полягає в регуляції транскрипції. Клітина населена арміями білків, званих транскрипційними факторами, які займаються винятково тим, що вмикають і вимикають транскрипцію тих чи інших ділянок ДНК

залежно від усіляких сигналів, які вони отримують від інших білків або з навколишнього середовища. Говорячи, що клітина "вмикає" якийсь ген, біологи здебільшого мають на увазі вмкнення транскрипції цього гена.

Ген, скопійований у свіжий ланцюжок РНК, раптово набуває мобільної форми. У такому вигляді він може подорожувати клітиною і навіть між клітинами, взаємодіяти з білками, а іноді складатися в "білкоподібні" тривимірні машини. Але особливим статусом користуються РНК, які самі ні в що складне не складаються і нічого цікавого не роблять, а лише смиренно несуть у собі генетичне послання, на основі якого буде виготовлено білок. В англійській мові їх так і називають: messenger RNAs, "РНК посланці". У російській мові абревіатура мРНК зазвичай розшифровується як "матричні", що відображає їхню суть (ці РНК слугують матрицею для виготовлення білків), але трохи позбавляє душевності.

Куди несуть своє послання РНК посланці? На рибосому. Це, нагадаю, величезна молекулярна машина, можна сказати станція, на якій виробляють білки, де нуклеотидна мова перекладається на амінокислотну. Вона вмє брати "генетичне послання", матричну РНК, і, пропускаючи через себе кроками в три нуклеотиди, паралельно збирати відповідний білок, намистина за намистиною. Залежно від того, яку матричну РНК вставити в рибосому, вона може виробити будь-який білок. Рибосому можна вважати найдавнішим комп'ютером, що працює за алгоритмом генетичного коду.



РНК полімераза (білок, який "роздруковує" гени в РНК) і рибосома (машина, що "переводить" РНК у білок) у сукупності роблять принципово важливу річ: вони надають інформації форму. Ген - абстрактна ідея, записана в послідовності нуклеотидів, - ніяк не впливає на світ доти, доки не набуде фізичного тіла, окремого від нескінченного рулону ДНК. Транскрипція дає йому матеріальне життя у формі РНК; трансляція в білок дає йому здатність керувати зовнішнім світом. Саме властивостями білків визначаються властивості живого організму. Білки вирішують, як працює травлення. Білки вирішують, якої форми ніс. Білки вирішують, з якою швидкістю рухається мозком нервовий імпульс.

Цей процес перетворення інформації на функцію в біології називається Центральною догмою. Центральна догма - щось на кшталт біологічного закону, універсальний принцип роботи будь-якого відомого нам живого організму. Земля обертається навколо Сонця, двічі два - чотири, білок зчитується з гена, а ген з білка - ні.

ДО РЕЧІ

Зазвичай Центральну догму малюють у "потрійному" вигляді: ДНК→РНК→білок. Мається на увазі, що в живих організмах інформація завжди рухається в цьому напрямку, а у зворотному напрямку не рухається. Сформульована в такий спосіб у 1960-ті рр. Центральна догма, втім, швидко похитнулася, коли було відкрито ретровіруси. Ті вміють виготовляти ДНК на базі РНК. Так чинить, наприклад, вірус імунodefіциту людини. Його геном записаний у формі РНК, але під час потрапляння в людську клітину він виготовляє свою ДНК-версію і вбудовується в геном господаря. Процес виробництва ДНК на матриці РНК називається зворотною транскрипцією, а "ретро" в назві ретровірусів з тієї ж причини означає "назад". Тобто ретровіруси - віруси перевертні.

Надалі знайшлися й інші приклади синтезу ДНК з РНК, тож репутація Центральної догми як аксіоми була зіпсована. Та все ж якщо схему перемалювати в "подвійному" вигляді, то її справді можна вважати непохитним законом живого: нуклеїнові кислоти→білки.

Або ще абстрактніше: інформація→функція.

Останній універсальний

Завдання цієї книги - уявити собі історію живого у вигляді послідовності реальних подій, миттєвостей минулого, ключових точок у часі, що визначили наше сьогоденне життя як розумних істот. Першою і головною з таких подій має стати, безсумнівно, момент виникнення життя на Землі. Проблема в тому, що ми рішуче нічого про нього не знаємо. Не знаємо, що сталося, не знаємо - де, не знаємо - коли, не знаємо навіть, що саме походженням життя потрібно вважати.

Наприклад, ми не знаємо, чи було виникнення життя одиначною подією. Цілком імовірно, що життя зароджувалося багаторазово навіть на нашій планеті, не кажучи вже про інші потенційно можливі світи. Але скільки б разів це не відбувалося, можна з достатньою часткою впевненості стверджувати, що все нині існуюче життя на Землі бере свій початок від одного єдиного предка. Свідчить про це простий факт: усе сучасне життя, від біфідобактерій до носорогів, працює за одним і тим самим принципом: інформація зберігається в ДНК і виражається (за біологічним терміном - експресується) в білках за посередництва РНК.

Це, можливо, головне відкриття молекулярної біології ХХ ст. Центральна догма заповнила прірву між "простими" і "складними" організмами, оголосивши, що відмінності між ними видно тільки на поверхні, а в глибині всі вони неймовірно складні, а головне - складні абсолютно однотипним віртуозним балетом макромолекул.

Це та сама логіка, якою користується детектив, щоб відрізнити не пов'язані між собою злочини від серійних. Якщо між картинами злочинів є схожість достатньої складності, то такий "почерк" свідчить про те, що ці злочини скоєні однією і тією ж людиною. Розбиті вікна на місці крадіжки не беруться до уваги, бо це надто просто: легко уявити, що різні злочинці залишають один і той самий доказ незалежно один від одного. Але якщо вікно в кожному випадку акуратно вирізане одним і тим самим інструментом, то значно ймовірніше, що це справа рук злодія рецидивіста. У випадку з живими організмами інструменти їхнього функціонування настільки складні й настільки однакові, що майже ніхто не сумнівається в їхньому єдиному походженні.

Отже, наскільки можна судити, все, що нині живе, походить від одного організму. Цей організм, вочевидь, був клітиною (про цю його властивість йтиметься в наступному розділі) і вже мав ДНК, РНК і білки. Вважається, що він жив на нашій планеті приблизно 3,5 млрд років тому. В англomовній літературі для позначення цього нашого таємничого дідуса з глибини часів використовується аббревіатура LUCA - last universal common ancestor, тобто "останній універсальний спільний предок". ЛУКА милозвучніше, ніж ПУОП, тож нехай Лукою і буде.

Чому "останній"? Тому що між походженням життя (моментом, коли нежива матерія стала живою) і Лукою (організмом, до якого сходять родовід усього, що нині живе) пройшов проміжок часу, про який, як ви вже здогадалися, нічого не відомо. Теоретично життя могло зароджуватися, множитися і вимирати мільйони років і мільйони разів до того, як виник Луки, чиї нащадки виявилися щасливішими і зрештою населили сьогоденню Землю. Тобто до Луки у сьогоденніх живих організмів була ще маса інших спільних предків, але тільки нащадки Луки дожили до наших часів. Лука - це як стародавній єгиптянин або міноець: він явно з'явився не на порожньому місці, але про те, що було раніше, відомо так мало, що шкільні підручники з історії Стародавнього світу туди навіть не заглядають.

Найголовніше невідоме в історії життя на Землі - що було до Луки. Дослідження цього питання, загалом, не що інше, як ворожіння на кавовій гущі, нехай і з навороченими приладами. Вчені переймаються не стільки питанням "Як життя виникло?" (відповідей на таке питання шукати просто ніде), скільки питанням "Як у принципі могло виникнути життя?". Якщо конкретніше, то якою може бути теоретична послідовність подій, що веде від атомів і випадкових, "неживих" хімічних реакцій до першої відомої форми життя "сучасного" зразка - Луки. Для такого спонтанного перетворення неживого на живе є спеціальне слово: абіогенез.

Про шанси урагану на складання боїнга

На перший погляд, сама ідея такої "випадковості" сміховинна. У повсякденному житті ми не стикаємося з випадковостями, внаслідок яких із пилу виростають багатопверхові будівлі, а ураган, що проноситься звалищем, збирає "Боїнг 747". Останнє - ходовий аргумент креаціоністів, який нібито зводить абіогенез до абсурду.

ДО РЕЧІ

У радянські часи користувалося популярністю визначення життя за Фрідріхом Енгельсом: "Життя - спосіб існування білкових тіл" 7. Це цитата з цікавої суперечки про походження життя.

Джерело - коментар Енгельса до статті біолога Моріца Вагнера, опублікованої в 1874 р. Вагнер, спираючись на міркування великого хіміка Юстуса фон Лібіха, доводить, що життя подібне до матерії, його неможливо створити або знищити, воно завжди є, завжди було і, напевно, є скрізь. Ось на Нептуні, наприклад, напевно все кишить бактеріями. (Планету Нептун названо на честь римського морського бога, бо вона має синій вигляд, ніби вкрита суцільним океаном. Сьогодні ми знаємо, що, хоча на Нептуні справді є вода, до життя він абсолютно непридатний, а своїм кольором завдячує не океану, а хмарам метану8).

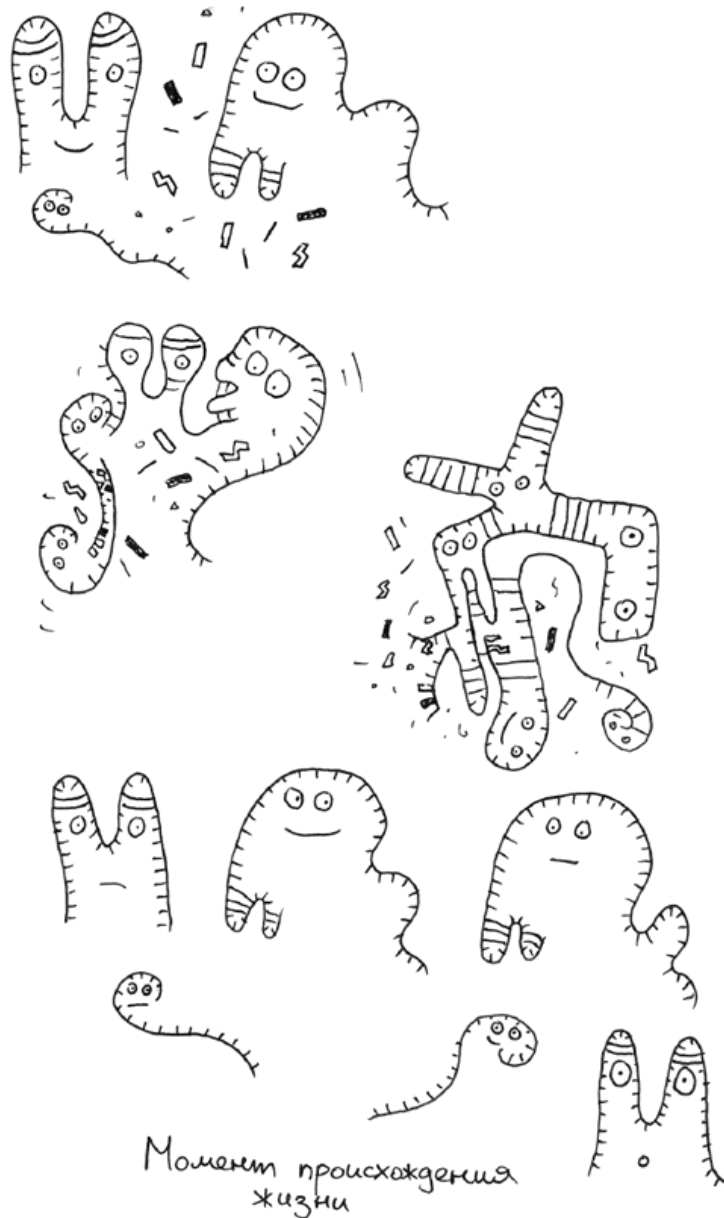
Енгельс на це з презирством обзиває Лібіха з Вагнером дилетантами і заявляє, що створити життя з нуля - пара дрібниць, треба тільки навчитися синтезувати білки. Ось повна цитата:

"Життя - це спосіб існування білкових тіл, істотним моментом якого є постійний обмін речовин із зовнішньою природою, що їх оточує, причому з припиненням цього обміну речовин припиняється і життя, що призводить до розкладання білка. '...' Якщо коли-небудь вдасться скласти хімічним шляхом білкові тіла, то вони, безсумнівно, виявлять явища життя і будуть здійснювати обмін речовин, якими б слабкими і недовговічними вони не були" .

Цікаво, що для Енгельса життя - це білок плюс метаболізм. (Ще цікавіше, що смерть - "розкладання білка".) У решті в суперечці між Вагнером, Лібіхом та Енгельсом обидві сторони сьогодні виглядають наївно. Звичайно, ніхто з них нічого не знав про гени, ДНК і механізм спадковості, тому в принципі не міг адекватно судити про походження життя. Але ця прірва знання, що відокремлює нас сьогоднішніх від сучасників Енгельса, набагато ширша, ніж генетика. Ученим 1870-х рр. здавалося, що клітина є згусток білка, що від простої клітини - бактерії, наприклад - рукою подати до неживої матерії. Із загальним розвитком біології й особливо з появою електронних мікроскопів стало зрозуміло, що будь-які, навіть найпримітивніші, клітини настільки складні, що "скласти хімічним чином" клітину з нуля в осяжному майбутньому можна навіть і не думати.

Що взагалі такого вже дикого у складанні боїнга ураганом? Річ не в принциповій здатності спонтанних подій породжувати щось складне - річ у тім, наскільки складною має бути спонтанна подія, що породила життя. Найвідоміше свідчення того, що урагани в принципі можуть щось зібрати на сміттєзвалищі, - це знаменитий експеримент Міллера - Юрі, який у 1953 р. показав, що, якщо в замкнутій колбі довго гріти і бити струмом найпростіші молекули, з них утворюється маса складних і цікавих органічних сполук9. Якби в колбі в американського хіміка Гарольда Юрі та його студента Стенлі Міллера виникли цілі клітини, то боїнг був би зібраний, а питання про походження життя фактично вирішене. Але навіть отримані в них амінокислоти і цукри - це величезний крок від неживого до живого, і ми точно знаємо, що цей крок можливий.

Метафора "боїнга, зібраного ураганом", озвучує іншу проблему. Річ не в тім, що на звалищі немає потрібних вихідних деталей або що вихор фізично не може зібрати літак, ці можливості передбачені самим включенням сміттєзвалища й урагану в метафору. Звалище - джерело речовини, де, якщо пошукати, можна знайти все, що потрібно. Ураган - зовнішнє джерело енергії, що має достатню силу, щоб підняти і зіштовхнути між собою потрібні деталі. Проблема не в слабкості урагану або відсутності деталей, а в тому, що ураган не знає, які деталі як зіштовхувати. Він не володіє інформацією, потрібною для правильного складання боїнга, - а це величезна кількість інформації, що описує кожне зчленування кожної деталі, кожен хімічний зв'язок. А якщо не знає ураган, то хтось, за логікою метафори, має знати. Але між абіогенезом і випадковим складанням боїнга ураганом є кілька принципових відмінностей. По-перше, ніхто не стверджує, що боїнг, тобто Лука, мав зібратися разом, в один етап. Навпаки, цілком очевидно, що його складання йшло поступово, від простіших варіантів до складніших, причому переважна більшість зібраних конструкцій швидко розвалилися і були забуті. По-друге, кожен з успішних варіантів мав здатність збирати свою власну копію. Тобто протобоїнги мали бути не стільки примітивними літаками, скільки роботами-боїнгозбирачами. Нарешті, немає жодних підстав вважати, що ураган пронісся звалищем лише один раз. Цілком можливо, що ураган тривав мільярди років, увесь цей час концентруючись на одному й тому самому звалищі.



Усе це розтягує метафору боїнга до невпізнання, але суттєво спрощує уявну гімнастику навколо походження Луки. Якщо уявити, що певна і не дуже складна комбінація деталей на сміттєзвалищі створює в результаті машину, яка їздить сміттєзвалищем і збирає собі подібні машини, то таку машину достатньо зібрати один раз, далі цикл збирання стане самовідтворюваним і розмножуваним, а згодом випадкові зміни призведуть до розмаїття і поступової зміни машин нащадків. Це вирішує головну проблему урагану збирача: відсутність інформації. Ураган не знає, що потрібно збирати, але хтось знає - так от, самовідтворювана машина і є цей хтось. Вона володіє інформацією (власною структурою), яку вміє втілювати в реальність (створювати таку саму структуру), а все подальше - лише поступові зміни цієї вихідної інформації.

Машина для виробництва себе

Коротше кажучи, щоб уявити походження життя, зовсім необов'язково уявляти, як з каменю і води виникає готова клітина з ДНК, РНК і білками. Уявити собі потрібно найпростішу самовідтворювальну машину, яку тільки

можливо уявити, а потім придумати, що за ураган (джерело енергії) і на якому звалищі (джерело речовини) міг таку машину породити. Цим і займаються дослідники абіогенезу: намагаються знайти найпростішу систему самовідтворення і придумати їй реалістичне місце народження.

Навіть це, втім, завдання неабиякої складності. Походження Центральної догми - це як загадка про курку і яйце, тільки з трьома компонентами. Щоб з одного організму зробити інший, потрібно подвоїти його ДНК, РНК і білки. Щоб зробити ДНК або РНК, потрібні білки. Щоб зробити білки, потрібні РНК і ДНК. Уявити, що одна з цих молекул з'являється випадковим чином з неживих компонентів, ще можна, хоча і тут потрібно багато фантазії. Але уявити, що всі три молекули з'являються випадково незалежно одна від одної і мимоволі зливаються у свій складний багатоступеневий танець, - це вже занадто. Потрібен простіший початок.

Сьогодні найбільшою популярністю користується ідея про те, що таким простішим початком, який передував Луці та Центральній догмі, був так званий РНК світ¹⁰⁻¹³. В основі цієї гіпотези лежить уже згадуваний факт: РНК - це в якомусь сенсі щось середнє між білком і ДНК. Вона може одночасно відтворювати інформацію (завдяки комплементарним властивостям своїх нуклеотидів) і виконувати хімічні реакції (завдяки реакційній здатності та схильності до складних тривимірних структур).

ДНК - прекрасний архів інформації. Вона хімічно стабільна, а її подвійна спіраль - вбудований механізм копіювання. Але молекула ДНК нічого не вміє робити. Білки - ідеальні машини, багатофункціональні, як швейцарський ніж. Але білки не вміють себе копіювати: кожна молекула білка збирається з нуля на рибосомі. Порівняно з цими двома молекулами РНК, на перший погляд, програє: архів з неї не дуже гарний через нестабільність, а машина і зовсім посередня, бо всього з чотирма схожими одна на одну деталями у функціональному сенсі не розбіжишся. Але РНК унікальна в природі тим, що вона може бути і архівом, і машиною одночасно.

Саме тому РНК посідає центральне місце у фантазіях біологів про походження життя. Найпростіший спосіб уявити, як могла з'явитися Центральна догма, - це спочатку уявити собі самодостатню, самокопіювальну молекулу РНК, а потім те, як ця РНК обзавелася білками, навчившись перетворювати свою власну чотирибуквену послідовність на цілком новий, більш багатофункціональний ланцюг із 20 амінокислот. Це відкрило перед РНК небачені можливості для оптимізації власних функцій, включно з виробництвом більш стабільного, дволанцюгового архіву - молекули ДНК.

ДО РЕЧІ

РНК-світ - у жодному разі не встановлений факт, а тільки гіпотеза: під час написання цієї книжки, наприклад, мені довелося відбиватися від знайомих еволюціоністів, які запекло й цілком переконливо доводять, що першими повинні були з'явитися не нуклеїнові кислоти, а білки, тобто що Берцеліус зі своїм терміном "протеїн" ("першоречовина") потрапив у саму точку.

Якщо ж все таки дотримуватися думки більшості і вірити в РНК світ, можна сказати, що РНК - це вихідна форма життя, головною подією в історії якої став винахід білків^{14, 15}. У сучасній клітині майже все важливе роблять білки, а РНК здебільшого просто переносить генетичну інформацію. Але деякі з найдавніших клітинних машин зберегли в собі, як припускається, сліди добілкового світу, в якому РНК сама виконувала хімічну роботу. Головна з таких машин - рибосома, станція виробництва білка.

Рибосома - це конгломерат із кількох десятків молекул, що включають РНК і білки, але першість у синтезі білка належить саме РНК¹⁶. Рибосомна РНК відповідальна за найголовнішу сходинку процесу: формування пептидного зв'язку, тобто зв'язку між двома амінокислотами в зростаючому ланцюзі білка. Інша РНК, звана транспортною, виступає як переносник амінокислоти. Вона підставляє потрібну амінокислоту під зростаючий ланцюг білка залежно від того, яке тринуклеотидне "слово" наразі проходить крізь рибосому в складі матричної РНК, з якої білок зчитується.

Сказати, що під час трансляції одні РНК беруть іншу РНК і роблять на її матриці білок, - перебільшення, але не надто велике. Тобто в історії життя цілком можна уявити собі момент, коли досі самостійні РНК навчилися виробляти на своїй основі білки і заклали тим самим основу майбутньої Центральної догми.

Загалом, якщо можливий абіогенез РНК світу, маючи мільярд інший років і частку фантазії, можна отримати все інше. Тож ключові питання про походження життя на сьогодні зводяться до таких: чи можлива самодостатня РНК, що самокопіюється? Якщо так, то чи могла вона з'явитися випадково? Якщо так, то де?

Відповідь на перше запитання, схоже, ствердна. Навіть не маючи в розпорядженні мільярда років, вчені примудрилися штучно створити РНК-систему, яка необмежено відтворює саму себе без участі білків або будь-яких інших молекул^{17, 18}. Нюанс у тому, що система ця складається не з однієї самодостатньої молекули РНК, що нанизує нуклеотид на нуклеотид, а з декількох молекул, чия спільна діяльність замкнута в цикл самовідтворення: кожна молекула робить щось своє, але в сумі виходить копія всієї системи.

Це не сильно ускладнює гіпотезу походження життя, навіть навпаки, так реалістичніше. Замість народження однієї єдиної чарівної молекули, яка раптово починає копіювати себе, простіше уявити бульйон із випадкових, різноманітних молекул, кожна з яких виконує якусь випадкову хімічну реакцію¹⁹⁻²¹. Більшість із цих реакцій нікуди не ведуть, але одного чудового дня виникає така комбінація реакцій, що призводить до власного початку, тобто замикається в цикл. Оскільки за такого варіанту молекули - учасники циклу подвоюватимуться, згодом їх побільшає, ніж молекул із "непотрібними" властивостями.

На мій погляд, гіпотеза каталітичного РНК циклу - найправдоподібніша версія походження життя на Землі. За такою версією, життя виникло в ту мить, коли на звалищі молекул випадкова комбінація хімічних реакцій замкнулася в кільце і тим самим уперше закрутила колесо безперервного відтворення інформації, що не зупиняється до наших днів.

Друге питання - чи могла РНК з'явитися випадково? - потребує розв'язання кількох проблем. Потрібно, щоб випадково з'явилися нуклеотиди, окремі "літери", деталі РНК. Нуклеотид, звісно, простіший за цілу РНК, але все одно доволі складна молекула, і тривалий час його мимовільне походження без участі білків ферментів, що синтезують нуклеотиди в сучасному живому організмі, здавалося малоімовірним. Це один з аргументів на користь первинності білка: амінокислоти простіші, ніж нуклеотиди, тому спонтанна поява білків вимагає менше уяви, ніж поява РНК. Проте нещодавні дослідження²² показують, що ядро нуклеотиду може ефективно зібратися з дуже простих компонентів в умовах, що нагадують умови стародавньої Землі. Але й цього замало. Потрібно щоб нуклеотиди мимовільно об'єднувалися в ланцюжки достатньої довжини. У сучасних організмах це відбувається тільки під час копіювання ДНК або РНК - тобто, щоб зробити довгий ланцюжок, потрібен вихідний матеріал у вигляді іншого довгого ланцюжка. Але як могли з'явитися перші довгі ланцюжки?

Тут принциповою може стати відповідь на третє запитання: де саме могла з'явитися РНК? Повертаючись до метафори з боїнгом, сміттєзвалищем і ураганом, місце дії має відповідати певним умовам: у ньому має бути достатньо потрібної речовини (сміттєзвалище) і достатньо зовнішньої енергії (ураган). Є й інші умови: наприклад, місце має бути у водному середовищі (інакше жодні біологічні молекули працювати не вміють), але водночас володіти просторовими обмеженнями (інакше вони б просто розсіялися океаном). В ідеалі місце походження РНК ще має якимось вирішувати завдання синтезу довгих ланцюгів.

Загублене місто

Є маса версій про місце народження життя. За однією версією, наприклад, РНК з'явилася в льодах²³⁻²⁶. Фізико-хімічні властивості льоду такі, що він може розв'язати проблему довгих ланцюжків (вони стабільніші за низьких температур) і просторових обмежень (у суміші води і льоду речовини розсіюються набагато менше, ніж просто у воді). Але лід проблематичний як джерело речовин (не зовсім зрозуміло, звідки братися вихідному матеріалу) і енергії (за низької температури всі хімічні реакції йдуть повільніше).

За іншою версією, життя з'явилося в "маленькому теплому ставку" - цю фразу придумав ще Дарвін²⁷.

Класику бачився резервуар води, в якому накопичувалися неорганічні речовини, як накопичується сіль у каstrулі, з якої випарюють воду. Сьогоднішні прихильники версії "ставка" вважають, що вихідні органічні речовини - будматеріали для майбутнього життя - могли бути занесені туди метеоритами²⁸. Такий маленький ставок розв'язує проблему речовини і простору, а додаткова енергія - сонячний жар і електрика блискавки - дає змогу цій речовині перетворитися на живу. О. І. Опарін у 1930-х рр. доповнив дарвінівську ідею "первинного бульйону" концепцією коацерватів - згустків речовини, що нагадують суспензію крапель олії у воді²⁹. У його уявленні, коацервати давали змогу речовині концентруватися в ще більш дрібних об'ємах, ніж "маленький ставок", і в кінцевому підсумку ці згустки перетворилися на повноцінні клітини. Ані Дарвін, ані Опарін, утім, ніяк не пояснюють, яким чином могли з'явитися перші молекули, що самовідтворюються.

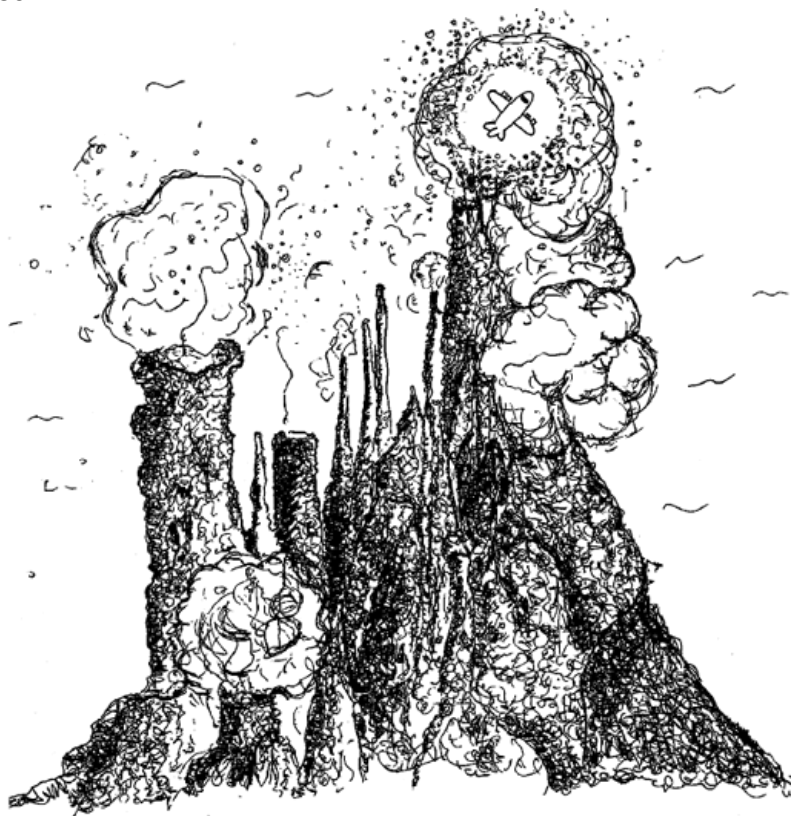
ДО РЕЧІ

"Ще Дарвін" - це такий особливий персонаж будь-якої книги про еволюцію, який усе завжди вигадує раніше за інших. У нього є брат "Навіть Дарвін", теж людина великих талантів. Вони як "старожили", які ніколи нічого не пам'ятають незалежно від контексту і географічного положення.



Еще Дарвин
(Близкие родственники Чарльза)

Сьогодні є кілька версій того, звідки ці молекули могли виникнути. Найбільш популярні як кандидати на роль колиски життя різні форми гідротермальних джерел - підводних або прибережних гейзерів, через які з надр землі сочиться гаряча вода^{11, 30}.



Вода в гідротермальних джерелах багата різноманітними мінералами, що відкладаються на місці розлому у вигляді труб і стовпів. Мінерали істотно розширюють спектр можливих молекул та їхніх перетворень. Гідротермальні джерела - справжні хімічні реактори. З одного боку, підземний жар дає їм енергію, причому на проміжку від киплячого центру до холодного океану в них знайдеться будь-яка оптимальна температура, а сам перепад може мати принципове значення для перемішування взаємодіючих молекул. З іншого боку, товща гідротермальних "стовпів" зазвичай пориста, що розв'язує проблему просторових обмежень на кшталт опаринських коацерватів: мікроскопічні порожнечі могли служити замкнутими лабораторіями для розробки перших біомолекул. Нарешті, гідротермальні джерела за своїми фізико-хімічними властивостями нагадують активоване вугілля: до них усе липне. Складні молекули осідають на поверхні пористих товщ, а це, своєю чергою, у багато разів підвищує вірогідність хімічних реакцій між ними³¹⁻³⁴, і в такий спосіб потенційно розв'язується проблема виникнення довгих ланцюгів РНК.

Цілком можливо, що роль гідротермальних джерел в історії життя на планеті ще значніша. Там цілком міг жити, наприклад, наш універсальний дід Лука. З різних причин із підводними гейзерами пов'язують походження і клітини³⁵, і обміну речовин³⁶, і навіть зачатків фотосинтезу³⁷ - усе це принципові події в історії життя, про які йтиметься в наступних розділах. Цілком можливо, що гідротермальні джерела були головним місцем проживання живих організмів протягом мільярдів років.

Для візуального прикладу можна взяти "Загублене місто", відкрите у 2000 р. "гідротермальне поле" на дні Атлантичного океану^{30, 38, 39}. За своїми хімічними властивостями воно більше за інші джерела підходить під прототип "інкубатора життя". Це занурене у вічну темряву "місто" з труб, стовпів і цілих "соборів" заввишки з 20 поверховий будинок. Сьогодні ці джерела - справжні джунглі, населені полчищами різноманітних мікроорганізмів.

Можливо, у схожому підводному "місті" починається і наша історія. У майбутніх розділах ітиметься про еволюцію - головну властивість живої природи, що визначила наш шлях із глибин давнини в сучасний світ. У цьому розділі я хотів показати, що ця жива природа існує не всупереч, а завдяки неживій. У властивостях атомів видно витоки обміну речовин та енергії. У нуклеотидах і амінокислотах видно фундамент Центральної догми, що несе гени з минулого в майбутнє. Гідротермальні джерела теж втілюють у собі багато ідей, надалі увібрані живою матерією: хімічна складність, зовнішнє джерело енергії, замкнутий простір, що обмежує своє від чужого.

Як би не змінювалося в майбутньому наше уявлення про початок життя на Землі, мені подобається думати про "Загублене місто" як про пам'ятник найбільшій події у Всесвіті - походженню живого з неживого. Мабуть, єдине, що я з упевненістю знаю про абіогенез, - це те, що він відбувся. І від цього в мене захоплює дух.

2. Хороша ідея

Послухайте!

Адже, якщо зірки запалюють -
значить - це кому небудь потрібно?

Володимир Маяковський

Попередник Роберта Фіцроя на посаді капітана "Бігль" не витримав важкого переходу через Магелланову протоку і застрелився у своїй каюті після затяжної депресії¹. Дядько Фіцроя, видатний державний діяч віконт Каспрі, перерізав собі горло складаним ножом, чи то зневірившись через звинувачення в содомії², чи то в нападі параної³. Не дивно, що тема психічного здоров'я турбувала і самого Роберта Фіцроя, 26 річного капітана британського флоту з благородним корінням і блискучими перспективами. Вирушаючи в експедицію до берегів Південної Америки, він вирішив, що буде набагато спокійніше, якщо йому компанію складе напарник. Бажано настільки ж благородний і блискучий, як і він сам. Освічений джентльмен, з яким можна було б скоротати час, розділити вечерю і наукову дискусію.

Він запропонував посаду такого освіченого компаньйона кембриджському професору ботаніки та мінералогії Джону Стівенсу Генслоу, але той відмовився від відрядження на край світу, нібито зглянувшись над дружиною⁴ (утім, правильно зробив: замість запланованих двох років "Бігль" бовтався Південною півкулею цілих п'ять). Натомість себе Генслоу запропонував спорядити в експедицію 22-річного учня на ім'я Чарльз Дарвін.

Але Фіцрой вагався. Зустрівшись із Дарвіном, він дійшов висновку, що той занадто кволий і малодушний для серйозного випробування морем. Річ у тім, що Фіцрой був затятим фізіогномістом⁵. Фізіогноміка - це вчення про те, що риси обличчя людини відображають її внутрішні якості. Людину можна бачити наскрізь, якщо тільки володіти спеціальним мистецтвом оцінки носів і брів. Фіцрой цим мистецтвом, як він вважав, володів і ясно бачив, що ось у цього студента абсолютно неприйнятний ніс картоплею. Але врешті-решт, згнітивши серце, все таки взяв Дарвіна на борт свого корабля.

"Бігль" відчалив з англійського порту Плімут, взявши курс у бік Південної Америки, 27 грудня 1831 р., і Чарльзу Дарвіну негайно стало зле. ("Страждання, яких я зазнав від морської хвороби, я не міг собі навіть уявити" - напише він потім у листі до батькаб.) Історія замовчує про те, що в цей момент думав Фіцрой, якому замість шляхетного джентльмена всучили кволого молодика з огидним носом.

Роберт Фіцрой - цікавий персонаж. Здебільшого Дарвін з Фіцроєм на "Біглі" уживалися і навіть підтримували стосунки після експедиції. Капітан Фіцрой, може, і увійшов би в історію як дарвінівський Вергілій, провідник крізь джунглі й океани, якби не Оксфордські дебати. Ці дебати, поза всяким сумнівом, найбільш кінематографічний момент в історії теорії еволюції - найчистіше втілення її протистояння консервативній релігії. Фіцрой у ньому постане в іншому амплуа.

Бульдог

Я робив свою кандидатську роботу в лабораторії буквально за три хвилини ходьби від оксфордського Музею природної історії, де розгорнулося це зіткнення прихильників Дарвіна із захисниками релігії та церкви. Музей, тоді відомий як Університетський, - просторий, світлий, неоготичний храм, з центральним залом, обрамленим колонами з різних порід каменю, що видобуваються в Британії, і зі скляною стелею на чавунному скелеті. Своєю злегка дивною монументальністю, як і багато чого в Оксфорді, він гідний порівняння з Хогвартсом. (Посеред музею, наприклад, розташований єдиний вхід до зовсім іншого музею - Пітта Ріверса, - який має такий вигляд, ніби Ермітаж упакували в приміщення розміром зі шкільний спортзал.) У мене завжди було тверде відчуття, що Музей природничої історії побудований спеціально для тієї еволюційної битви, що відбулася в день його відкриття в 1860 р. Оксфордські дебати вважаються історичним моментом повороту людства від теорії розумного творіння до теорії еволюції.

Після подорожі на "Біглі" минуло 30 років. Дарвін - знаменитий натураліст, який щойно опублікував теорію еволюції шляхом природного відбору. Це не з тих випадків, коли велику ідею півстоліття ніхто не помічає: дарвінівська теорія викликала фурор, щойно побачила світ. Про неї говорило все освічене людство, і часто на підвищених тонах.

Точних записів дебатів, на жаль, не залишилося, тому будь-які описи приблизні. У програмі кілька виступів, які захищають різні точки зору. На боці еволюціоністів зірка - не сам Дарвін, а лондонський біолог Томас Гекслі, самопроголошений "бульдог Дарвіна", який цим своїм хльостким погонялом навіки увійшов в історію. На боці церкви - Семюел Вілберфорс, оксфордський єпископ. Глядачів чоловік 500, а то й 1000. Це справжній науковий батл, яких у сучасному світі просто не буває: максимум, чого можна очікувати від недобррозичливців на сьогоднішній науковій конференції, - це їдкі коментарі, завуальовані під ввічливі запитання. Тут же отрута б'є фонтаном! Літній і важливий Вілберфорс знущується з Гекслі, натякаючи, що той - онук мавпи; молодий і зухвалий Гекслі рубає у відповідь, що краще він буде онуком мавпи, ніж освіченої людини, яка дозволяє собі вести такі промови, і так далі. У переповненому музеї стоїть такий шум, що ніхто нічого не чує⁷.

І ось на цьому тлі слово дають не кому небудь, а самому Вергілію 30 річної давності, Роберту Фіцрою, вже не молодому капітану, а контр адміралу. На тлі стриманого і уїдливого Вілберфорса Фіцрой своєю пристрасною буквально підриває зал. Він трясє Біблією над головою, волає до натовпу, проклинає Дарвіна і його вигадки і стогне про те, скільки страждань заподіяла йому їхня публікація⁸. Гекслі у відповідь на його промову зарозуміло відрізає, що книга Дарвіна - логічне перерахування фактів. Мовляв, там нема чого й обговорювати.

Фіцрой дійсно був глибоко віруючою людиною і захисником прямої інтерпретації Біблії. Це, вочевидь, мало позначилося на його стосунках із Дарвіном за часів їхньої спільної експедиції, але ось брехливе, небезпечне, на його думку, "Походження видів" 30 років потому просто вивело його з себе.

Ніякого незалежного суддівства не передбачалося, тому, хто переміг насправді, не визначити ніяк. Але, оскільки в наступні десятиліття прихильників теорії еволюції стало більше, ніж її супротивників, в історію ввійшла їхня версія подій: молоді та зухвалі руйнівники підвалин тріумфують над Біблією та її зашкарубленими захисниками. Щодо Фіцроя, то він у всьому навколodarвінівському фольклорі наступних років став архетипом релігійного консерватора.

Ненависть до еволюційної теорії продовжувала його терзати. У Фіцроя і без того були проблеми з психічним здоров'ям, можливо, через погану спадковість. У сукупності з фінансовими труднощами все це привело колишнього капітана "Біглі" до того кінця, якого він так хотів уникнути. Через п'ять років після Оксфордських дебатів він перерізав собі горло бритвою⁹. Sic transit gloria mundi.

Колекціонер в'юрків

Повна назва головної книжки Дарвіна, через яку, як через червону дівицю, зіткнулися наші герої в 1860 р.: "Про походження видів шляхом природного відбору, або збереження сприятливих порід у боротьбі за життя". Тобто суть "Походження видів" не у власне походженні видів, а в тому, що види відбуваються шляхом природного відбору. Це як скорочувати привітання "з днем народження" до "з днюхою".



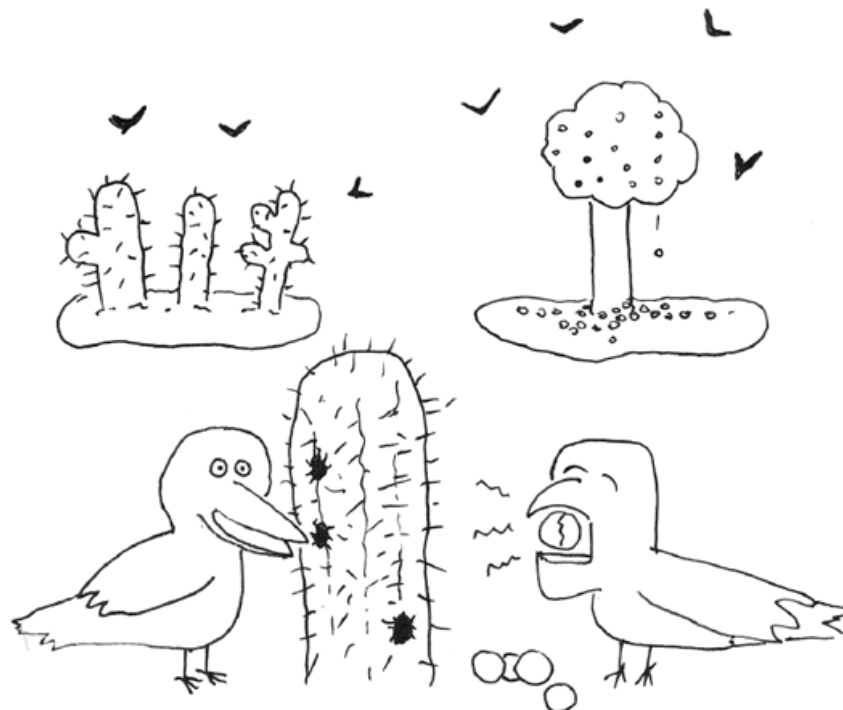
Ньютону впало на голову яблуко, Архімед приймав ванну, а піфагорові штани на всі боки рівні. У Дарвіна, на жаль, такої сценки для третьокласників немає, тому що свою теорію після повернення "Бігля" він мусолив у себе в кабінеті 20 з гаком років, тож ефектного моменту не вийшло. І все таки якщо вибирати, то найближче до піфагорових штанів у Дарвіна - галапагоські в'юрки.

Галапагоси - вулканічний архіпелаг на захід від Еквадору. Галапагоські острови з'явилися відносно недавно і ніколи не були в контакті з Великою землею. Усе, що там росте, бігає і літає, туди занесено. Острови розташовані досить близько до материка, щоб іноді туди хто-небудь залітав, але досить далеко, щоб це відбувалося рідко. Стосовно один одного острови теж розташовані на значній, але переборній відстані.

Дарвін уважно і систематично досліджував флору і фауну Галапагосів, у ті часи це означало, що він сушив у гербарій кожну побачену рослину, а також гатив по птахів і колекціонував їхні численні тушки (птахів він збирав, як покемонів, по десять штук на день, судячи з листів, з неабияким ентузіазмом). Серед іншого Дарвін зібрав величезну колекцію в'юрків, птахів розміром з горобця.

В'юрків на Галапагоських островах чомусь було дуже багато, більше, ніж інших птахів. Але найцікавіше навіть не в їхній кількості, а в тому, що на кожному острові в'юрки злегка відрізнялися, особливо формою дзьоба. Одні дзьоби краще підходили під ловлю комах, інші - під рослинну дієту. Якщо ж на одному острові зустрічалося кілька різних дзьобів, то вони різнилися дуже сильно. Наприклад, один дзьоб великий і розколює горіхи, а інший - тонкий і клює кактуси.

Згідно з популярною легендою, це спостереження викликало суперечку між Дарвіном і Фіцроем. Останній, мовляв, стверджував, що різні в'юрки з'явилися в результаті різних "вогнищ творіння", кожне з яких враховувало умови різних островів. Там, де більше кактусів, Бог створив птаха кактусоїда, а там, де більше горіхів, - птаха горіхоїда. Дарвін же сумнівався: що, якщо божий задум тут взагалі ні до чого? Що, якщо різні в'юрки оформилися самі по собі, з одного спільного предка, що залетів з материка, в результаті "походження зі зміною"? (Дарвін надавав перевагу саме цьому терміну, *descent with modification*, - слово "еволюція" навіть у "Походженні видів" використовується тільки один раз, в останньому параграфі).



Клюви галапагосських в'юроків
приспособлені до джерел їжі

Ось він, момент народження великої теорії! Можна складати віршик для третьокласників.
Як у Дарвіна в кишені оселилися два в'юрки,
У них крила як блокнот, а дзьоб як трубка тютюну.



На жаль, на ділі все дещо менш кінематографічно. По-перше, сам Дарвін на Галапагосах тільки починав замислюватися про свою майбутню теорію. По-друге, Фіцрой ніяких "вогнищ творіння" не пропонував. По-третє, принаймні частину з вищеописаних деталей життя галапагосських в'юроків було виявлено тільки після повернення до Лондона¹⁰.

Дарвін не був орнітологом і вважав в'юроків підвидами, причому, мабуть, не відразу усвідомив, що різні підвиди живуть на різних островах. Додому він повернувся з такою кількістю тушок, що це було майже комічно. Коли більш обізнаний орнітолог упевнено визначив показаних йому в'юроків як 12 різних видів, це вразило як орнітолога, так і самого Дарвіна¹¹.

Тобто, якби в'юрки на різних островах були б підвидами, нікого б це не схвилювало! Сьогодні складно зрозуміти: яка різниця, види чи підвиди? У категоріях XIX ст. різниця принципова. Види - це окремо стоячі форми життя, створені Богом. Підвиди - це варіації в межах цих окремо розташованих видів, тобто породи. Види змінюватися не повинні. Якщо різні в'юрки на різних островах - це різні види (з часом з'ясувалося, що їх навіть не 12, а кілька десятків), то значить, їх так створив Бог саме в такій кількості й такій різноманітності. Значимість в'юроків у тому, що на їхньому прикладі видно, яка це дурість.

Звісно, непізнаваним творцем можна пояснити все що завгодно. Але зазвичай творець - це інтуїтивно найочевидніше пояснення, а ось у випадку з горезвісними в'юрками набагато більш інтуїтивним видається варіант, запропонований Дарвіном, що птахи поступово розселилися і поступово змінилися. Я б сказав, що сенс "Походження видів" у тому, що цей перелом інтуїції можна взяти і розширити до розмірів усєї природи. У будь-якому місці, де ясно бачиться розумний творець, можна придивитися і розгледіти поступову зміну, що йде траєкторією в далеке минуле.

Походження видів

Спробую скоротити до одного абзацу цей монументальний, але, чесно кажучи, за сучасними мірками дуже багатослівний текст. Якщо вас не лякають, скажімо, три сторінки докладного опису поштового голуба, будь ласка, звертайтеся до оригіналу.

По-перше, між формами живого існує мінливість: брати й сестри відрізняються один від одного, а з насіння одного й того самого плоду можуть зійти різні пагони. По-друге, ця мінливість якоюсь мірою успадковується: собаки різних порід породжують собак своєї породи. По-третє, у природі завжди хтось виживає, а хтось ні, тому що ресурси не нескінченні. Це виживання не випадкове: воно залежить від успадкованих ознак. Отже, як селекціонер виводить сорти овочів поступовим відбором найбільших плодів, так і природа виводить види природним відбором. З різних варіантів продовжуватиме успадковуватися найбільш пристосований до запитів середовища, а отже, з часом види мають змінюватися в напрямку більшої пристосованості.

Мій улюблений спосіб формулювати теорію Дарвіна ще коротше:

мінливість + спадковість + відбір = еволюція.

Поясню кожен з елементів. Уявімо, що еволюція - це автомобіль, тільки він їде не з одного місця в інше, а з минулого в майбутнє.

Мінливість - це паливо еволюції, те, що в принципі дозволяє їй рухатися. Якщо у світі все однакове, то нізвідки взятися нічому новому.

Якщо трохи пофантазувати, то можна уявити дві з трьох дарвінівських умов - успадковуваність і відбір - без третьої, мінливості. Припустімо, весь світ населений виключно морськими огірками, які ніяк не відрізняються один від одного і ніяк не змінюються від покоління до покоління. Умова спадковості дотримана: від огірків народжуються виключно огірки. Вони, звісно, зжеруть усі свої ресурси (не дуже, щоправда, зрозуміло які) і конкуруватимуть між собою. Одні морські огірки виживатимуть, інші ні, тобто умова добору (з термінологічними застереженнями, про які трохи пізніше) теж дотримана. Але без мінливості всі огірки абсолютно ідентичні, тому незалежно від того, хто з них буде відібраний, огірки загалом, як вид, ніяк не зміняться. Без мінливості еволюції бути не може.

Спадковість - це колеса еволюції. Те, чим машина їде вперед. Спадковість - це головне ноу-хау життя, що дозволяє йому еволюціонувати. Це відтворення того, що придумано мінливістю. Мінливість означає, що є багато різних варіантів, а спадковість - що ці варіанти мають властивість створювати свою подобу. Ця властивість змінює відносини мінливості з часом: успадкованість ознаки дає їй доступ до вічності. Якщо ж варіант не успадковується, то в довгостроковій перспективі він ролі не відіграє.

Камені, наприклад, фантастично мінливі: спробуйте знайти два камені однакової форми. Але ця мінливість не призводить до еволюції каміння, тому що у каміння немає спадковості. Форма каменя швидкоплинна і, зникнувши, нічого за собою не залишає. Живі ж організми вміють відтворювати власні ознаки в новій фізичній формі, ці відтворення називаються поколіннями. Властивість спадковості та існування поколінь - це принципова відмінність життя від нежиття.

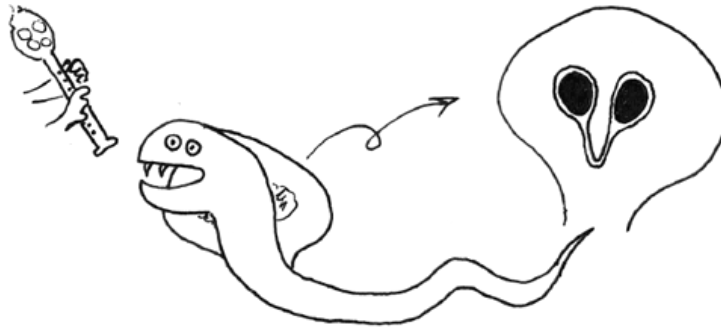
Що вийде, якщо витягнути спадковість із трьох дарвінівських умов? Різноманітність плюс відбір - це, наприклад, купівля пива в магазині. Вона не призводить до еволюції пива саме тому, що пиво не успадковується, ви не кидаєтеся його відтворювати. А якби кинулися? Припустімо, ви пивовар і вас так потішило обране пиво, що ви вирішили його відтворити. Протестували рецептуру, сколотили бізнес-план, і ось ваше пиво вже конкурує в магазині зі своїм прототипом, попереднім поколінням. Через десять років ви пивний магнат, полиці магазинів забиті варіаціями вашого пива, а те попереднє пиво ніде не знайти. Чим це не еволюція пива?

Якщо мінливість - паливо, а спадковість - колеса, то добір - це водій. Відбір вирішує, куди машина їде. Про цього водія варто поговорити окремо.

У вас спина страшна

Індійські заклинателі змії нібито гіпнотизують тварину мелодією своєї дудки пунгі (насправді, щоправда, змія слідує за рухом інструмента, а не хитається в транс). Одна зі змії, яку таким чином закликають, - індійська кобра, відома, крім знаменитого капюшона, своєрідним малюнком на його спинному боці: дві чорні плями, з'єднані знизу дугою перемичкою. Індійську кобру ще називають окулярною коброю, не тому що її всі бояться, а тому що ці чорні плями сильно нагадують окуляри. Ну, або очі, з носом посередині.

Кобра - тварина незрівнянної краси і грації. Подивіться відео кобри, що б'ється з мангустом, це справжній смертоносний танець, гідний фільмів про кунг фу. Кобра - хижак, що харчується в основному гризунами і жабами. Великих звірів кобра воліє уникати. Навіщо їй "окуляри" на капюшоні? Це очевидно: щоб відлякувати цих великих звірів, які підкрадаються ззаду. У природі дуже мало вертикальної симетрії. У нас, людей, є мости і будівлі, але в лісі головний вертикально симетричний об'єкт - це очі, спрямовані прямо на тебе. А дивиться так на тебе зазвичай той, хто просто зараз хоче тебе з'їсти. Тому, якщо з трави раптом виростає пара величезних чорних очей, усі лякаються, а кобра врятована. Все ясно.



Огковая кобра и ее очки

Але є одне питання, яке я дуже люблю крутити в голові. Чи знає кобра, що в неї очі на спині?

Для мене це запитання, як коан, означає щось більше, ніж власне відповідь. У ньому видно переверот мислення, той самий перелом інтуїції, який несе в собі теорія еволюції. Він ніби підходить до самої кромки здорового глузду і плює в безодню. Ні, кобра не знає, що в неї на спині малюнок. Вона ніколи не дивилася в дзеркало, веде самотнє життя і навряд чи може усвідомити зв'язок між собою та іншими кобрами. Але якщо не знає кобра, то хтось же має знати?

У живих організмах усе здається спеціально задуманим. Рослини не розмірковують про свої кольори, але хтось має знати, що, якщо подивитися в ультрафіолетовому світлі на соняшник, видно візерунки, пристосовані під зір комах. Хтось має знати, що листохвостий гекокон має вигляд точнісінько як лист, що впає, а паличник - як паличка. Хтось має знати, що ногами ходять, а крилами літають, що серце качає кров, а нирки - сечу. Але якщо не самі володарі ніг і крил, то хто?

За Дарвіном, це знання походить із відбору. Це він рулить машиною еволюції. Це добір малює картину на полотні мінливості. Відбір - це відображення світу, його поточних властивостей, запитів і обмежень у властивостях і здібностях живих організмів. Відбір пропускає в майбутнє змії з лякаючим візерунком у вигляді очей на спині і залишає в минулому змії з усіма іншими візерунками. Відбір - як вишибала вічності. Саме завдяки йому нам здається, що світ створений розумно: ми бачимо тільки маленьку жменьку відібраних. Коли люди сприймають еволюцію як випадковий процес, не здатний до творчих рішень на кшталт очей на спині кобри, вони упускають потужну і абсолютно невідповідну креативну силу відбору.

Тут потрібно розібратися з термінами. Дарвін користувався фразою *natural selection*, що традиційно перекладається російською мовою як "природний відбір". Але Дарвін під словом *selection* мав на увазі те, що сьогодні ми б назвали російською селекція, тобто відбір і виведення людьми сортів рослин і порід тварин. "Походження видів" фактично побудовано на аналогії: дивіться, селекціонер створює породи, обираючи кращі ознаки в кожному поколінні, і так само природна селекція виводить з одних видів інші.

Загалом, термін *natural selection* чимось схожий на назву "Близький Схід" - дуже смішну, тому що величезний географічний регіон визначається через його близькість до Європи. Так і тут: центральна сила природи визначається через виведення людиною сортів кабачка. З космічного погляду логічніше сказати, що виведення кабачків людиною - окремий випадок загального принципу добору, який лише поверхово відрізняється від, скажімо, виведення риб водою або виведення квітів бджолами.

Російськомовний відбір, утім, набагато абстрактніший термін, ніж селекція. Я вважаю за краще використовувати його саме в такому абстрактному вигляді - "отбор", без епітета "естественный". "Природний відбір" - це не дуже вдалий переклад злегка застарілої метафори. Говорячи "природний добір", ми розуміємо цей термін у вузькому сенсі, закладеному в нього Дарвіном: виживання більш пристосованих варіантів живих організмів під тиском неминучої конкуренції за ресурси. Оригінальна теорія Дарвіна зразка 1859 р. полягає в тому, що цей природний відбір - головне пояснення будь-яких видових ознак.

На мій погляд, своєю відчуженістю термін "відбір" розширює сьгоднішній сенс цієї теорії й акцентує увагу на її загальнофілософському значенні.

По-перше, варіанти можуть виживати незалежно від конкуренції за ресурси. Дарвін і сам не стверджував, що "природна селекція" - суворо єдиний механізм еволюції, наводячи як приклад "статеву селекцію", або статевий добір, наприклад, добір різнокольорового пір'я птахів вподобаннями самок. Про птахів та їхні естетичні уподобання розмова попереду, але суть у тому, що добори бувають різні. Навіть якщо головний із них - це добір унаслідок боротьби за ресурси, сила теорії Дарвіна саме в тому, що до еволюції може призвести будь-який добір, головне, щоб щось від чогось відсіювалося за якимось конкретним принципом.

По-друге, варіанти, які відсіваються один від одного, зовсім необов'язково мають бути живими організмами, і їхнє "виживання" зовсім необов'язково має бути реалізовано, користуючись енгельсівською термінологією, "білковим тілом".

У цікавому онлайн експерименті Darwin Tunes, наприклад, користувачі слухали аудіозаписи, згенеровані випадковими варіаціями комп'ютерного коду, і оцінювали їх за шкалою від 1 до 5. Варіанти коду з високими оцінками копіювали і перемішували, вироблені ними звуки пропонували новим слухачам і так далі. Тобто дано: мінливість - випадкові варіанти коду випадково перемішуються; успадкування - нові варіанти коду складаються з попередніх; добір, тільки в даному випадку добір полягає не в конкуренції за ресурси, а в конкуренції за музичні вподобання користувачів. Результат: шум еволюціонує в музику. Сайт проекту давно закритий, але аудіозаписи легко знайти на SoundCloud за запитом "Darwin Tunes", що я і рекомендую зробити читачеві. Через 500 поколінь у випадково згенерованій стіні звуку з'являється ритм, через кілька тисяч пробивається сопілка, і на певному етапі виходить композиція не гірша і не краща за будь-яку мінусовку на будь-якому шкільному концерті з часів винаходу синтезатора Casio¹².

Загалом, добір - це більше, ніж боротьба живих організмів. Як ёмко сформулював поняття "відбір" один із моїх далеких від науки друзів: "Хороші ідеї виживають, погані - ні".

Чи можна уявити мінливість і успадкування без добору? Нехай світ населений різноманітними грибами, які постійно мутують, абсолютно не конкурують і радісно розмножуються, бо їм особливо нічого не потрібно, крім місця і перегною. Що станеться? Місце і перегній рано чи пізно закінчаться. Почнеться конкуренція, а отже, хтось буде виживати, а хтось ні. У всього матеріального є межі, а де межі - там відбір.

Навіть якщо використовувати термін "відбір" у ширшому сенсі, то уявити нескінченне необмежене відтворення складно. Припустимо, йдеться знову таки про варіанти комп'ютерного коду, і припустимо, що ці варіанти розмножуються без жодних обмежень. Що означає "без жодних обмежень"? Хоч би яким великим був обсяг пам'яті комп'ютера, він має межу, і, якщо код розмножується без обмежень, рано чи пізно він упреться в цю межу. У такому разі код може припинити розмножуватися, а може виявитися, що одні варіанти вміють перезаписувати себе на місце інших, а інші так робити не вміють. Тобто автоматично виникне конкуренція за пам'ять, а отже - виникне відбір.

Такі уявні експерименти допомагають відчутти важливу, на мій погляд, ідею: відбір - це властивість природи. Його не може не бути. Він закладений у логіку Всесвіту. Він існує просто за визначенням. Хороші ідеї виживають, погані - ні. Що таке хороша ідея? Це ідея, яка виживає. Що таке погана ідея? Це ідея, яка не виживає. За замовчуванням у світі зникає все. Але іноді серед цих зникаючих речей з'являються речі, які вміють не зникати. Цей факт і є відбір.

У нашому лаконічному формулюванні теорія Дарвіна складає три явища - мінливість, спадковість, добір - і отримує еволюцію, тобто зміну видів із часом. Такий запис теорії у формі рівняння мені симпатичний саме тому, що він підкреслює свою логічну невідворотність. Якщо є мінливість, спадковість і відбір, це гарантує еволюцію. У цій абстрактній закінченості, у зведенні еволюції з рангу біологічних гіпотез у ранг математично обґрунтованої теорії розвитку природи, полягає, на мій погляд, головна заслуга Дарвіна.

Гіпотези та теорії

Гіпотеза - це питання, на яке в принципі є відповідь. Наприклад, у мене є гіпотеза, що слово "ботанік" у значенні "гік" походить від прізвища "Ботвинник". Це може бути правдою, а може бути неправдою.

Гіпотеза про еволюцію може звучати, наприклад, так: "Види змінюються з часом". Цю конкретну гіпотезу можна перевірити й підтвердити, простеживши поступові зміни в геномі мікроорганізму, що швидко розмножується, або, скажімо, у статистиці зустрічальності генотипів птахів. Підтверджена гіпотеза стає фактом, і існування еволюції як явища - дійсно факт.

Можуть бути й інші, складніші гіпотези, наприклад: "Людина походить від мавпи" або "Життя почалося в океані". Навіть якщо ці гіпотези не перевірити напряму, принципово вони можуть бути правильними або неправильними. У таких випадках - коли перевірка гіпотези неможлива - ми керуємося своїм уявленням про реальність, тобто теорією.

Теорія - це не запитання і навіть не відповідь. Теорія - це пояснення.

Якщо "ботвинник" справді з часом перетворився на "ботаніка", якими могли бути причини такого перетворення? Можна припустити, що образ великого гротесктера має фонетичну та семантичну схожість з образом ботаніка. Можна припустити, що справа в тенденції розмовної мови до вкорочення слів. І ось це вже теорії: пояснення фактів за допомогою більш загальних, більш абстрактних принципів. Гіпотеза - це припущення про щось невідоме. Теорія - це пояснення вже відомого.

Пам'ятаєте, як капітан Фіцрой не хотів пускати Дарвіна на "Бігль" через його фізіогномічно неприйнятний ніс?

Фізіогноміка своєю популярністю серед дивакуватої європейської аристократії зобов'язана Йогану Лафатеру. Швейцарський теолог, поет та інтелектуал Лафатер був модним спіритичним гуром попередньої епохи: у 1782 р. до

нього, наприклад, під ім'ям графа та графині Сіверних приїжджали майбутній імператор Павло з великою княгинею Марією Федорівною, яка потім багато років із ним листувалася. Вчення Лафатера мало неоднозначну репутацію навіть серед сучасників, але він примудрився надати йому ауру благородного мистецтва, таємничої науки людської душі. Це вчення багатьом подобалося: просто так не любити людину за морду цеглою начебто непристойно, а якщо ти в цій цеглі читаєш божественний тайнопис, зовсім інша справа.

ДО РЕЧІ

Фізіогноміку іноді плутають із френологією - іншим вченням, до завдань якого теж входило розшифрування внутрішнього через зовнішнє, а саме властивостей характеру на основі форми черепа. Френологічні та фізіогномічні гіпотези дуже схожі і з сучасних позицій однаково невірні. Але як теорія френологія має зовсім іншу основу. Вона свідчить, що свідомість має матеріальну природу, що різні аспекти розумової діяльності локалізовано в різних частинах мозку і що ці різні частини мозку під час розвитку по-різному впливають на кістку, яка росте. Френологічна теорія матеріальності та локалізації уявних функцій для свого часу була дуже прогресивною. Якщо не брати до уваги деталей, пов'язаних із розвитком черепа, вона й донині пояснює багато чого з того, що ми знаємо про мозок.

Що таке фізіогноміка? Це ідея про те, що за обличчям можна судити про приховані, внутрішні властивості людини. Сама по собі ця ідея ніяк не пояснює, з чого це раптом лоб або ніс мають відображати моральні якості або розум. Тому теорією фізіогноміку ніяк не назвати. Це радше гіпотеза - припущення, яке можна перевірити, наприклад, зіставивши результат IQ тесту з довжиною носа у великої вибірки людей. (Як неважко здогадатися, за такої перевірки гіпотези Лафатера сучасними методами вона швидко розсипається.)

У чому тоді полягає теорія Лафатера? Вона суто релігійна. Бог створив людину за своїм образом і подобою, а отже, ідеальна людина і зовні прекрасна, і внутрішньо добродісна. Що далі від Бога - то людина потворніша і водночас слабша духом. Звідси і відповідність між обличчям і душею.

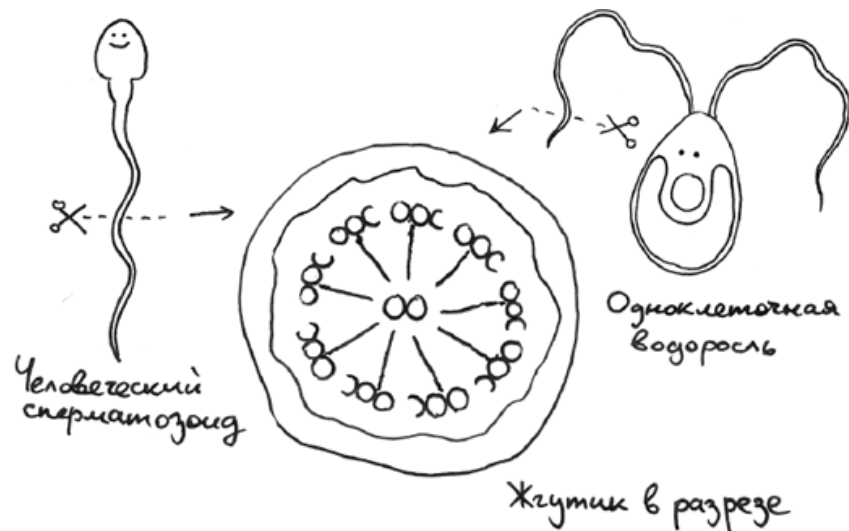
У Дарвіна було безліч гіпотез: що між видами мають бути перехідні форми, що види пристосовані рівно настільки, наскільки цього вимагає середовище, і так, що людина походить від мавпи. Усе це питання, відповіді на які він припускав на основі свого бачення внутрішньої логіки природи. Ця внутрішня логіка і є теорія Дарвіна. Як і будь-яка теорія, це не питання про невідоме, а пояснення відомого - пояснення, яке елементарно простіше, ніж непізнаваний Бог.

"Ніщо в біології не має сенсу, окрім як у світлі еволюції"

Коли я навчався в інституті, цей заголовок класичного есе Феодосія Добржанського здавався мені емоційним перебільшенням, у дусі "у бабусі найкращий борщ у світі" або "немає нічого страшнішого, ніж "Ашан" 31 грудня". Я зрозумів, що хотів сказати Добржанський, тільки коли сам став задавати це есе додому студентам. Річ навіть не в тому, що за минулий період я щось таке особливе зрозумів, а в тому, що вчився я російською мовою, а викладаю англійською.

Це цікавий приклад нестикування двох мов. Знаменитий генетик і еволюціоніст Добржанський родом з України, але більшу частину життя і кар'єри провів у США. Есе 1973 р. в оригіналі написано англійською мовою і називається "Nothing in biology makes sense except in the light of evolution". Англійська конструкція "make sense" погано перекладається російською мовою. Фраза "мати сенс" схожа лише віддалено. Під "сенсом" можна розуміти як "внутрішню логіку" ("я зрозумів сенс анекдоту про панаму"), так і "обґрунтованість" ("немає сенсу ображатися на дурнів"). Тому "ніщо в біології не має сенсу, окрім як у світлі еволюції" у студентські роки звучало для мене, біолога-початківця, так, ніби Добржанський вимагав від мене винятково роботи, тією чи іншою мірою пов'язаної з еволюцією. Якщо я, наприклад, хотів тестувати ліки або вивчати фізичні властивості нервових клітин, то мені здавалося, що Добржанський неодмінно назвав би такі дослідження "безглуздими", тим самим виключаючи мене з біології.

Але словосполучення "make sense" означає не обґрунтованість, а саме наявність внутрішньої логіки - те, що приблизно можна виразити фразою "все сходиться". Есе Добржанського саме про це: про те, що в біології нічого не сходиться, окрім як якщо уявити, що все сталося внаслідок еволюції.



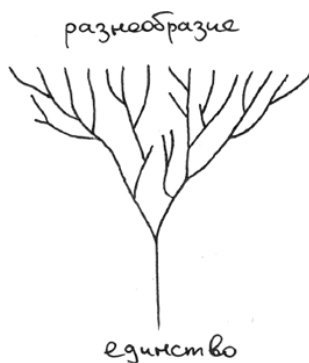
Справді, жива природа - царина інтересів науки біології - дуже дивна штука, якщо відмовитися і на секунду забути всі біологічні теорії. Пам'ятаєте галапагоських в'юрків? Можна, звісно, припустити, що Бог творив їх "осередками", акуратно пристосовуючи під ним же закладені відмінності в рослинності і комбінуючи з іншими, спеціально підібраними видами, але це виглядає якось дивно. Точно так само дивно і все інше. Навіщо у світі стільки видів? Їх буквально мільйони, і кожен по своєму унікальний. Більшу частину цього планетарного біорізноманіття ніхто і не бачив до винаходу мікроскопа¹³. Навіщо все це треба? І чому, незважаючи на свої незліченні відмінності, всі ці види проте так один на одного схожі? Якщо вони створені безмежною фантазією Творця, чому вони всі складаються з клітин, ніби їх збирали з конструктора? Чому в комах шість ніг, а в хребтних чотири? Чому джгутик людського сперматозоїда в розрізі має такий самий вигляд, як джгутик одноклітинної водорості?

Що пояснює теорія еволюції? Добржанський у своєму есе наводить дві якості живої природи: різноманітність і єдність¹⁴. Наявність безпрецедентної, неохопної кількості форм у сукупності з упорядкованістю цих форм у єдину систему груп і подібностей. Різноманітність і єдність - це те, що "не сходиться" в живій природі, якщо тільки не допустити, що жива природа перебуває в постійному русі.

ДО РЕЧІ

Навіть найбільш "миттєві" галузі біології, далекі від викопних кісток, просто не зростаються без теорії еволюції. Фізичні властивості людських нервових клітин, наприклад, багато в чому відомі завдяки роботі на гігантських нервових клітинах кальмара. Без еволюційного підґрунтя абсолютно незрозуміло, як нервові клітини кальмара пов'язані з людськими, як вони можуть настільки від них відрізнятися і водночас бути настільки на них схожими. Будь-яке дослідження на модельному організмі в принципі засноване на припущенні, що між цим організмом і людиною є щось спільне. А це припущення засноване на теорії еволюції. Тестування ліків (можливо, найбільш приземлена і практично орієнтована галузь біології) теж вимагає еволюційного мислення - інакше, наприклад, незрозуміло, навіщо клітині стільки молекул, які так мріють спричинити в ній рак, чи в чому полягає мотивація рецептора, що відправляє в ядро сигнал до клітинного самогубства. Усі ці питання стають на свої місця, тільки якщо згадати про відбір і про мільйони поколінь, що передують будь-якому процесу в живому організмі.

Щоб зрозуміти життя на Землі, потрібно так чи інакше зігнути повсякденне мислення незвичним чином. Найпростіший спосіб це зробити - уявити Бога, розумного Творця. Це добре пояснює, чому все живе так розумно влаштоване. Але розумне творіння погано пояснює різноманітність і єдність. (Наприклад: навіщо Творцеві стільки жуків і, якщо вже така пристрасть, чому всі вони обов'язково мають бути шестиногими?) Ці властивості живої природи набагато інтуїтивніше пояснюються еволюцією, походженням зі зміною.



Чому у світі стільки видів? Тому що все живе перебуває в постійному русі в усіх напрямках, і види - просто поточний зріз цього руху в часі.

Чому вони так схожі один на одного? Тому що вони походять від спільних предків, і що ближчий спільний предок двох видів, то сильніша їхня схожість.

Чому вони так хитро влаштовані? Тому що змінюються вони дуже давно і встигли розв'язати безліч проблем, а коли стільки проблем вирішено, це виглядає так, ніби їх ніколи й не було.

Останній кошмар Дарвіна

Дарвін ніколи не вирізнявся ні міцним здоров'ям, ні гарним настроєм, точно підтверджуючи фізіогномічний прогноз Фіцроя. За різними версіями, виною тому могла бути хвороба Шагаса, непереносимість лактози, алергія або отруєння миш'яком, але за життя діагноз Дарвіну поставити ніхто не міг¹⁵. Так чи інакше, він вів замкнутий спосіб життя (у нього зовні будинку навіть було дзеркало заднього виду, що попереджало його про наближення небажаних гостей¹⁶), він весь час погано почувався і постійно чимось мучився. Особливі муки викликала у Дарвіна критика його теорії, відома як "кошмар Дженкіна".

Флемінг Дженкін - ще один колоритний герой свого часу, майстер на всі руки: інженер, економіст, філолог, драматург, художник і актор. Придумав криві попиту і пропозиції, а також канатну дорогу, писав книжки про атомну теорію Лукреція і про здорове домашнє господарство, писав вірші і в перервах спростовував Дарвіна.

Суть аргументу Дженкіна сьогодні формулюється як "поглинаючий вплив вільного схрещування". Його ще називають "заболочувальним аргументом". Нехай у межах виду з'являється рідкісна варіація, той самий дзьоб, який, припустимо, значно більший за норму і дає птаху можливість краще колоти горіхи. Природний відбір на його боці. Припустимо, цей птах із великим дзьобом об'ївся горіхів і пішов розмножуватися. З ким він буде схрещуватися? Зі звичайними птахами, у яких немає великого дзьоба. Вийде кілька пташенят із дзьобами десь посередині. У них перевага великого дзьоба буде вже менш виражена. За пару поколінь вона розмиється ("заболотиться") і повернеться до середнього. Звідки тут узятися походженню видів? Природний відбір, резюмує Дженкін, у принципі не може створити новий вид, тому що будь-які відхилення швидко змішуються зі старим видом.

ДО РЕЧІ

*Сам Дженкін у своїй статті, опублікованій у журналі The North British Review за червень 1867 р., користується прикладом, за сучасними стандартами, майже сюрреалістичної грубості: "Уявімо собі білу людину, яка зазнала корабельної аварії на острові, населеному неграми... Наш герой, що вижив, можливо, стане серед них королем; він уб'є дуже багато чорношкірих людей у боротьбі за виживання; він заведе дуже багато дружин і дітей, тоді як безліч його підданих житимуть холостяками і помруть холостяками... Якості та здібності нашої білої людини, безсумнівно, допоможуть їй дожити до глибокої старості, але навіть її довгого життя вочевидь не вистачить для того, щоб хтось із її нащадків у якомусь поколінні став повністю білим... У першому поколінні буде кілька десятків тямущих молодих мулатів, чий розум у середньому перевершуватиме негритянський. Нас не здивує, що трон протягом кількох поколінь належатиме більш-менш жовтошкірому королеві; але чи зможе повірити хтось у те, що населення всього острова поступово стане білим або нехай навіть жовтим?.."*¹⁷

Дарвін до кінця свого життя робив припущення, але так і не придумав, що робити з Дженкіном і його "болотом". Сьогодні ми б відповіли цій людині багатьох талантів та забобонів, що вона неправильно розуміє природу спадковості: та працює не шляхом "злиття рідин", а радше шляхом комбінування інструкцій. Але без знань про гени, мутації та ДНК здогадатися, як насправді працює спадковість, просто неможливо - це все одно що здогадуватися, який вигляд мають інопланетяни. Тому для свого часу суперечка була просто нерозв'язною.

Космічна іронія моменту полягає в тому, що рівно в той самий час, коли публікувалася й критикувалася усім науковим світом теорія Дарвіна, майбутній "батько генетики", а тоді нікому не відомий чеський чернець, Грегор

Мендель проводив експерименти на горосі, що принципово могли би заткнути дженькінську прогалину в теорії Дарвіна. Зрештою це і сталося, але вже у ХХ ст., коли відкриття в різних сферах біології було синтезовано в нову, оновлену теорію. В основі цього "Нового синтезу" (Modern Synthesis) насамперед лежать дарвінівська теорія і менделівська генетика. Але за життя Дарвін із Менделем ніколи не зустрічалися. Експерименти Менделя залишилися непоміченими і були забуті аж до кінця ХІХ ст., коли його ключові висновки були повторно відкриті новим поколінням учених. Дарвін же до кінця життя мучився незнанням. Щодо того, щоб помучитися та заморочитися, він, щоправда, ніколи не підводив.

ДО РЕЧІ

Дарвін і сам припускав щось подібне до менделівського успадкування: він уявляв мікроскопічні частинки, що передають спадкові ознаки організму через статеві клітини в нове покоління. Частинки він називав "геммули", а всю гіпотезу спадковості "пангенезис". Саме від цього слова веде своє походження слово "ген". Але для самого Дарвіна "частинки успадкування" назавжди залишилися уможлядною гіпотезою.

Мендель і його горох - це дуже круто, але тільки якщо ви вже добре розумієте, як усе насправді працює. Саме тому, на мій погляд, закони Менделя в шкільній програмі просто пекельна нудота. Механіка спадковості - це механіка молекул. Ми не будемо намагатися відновити логіку людини з ХІХ ст., яка намацала інтимне життя цих молекул у своїх розрахунках забарвлення гороху. Спадковість набагато простіше зрозуміти, якщо поглянути на світ з точки зору самих молекул. Тому від Дарвіна, Дженкіна і Менделя ми вирушимо не вперед, до Моргану, Добржанського і трійці Франклін - Вотсон - Крік, а назад, у глибину вічності й у глибину океану, до наших гідротермальних джерел, з яких усе почалося.

Гідротермальний дарвінізм

Ми залишили наші РНК машини, коли вони навчилися створювати копії власних послідовностей. Самі того не підозрюючи, ці молекули тим самим потрапили під юрисдикцію теорії Дарвіна, їхнього далекого правнука.

Згідно з визначенням американського космічного агентства NASA, відповідального зокрема за пошук позаземного життя, життя - це "хімічна система, здатна до дарвінівської еволюції". Тобто суміш молекул стає живою, якщо вона здатна до успадкування, має мінливість і схильна до відбору.

У попередньому розділі ми простежили найскладнішу з цих вимог: успадкованість, те саме ноу-хау життя, яке разом змінює правила гри для шматка матерії. У сучасному світі успадкованість досягається копіюванням ДНК за посередництвом білків, але першим прототипом успадковуваної системи більшість біологів сьогодні вважає ту чи іншу форму РНК, що самокопіюються. Я, наприклад, виступаю за автокаталітичні ансамблі з різних РНК, що сукупністю своєї роботи забезпечують власне відтворення десь у товщі гідротермального джерела.

Мінливість цих РНК, як і всіх їхніх нащадків, пояснити куди простіше. Це просто елемент випадковості. Ті ж камені різноманітні не тому, що в них є якась особлива властивість різноманітності, а просто через хаотичність природи. Немає двох однакових сніжинок або двох однакових крапель води, тому що і сніжинки, і краплі - складні системи, що складаються з астрономічної кількості молекул, у поведінці яких буває маса випадковостей. Але для теорії Дарвіна такого хаосу мало: вона стоїть не просто на мінливості, а на успадкованій мінливості.

Якщо багаторазово робити ксерокопії одного й того самого оригіналу, то ці ксерокопії будуть майже не відрізнятися одна від одної. Але якщо скопіювати на ксероксі фотографію, потім її копію, потім - копію копії і так далі, поступово вона стане невпізнанною. Те ж саме станеться, якщо багаторазово перезберігати файл у форматі jpeg, як, наприклад, у ВК-спільноті "Путін кожен день", де фотографія президента з кожним днем втрачає якість і вже давно має вигляд незграбної чорно-білої галюцинації¹⁸.

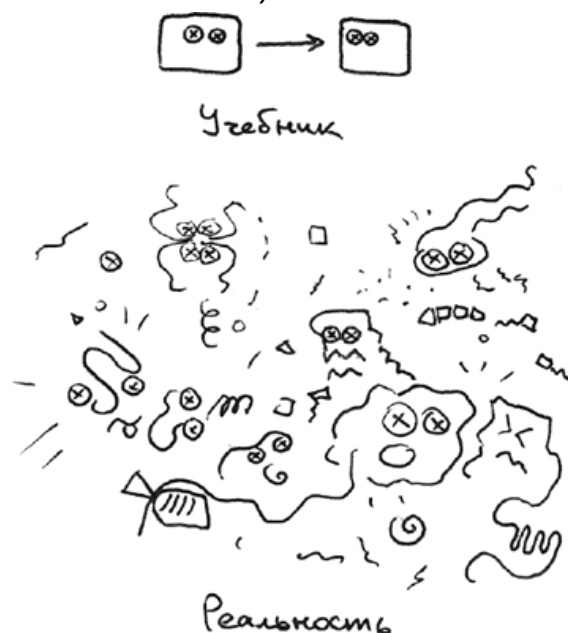
Чому це відбувається? Тому що копіювання робить випадкові швидкоплинні зміни постійними. Вище я згадував, що успадкування дає ознаці доступ до вічності. Спотворення, що виникають у кожній ксерокопії, можуть бути дрібними і випадковими, але якщо продовжувати їх копіювати, то вони зберігатимуться і накопичуватимуться.

Будь-яка хімічна реакція, включно зі складанням ланцюжка РНК або ДНК, - це зіткнення молекул, унаслідок якого відбувається перерозподіл їхніх електронних хмар. Молекули вдарилися одна об одну своїми атомами, а ось зіллються їхні хмари в одну чи ні - це вже справа випадку. Буває, що зливаються майже завжди, а буває - коли як. Молекули постійно бовтаються туди сюди з величезною швидкістю й увесь час одна в одну врізаються, й іноді від цього в них щось переламується, щось кудись притягується, щось звідкись відвалюється, а щось кудись приклеюється. Тому випадкові, ненаправлені й малоймовірні реакції постійно відбуваються з усіма молекулами, від білків і ліпідів до РНК і ДНК. Але поломка білка - це як спотворення в ксерокопії з оригіналу, бо білки завжди виробляються з нуля, а не з інших білків. Спотворення першої ксерокопії рідко буває суттєвим, а якщо раптом копія вийшла зовсім косою, її можна викинути і переробити. Поломка в ДНК, або мутація, відрізняється тим, що вона зачіпає не тільки цю одну конкретну молекулу, а й усіх її нащадків.

Мутації - результат неминучої хаотичності молекулярного світу. Часом замість найімовірнішої реакції відбувається менш імовірна: у разі копіювання ДНК, наприклад, замість комплементарного нуклеотиду може зустрічатися некомплеметарний. Нуклеотиди або цілі ланцюги іноді тупо ламаються, іноді до них приклеюються молекули, які змінюють їхні властивості, і так далі. Якщо зламався білок, то він зрештою буде просто списаний, розібраний клітиною на амінокислоти, і про його поломку всі забудуть. Поломка в ДНК, якщо її вчасно не виправити, під час наступного копіювання стане невіддільною від оригіналу.

ДО РЕЧІ

У підручнику всі внутрішньоклітинні процеси показано акуратними стрілками, ніби молекули цілеспрямовано йдуть до обраного партнера і ввічливо з ним реагують, коли клітині це потрібно. Насправді молекули поняття не мають, що їм робити. Просто їх така кількість, і носяться вони клітиною з такою швидкістю, що встигають за частку секунди випадково зіткнутися з підходящим за хімічними властивостями партнером. Клітина забита складними молекулами, як вагон метро в годину пік, тільки в цьому вагоні всі безперервно стрибають, перекидаються і ходять один в одного по головах із неймовірною для нашого макроскопічного світу швидкістю. Моя улюблена ілюстрація цієї швидкості - синтез білка. Як читач пам'ятає з попереднього розділу, під час цього процесу стрічку матричної РНК пропускають через рибосому, яка підбирає під кожне з трибуквених "слів" відповідну амінокислоту. Цих амінокислот 20 штук, і кожна доставляється в рибосому спеціальною транспортною РНК. Як відбувається "підбір" потрібної амінокислоти під поточне "слово"? Та ніяк. Просто клітина кишить транспортними РНК з прикріпленими до неї амінокислотами, і періодично вони випадково залітають у спеціальне віконце рибосоми, і періодично з 20 типів цих транспортних РНК, що залітають, одна виявиться підходящою під "слово", яке наразі перебуває всередині рибосоми. Тобто рибосома в буквальному сенсі чекає, поки в неї випадково залетить потрібна деталь із десятків можливих - і так на кожному ступені збирання білка, який зазвичай складається з декількох сотень амінокислот. Скільки ж часу займає настільки клопіткий і малоімовірний процес? Середній білок завдовжки в 500 амінокислот збирається на рибосомі близько 25 секунд, тобто швидкість, з якою в рибосому залітають відповідні амінокислоти, - 20 штук за секунду (невідповідні амінокислоти, ясна річ, залітають у десятки разів частіше). Не знаю, як вам, а мені таких швидкостей навіть не уявити.



У сучасному світі клітина робить усе можливе, щоб знизити ймовірність мутацій. Наприклад, у людини полімерази, які в'яжуть копію ДНК, уміють ловити помилки, повертатися назад і стирати невірну "букву". Цілі команди білків-дружинників бродять геномом і перевіряють, щоб усе було комплементарно, зшивають, якщо порвалося, переписують, якщо пошкодилося. Частково це пов'язано з тим, що, на відміну від стародавніх РНК, для яких випадкові мутації були єдиним джерелом мінливості, у нас, сучасних видів, є інші, менш ризиковані та більш ефективні способи внести в життя розмаїття між поколіннями - передусім статеве розмноження, під час якого перемішуються гени двох різних організмів. Але про це розмова попереду. Дивно не те, що в сучасних клітинах мутаціям протистоїть жорстка інспекція, а те, що за всіх хитрощів клітини мутації все одно відбуваються, нехай і істотно рідше. У цьому сенсі мінливість, як і відбір, теж сила природи, хаос, закладений у принципах роботи Всесвіту. Його може бути більше або менше, але не може взагалі не бути.

Отже, наші стародавні РНК машини вміють відтворювати самих себе, тобто розмножуватися, успадковуючи при цьому ознаки своїх батьків. Завдяки комплементарному копіюванню вони успадковують послідовності батьківських нуклеотидів. Але в цьому процесі неминучі помилки, тобто в послідовностях періодично з'являтимуться успадковані зміни. Оскільки в РНК інформація (послідовність) визначає функцію (те, що молекула вміє робити), принаймні деякі з цих змін послідовності відібіються на вмінні молекули відтворюватися, тобто між двома різними копіями неминуче виникнуть відмінності в здібностях. І тут до справи долучається добір, який вирішує, які з варіантів кращі, а які гірші.

Як уже згадувалося, добору просто не може не бути, було б успадкування. Якщо немає відбору, отже, немає жодних проблем, тобто все копіюється однаково добре без найменших труднощів. Але рано чи пізно проблеми з'являться. Якщо РНК, що самокопіюються, обмежені кількістю доступних нуклеотидів, то молекула, що хапає ці нуклеотиди швидше за інших, буде розмножуватися у великих кількостях - тобто буде відбір на швидкість споживання нуклеотидів. Якщо вони обмежені певною температурою, то молекула, яка вміє працювати за інших температур, знайде багато вільного місця і його заповнить - тобто буде відбір на термостійкість. Якщо вони обмежені тільки простором - припустімо, гідротермальним джерелом, - то вони розмножаться до меж цього джерела, і перевагу отримає молекула, яка вміє розбирати або витіснити інші молекули. Логічно припустити, що нащадки перших РНК на тому чи іншому етапі були обмежені всіма цими факторами, і логічно, що за сотні мільйонів років всі ці проблеми були поступово вирішені. Необов'язково уявляти собі молекули, які свідомо прагнуть до досконалості, достатньо уявити, що є купа молекул, які відтворюються. У цьому і є основна відмінність теорії Дарвіна від теорії розумного творіння. Розумне творіння - це коли невидима сила спочатку вибирає ідею, а потім її реалізує. Дарвінізм - це коли ідея спочатку реалізується, а потім невидима сила її обирає.

Це підводить нас, можливо, до головної властивості життя як явища: сам факт існування життя штовхає його до вирішення проблем, що стоять перед ним. Якщо є життя, то воно або безконтрольно розмножується, або у нього є проблема, яка цьому заважає. Якщо є проблема, принципове розв'язання проблеми і час - то проблема рано чи пізно буде вирішена. Життя у формі РНК вміє еволюціонувати, тож рано чи пізно воно стане складнішим, ніж просто РНК.

Що рухає цими еволюціонуючими РНК? Сам факт того, що вони існують. Вони множаться у своїх складних розгалужених комбінаціях, тому що можуть, і сам факт того, що вони це можуть, поступово розширює їхні можливості. Для цього їм обов'язково замислюватися про майбутнє. "Першородна РНК" не мріяла навчитися новим хімічним трюкам або стати стабільнішою, але одного чудового дня серед її нащадків знайшлися такі, у яких вийшло це реалізувати. Все інше померкло, забулося, зникло. Так було винайдено білки, і так було винайдено ДНК, а потім і ще одне грандіозне підприємство - клітину. Ніхто з учасників процесу не думав про майбутнє, але з далекого майбутнього все виглядає саме так, ніби все задумано заздалегідь.

Потрібно зробити застереження з приводу виразів на кшталт "РНК винайшла білок" або "змії вигадали собі очі на спині", які часто використовуються в цій книжці, але за які мені б точно поставив двійку будь-який шкільний учитель біології. Мій кумир філософ Деніел Деннет називає таку форму мислення *intentional stance*, "позиція навмисності", і я із задоволенням відсилаю читача до його роботи "Небезпечна ідея Дарвіна" ²¹. Але якщо коротко, то так просто зручно думати. Оскільки в довгостроковій перспективі відбір призводить до раціонального розв'язання проблем, його можна умовно описувати як свідомі дії - щоправда, не організмів, а генів, але про це в наступному розділі.

На уроках біології вчителі зазвичай концентруються на випадковості та ненаправленості еволюційного процесу. РНК не знає, що станеться внаслідок мутації, а змії не знають, які малюнки на спині призведуть до підвищеної виживаності, тому жодної навмисності та цілеспрямованості в еволюції бути не може.

Усе це стосується мінливості: та дійсно випадкова і ненаправлена. Але мінливість - це тільки один з елементів у рівнянні еволюції. Спадковість абсолютно не випадкова: її суть саме в тому, що відтворюється щось конкретне. А добір - головна креативна сила, яка ліпить із мінливості ознаки, - взагалі не має до випадковості жодного стосунку. Він поступово, покоління за поколінням пристосовує дзьоб в'юрка під форму горіха, стебло соняшника під добові цикли, а його пелюстки - під зір комах. Результат діяльності відбору не відрізняється від розумного процесу, тому, на мій погляд, немає нічого поганого в тому, щоб обговорювати еволюцію в "раціональних" термінах. Раціональність молекули РНК - це насправді раціональність природи, яка поступово вибирає з випадкових РНК найбільш раціонально влаштовані. По суті, і людська раціональність (прототип уявної раціональності Бога-творця) - така сама раціональність природи, тільки ускладнена і прискорена.

ДО РЕЧІ

Мало того, що багато людей не беруть до уваги невідповідність відбору, вони зазвичай недооцінюють складність явищ, які можуть бути абсолютно випадковими.

Дебора Нолан, професор статистики в Університеті Каліфорнії в Берклі, проводить на лекціях такий експеримент. Вона ділить студентів на дві групи і виходить з аудиторії. Одна з груп студентів має 100 разів підкинути монету і записати результат: орел чи решка. Інша група монету не підкидає, а придумує результат від балди. Нолан повертається в аудиторію, дивиться на два результати і безпомилково вгадує, який із них справжній, а який фальшивий.

Як вона це робить? Дуже просто: вона шукає, в якому з варіантів найдовша послідовність тільки з орлів або тільки з решок. Цей варіант і буде справжнім. Коли людина намагається уявити випадковість, їй здається, що решка п'ять разів поспіль - це занадто неймовірно. Але якщо підкинути монету 100 разів, то майже завжди в отриманій послідовності орлів і решок будуть повторення по шість, сім, а то й вісім однакових результатів.

Я безсоромно вкрав цю ідею і проводжу цей експеримент кожен семестр на лекції про походження життя. Працює чудово. Мені завжди здається, що ось цього разу напевно не спрацює, але поки що таке трапилося тільки один раз, і то через мою неувважність. Студент, якому дісталася "фальшива" роль, полінувався і записав уже зовсім неймовірний результат, у якому було по 15 орлів і решок поспіль. Якби я врахував такий варіант, то без зусиль відсіяв би і цю фальшивку, але за звичкою радісно ткнув у найдовшу послідовність.

0110010011		0011101000
0101100101		0101101001
0001101110		1111000010
1100101011	("e")	1000101110
0101110111		1011111100
0001001101		0000101100
1110101011		0011100010
1001100111		0100101110
0010011010		0111011011
1011100010		1101101000
Подделка		Случайность

Час проти життя

Читач, можливо, вже звернув увагу, що всі мої описи еволюції завжди містять часовий компонент: "поступово", "рано чи пізно", "в один прекрасний день". На цій ноті варто повернутися до нашої затягнутої автомобільної метафори. Я запропонував вважати мінливість паливом, спадковість колесами, а добір водієм. Але в машини немає двигуна! "Двигун еволюції" - це така дзвінка фраза, що нею обзивають і мінливість, і спадковість, і добір, і взагалі все що завгодно. (Британські вчені виявили, що двигун еволюції - кістяний член!) Але мені здається, що двигун в еволюції один: час.

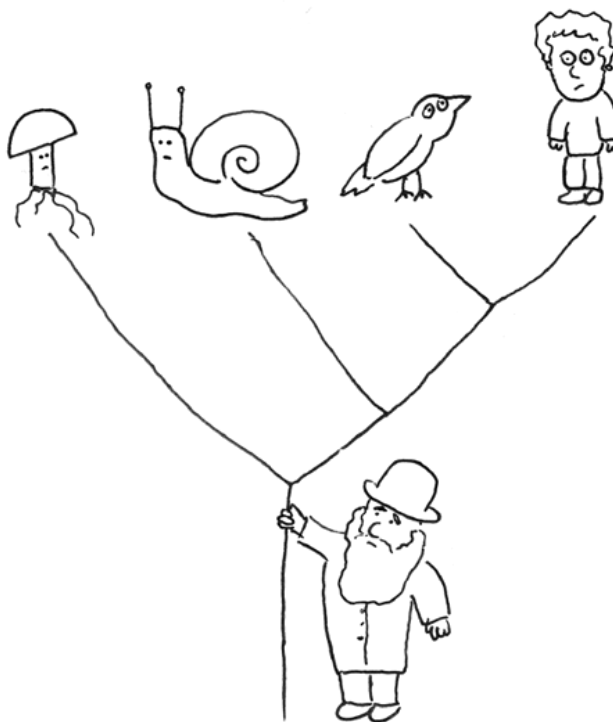
Саме природою часу визначається той принциповий факт, що ніщо не вічне. Не вічний камінь з його унікальною формою, яка рано чи пізно зникне без сліду. Не вічний морський огірок, якому рано чи пізно доведеться віддати кінці або еквівалентні частини тіла. Не вічна молекула РНК, якою б не була її послідовність. Що таке час? Це напрямок руху подій від порядку до хаосу, від сингулярності, що передує Великому вибуху, до гомогенного супу теплоти, на який Всесвіт рано чи пізно перетвориться. Що таке життя? Це протистояння хаосу, збереження порядку всупереч безладу, розмноження морського огірка всупереч його смерті, копіювання РНК всупереч її розпаду. Час за визначенням веде до зникнення, а життя за визначенням зникненню протистоїть. Час протирає життя крізь сито відбору і тим самим насичує його "хорошими ідеями". Це і є двигун еволюції.

Після Дарвіна

Якщо відмовитися від особистості Дарвіна, то з точки зору Космосу його теорія - це життя на Землі, яке усвідомлює саме себе.

У середині XIX ст., коли вийшла друком праця "Походження видів", навіть в освіченому суспільстві, яке оточувало Дарвіна, ідея біологічної еволюції, тобто зміни видів із часом, була незвичною і з релігійних міркувань ризикованою. Дарвін, звичайно, не першим здогадався, що види можуть змінюватися. Але він зумів обґрунтувати цю ідею так, щоб оточення в неї не просто повірило, а побачило прямо у себе перед очима.

Сама ідея, що види можуть змінюватися, сьогодні вже давно не викликає сумнівів у вчених і навіть увійшла в побутову свідомість. Еволюцію можна спостерігати. Її видно в одомашненні диких тварин: наприклад, у перетворенні вовка на собаку за кілька тисяч років співжиття з людиною. Її видно в геологічному літописі: наприклад, перетворення плавця на руку відновлено за викопними скелетами в найдрібніших деталях. Еволюцію ясно видно в лабораторії, де мікроорганізми і навіть людські клітини еволюціонують просто під мікроскопом, а метод під назвою "спрямована еволюція" - це рутинна біотехнологічного виробництва.



З сьогоднішнього погляду цікаво в теорії Дарвіна інше. Вона не просто пояснює, як одні види можуть походити з інших: вона пояснює, як усі види можуть походити з одного. Неважливо які: людина, птах, равлик, гриб, - усі вони в інтерпретації Дарвіна раптом виявляються родичами, паралельними гілками однієї й тієї ж історії, що починається з однієї точки. За Дарвіном, усі існуючі види - нинішні лідери однієї і тієї ж нескінченної гонки за право не вимирати.

Теорія Дарвіна ніби додала до людської картини світу додатковий вимір. Раніше ми могли мислити тільки поточним моментом, трьома вимірами простору, в яких існує світ навколо нас. Півтора століття тому ми виявили, що в природі є четвертий вимір - часовий. Від кожного з нас, як і від кожної живої істоти на планеті, в минуле тягнеться нитка, що веде до початку часів. Тільки в цих чотирьох вимірах усе навколо і стає зрозумілим.

Поява теорії еволюції - це принципова позначка в історії людства. Раніше люди були вищою формою життя, а тепер вони - одна з багатьох його гілок. Раніше світ був статичним: усе різноманіття істот просто існувало в тій формі, яку йому колись дав Творець. Тепер світ став динамічним: не тільки за людиною, а й за кожною живою істотою, кожною їхньою властивістю й ознакою в минуле простяглася нитка причинно-наслідкових зв'язків, яка веде через тисячі поколінь, через континенти й епохи, і врешті-решт сходиться разом з іншими нитками до спільного, єдиного першоджерела всього живого. Ця сукупність рівноцінності та єдності - переворот у відносинах людини і природи.

Британський біолог Річард Докінз так описав значущість цього перевороту:

"Розумне життя на тій чи іншій планеті досягає зрілості, коли його носії вперше досягають сенс власного існування. Якщо вищі істоти з космосу колись відвідають Землю, першим питанням, яке вони поставлять, для того щоб установити рівень нашої цивілізації, буде: "Чи вдалося їм уже відкрити еволюцію?""²².

Сам факт того, що ми, люди, своїм розумом дійшли до "чотиривимірної природи", це триумф. Але триумф не стільки нашого виду, скільки всього життя на Землі. Його б не сталося без бактерій, його б не сталося без рослин, його б не сталося, якби черв'яки не вмели копати або якби риби жили на суші. Наше існування - результат безперервної низки подій, що послідовно відбувалися з кожним із наших предків за мільярди років, що минули від зародження життя.

Зрештою теорія Дарвіна - про те, що наша доля невіддільна від долі наших предків. Мені здається, це те і вбило Роберта Фіцроя.

3. Навіщо все ускладнювати

А цю складну машину
Я зробив сам із ячменю.

Аж до середини XIX ст. люди здебільшого думали, що хвороби спричиняються або просто магічними способами, або "поганим повітрям", або "поганою кров'ю". Через "погане повітря", наприклад, у Нью Йорку вулиці з 1811 р. стали прокладати по сітці, щоб повітря краще проходило і народ був здоровішим. Через "погану кров" у Середні віки все лікували п'явками, які цю погану кров нібито висмоктували.

Коли в XIX ст. з робіт Луї Пастера і Роберта Коха виросла мікробна теорія інфекційних захворювань, людство раптом усвідомило, що їхній світ наповнений полчищами дрібних, невидимих, але очевидно бридких істот. І ось вони то і викликають, виявляється, всі хвороби.

Піднялася паніка. Газети кінця XIX - початку XX ст. рясніють повідомленнями про всіляких "убивць мікробів", чудо-препарати, що несуть смерть паразитам. Бактерії зображувалися огидними безформними лиходіями, яких свідомі громадяни заливали літрами хлорки. І. І. Мечников бачив у гнильних бактеріях причину людського старіння.

Людство навалилося на мікробну гадину і незабаром здобуло велику перемогу. Пеніцилін, відкритий у 1920-ті рр. Олександром Флемінгом (нібито випадково, а насправді, скоріше, за спостережливостю¹), був у цій війні ніби атомною бомбою. Принаймні, так здавалося спочатку. Масове виробництво пеніциліну розпочалося в 1943 р., під час Другої світової війни, і тоді цей препарат вважався панацеєю від усіх хвороб². Але вже до кінця 1940-х рр. з'явилися перші пацієнти, чиї інфекції на пеніцилін не реагували^{3, 4}. Їм доводилося давати нові антибіотики, сильніші або такі, що діють якимось інакше.

У той момент учені відкривали один антибіотик за іншим, тому екзистенціальної проблеми не було. Але з 1950-х рр. темпи відкриттів сповільнилися, і з 1983 р. не було відкрито жодного принципово нового класу антибіотиків широкого спектра дії (втім, частково це може бути пов'язано і з інтересами фармацевтичних компаній, яким набагато вигідніше вкладати гроші в хронічні захворювання на кшталт раку або хвороби Альцгеймера). Старі антибіотики тим часом неухильно втрачали ефективність, тож весь накопичений "ядерний арсенал" поступово приходив у непридатність.

Раніше пацієнту, стійкому до одного антибіотика, завжди можна було запропонувати інший, сильніший. Сьогодні йдеться вже про стійкість до антибіотиків, сильніших за які немає нічого. Мільйони людей (особливо в Африці та Азії) гинуть не тому, що від їхніх інфекцій немає ліків, а тому, що ці ліки більше не працюють. Всесвітня організація охорони здоров'я сьогодні обговорює неминуче настання "постантибіотикової ери"^{5, 6} і в промислово розвинених країнах. Людству в найближчому майбутньому доведеться або винаходити принципово нові способи боротьби з бактеріями, або жити з реальністю смертельно небезпечних подряпин і ускладнень від хірургічних операцій.

Як же так вийшло? Здавалося б, у війні людини, найскладнішої істоти на планеті, з мікробами, найпростішими істотами, у нас не повинно бути труднощів у століття космічних кораблів і штучного інтелекту. Проте, провівши майже століття у відступі, сьогодні мікроби завдають нам удару у відповідь. Що пішло не так? Чому ми їх знову боїмося?

На мою думку, ми недооцінили мікробів, тому що від самого початку неправильно зрозуміли, що вони з себе представляють.

Республіка з фашистськими нахилами

Словом "мікроб" взагалі то давно вже користуються тільки продавці біодобавок - ті самі, у яких в ходу слово "протеїн". Раніше так позначали все маленьке і примітивне, але сучасні біологи зазвичай називають конкретний тип мікроорганізму: наприклад, бактерії, археї, інфузорії, дріжджі (але не віруси, як-от збудники грипу або ГРВІ: ті взагалі стоять осібно від усього живого). Сьогодні ми знаємо, що мікроби настільки різні істоти, що об'єднувати їх в одну категорію - це як об'єднувати людину і куцик полуниці в категорію "макроб".

Мікробів від "макробів", утім, відрізняє одна принципова ознака: їхній організм складається з однієї незалежної клітини, тоді як людський і полуничний - з безлічі клітин, які працюють заодно. Тож коректніше називати ці дві категорії одноклітинними і багатоклітинними.

На уроці біології клітина зазвичай описується як цегла (або її молодший брат - "цеглинка"). Ми звикли думати про клітини як про деталі, бо самі з них складаємося. З багатоклітинної точки зору мікроорганізми здаються, відповідно, цеглинами на колесах. Це деталі, що плавають самі по собі, неживі бульбашки на межі живого і неживого.

Але якщо дивитися на нашу планету з космосу, то стає зрозуміло, що клітини - це насамперед не деталі, а організми.

По-перше, мікробів дуже багато. За біомасою бактерій, наприклад, у 30 разів більше, ніж тварин. Більшість організмів на планеті складається з однієї клітини.

По-друге, багатоклітинні в масштабах вічності - відносно недавній винахід, тоді як більша частина історії життя - це історія поодиноких клітин.

По-третє, весь фундамент нашого багатоклітинного життя був закладений нашими одноклітинними предками та іншими мікроорганізмами, без яких сьогоднішню людину не уявити. Одноклітинні придумали дихання, хижацтво, статеве розмноження і багато іншого, що ми вважаємо базовими властивостями власного організму. Вони придумали, як добувати їжу, заклали основу для стосунків між чоловіками і жінками, першими вдихнули в атмосферу кисень і першими вийшли з моря на сушу.

Загалом, як не крути, а типовий організм - це клітина.

Що взагалі таке організм? Можна сказати, що це машина для виживання генів. Але під такої опис підходить, наприклад, будь-який білок - теж машина, яка допомагає генам виживати. Відмінність організму в тому, що це не просто машина, а машина, всередині якої гени живуть. Якщо з нею щось відбувається, то це однаково зачіпає всі гени, які її населяють.

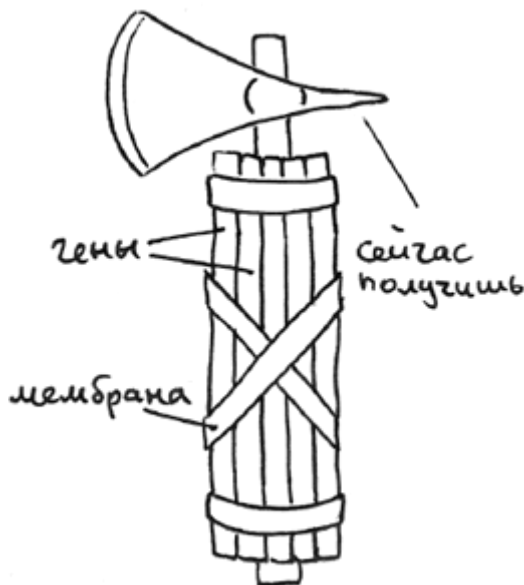
Організм - це транспортний засіб, на якому гени їдуть із точки А в точку Б. Точка А - це батьки організму, а точка Б - його діти. У цих точках гени перестрибують у нові транспортні засоби і продовжують їхати вперед. Цей рух і є виживання гена. Як читач пам'ятає, ген не матеріальний об'єкт, а фрагмент інформації, тому він виживає шляхом переїзду з одного матеріального носія до іншого, з одного покоління до наступного.

Особливість взаємовідносин генів зі своїм транспортним засобом полягає в тому, що вони його ніколи не залишають. Гени завжди подвоюються всередині організмів, а нові організми завжди, так чи інакше, відбруньковуються від старих. Від самого початку часів і до наших днів гени, тобто власне жива субстанція планети, взаємодіють зі світом виключно зсередини цих машин, на яких вони плывуть крізь час.

Чому це так принципово? Тому що це формалізує суспільні відносини між незалежними генами. Якщо організм на плаву, то всі гени в нього всередині виживають. Якщо він з якоїсь причини тоне, то всі його гени припиняють існувати, незалежно від того, наскільки вони були корисними поодиночі.

У цьому і полягає суть організму як явища. Головна його властивість не стільки в тому, що він допомагає генам вижити, а в тому, що він замкнутий, і генам із нього просто так не вийти. Організм змушує свої гени до співпраці на благо спільної справи - у них просто немає іншого вибору. Тепер вони не просто гени, вони - частина генома.

Ця ідея організму з геномом нагадує одну сумнозвісну політичну систему. Подивіться на італійський герб часів Муссоліні: пруті, зв'язані ременями в пучок ("fascis" латиною, звідси і слово "фашизм"), а з пучка стирчить сокира. Цей древній символ, на мій погляд, чудовий у своїй експресивності. Один прут зламати легко, а зв'язку прутів зламати важко. І взагалі, зараз сокирою отримаєш!



Клітинна мембрана - головний елемент будови клітини, що герметично ізолює її ДНК від навколишнього простору, - це якраз і є такий фашистський ремінь, що зв'яже гени в щільну сокиру, яка воює зі світом за виживання. Ідея організму полягає в тому, що є "свої гени", а є "чужі гени". Організм працює на всі свої гени однаковою мірою, і ні на чий інші. Сенс клітини в тому, що вона замкнута в капсулу, яка вміє ділитися, подвоюючи гени, що містяться в ній, і ніякі інші. При цьому якщо гине клітина, гени гинуть колективно. Рівно те ж саме можна сказати і про наш багатоклітинний організм.

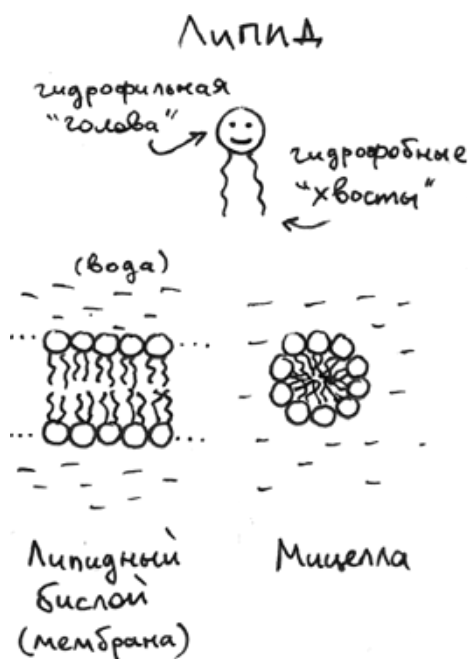
ДО РЕЧІ

Клітинна мембрана - безперервний тонкий шар, що відокремлює вміст клітини, або цитоплазму, від навколишнього світу, - це блискуче у своїй простоті й елегантності інженерне рішення.

Основу мембрани складають ліпіди. Ліпід - форма органічної речовини, до якої також належать жири. Мембранні ліпіди складніші, ніж жири, що відкладаються в жировій тканині і переважають у їжі, але мають частково схожі властивості. Жири, як відомо, не люблять воду через свою хімічну природу: якщо змішати олію з водою, вони розбіжться в різні боки й утворять два шари. Але ліпіди в клітинній мембрані відрізняються роздвоєнням особистості. Одна частина молекули мембранного ліпіду (її іноді називають "хвіст"), як і типовий жир, воду не любить. Але цей "хвіст" прикріплений до "голови", яка, навпаки, прагне оточити себе водою (у хімії це називається гідрофобністю і гідрофільністю, тобто водобоязню і водолюбством).

Що станеться, якщо такі молекули змішати з водою? Головам буде добре, а хвостам некомфортно. Хвости будуть гарячково шукати місце без води. Намагатимуться згрудитися в краплю, в якій цієї води не буде. Але голови не хочуть бути в середині жирової краплі, вони хочуть бути у воді.

Як вирішити таку проблему? Потрібно згрудитися не в краплю, а в плоский шар, у якому голови щільно притиснуті одна до одної і не пропускають воду. Такий шар можна замкнути в кульку - міцелу, а можна притиснути до іншого такого ж шару так, щоб голови дивилися назовні з двох боків, а хвости мирно відпочивали у своєму маслянистому просторі посередині. Подвійний шар ліпідів, або ліпідний біслої, і становить основу клітинної мембрани. Краса тут у тому, що в основі такої настільки космічно складної і навороженої машини, як клітина, лежить механізм рівня підручника хімії за сьомий клас: гідрофобність ліпідів. Цілісність і неподільність організму як явища пояснюється процесами, які відбуваються під час збовтування олії з водою.



Тож клітина - це не просто деталь організму, а його архетип. Багато в чому коректніше думати про людей як про одноклітинних, що складаються з безлічі клітин, ніж про бактерії - як про окремо взяті деталі багатоклітинних. І все таки наші з бактеріями організми відрізняються дуже сильно. У цьому і криється наше нерозуміння мікробів.

Текучі кігті

Втрата антибіотиками здатності лікувати інфекції відбувається не через псування самих антибіотиків. "Ядерний арсенал", який у цьому разі стає непридатним, не випаровується і не втрачає хімічної активності. Вся справа в стійкості, яку рано чи пізно виробляють до будь-якого антибіотика бактерії. "Стійкість" тут означає не стійкість людини до інфекції, а стійкість інфекції до речовини, якою її намагаються вбити.

Стійкість до антибіотиків - це типовий дарвінізм. Складно придумати більш пряму демонстрацію еволюції в дії, що працює настільки безвідмовно і легко спостерігається в таких подробицях. Припустимо, людина заразилася стафілококом. У неї в тілі мільйони клітин цієї бактерії. Їй дають антибіотик, який блокує виробництво, припустимо, бактеріальної клітинної стінки. 99,99 % клітин стафілокока від цього гинуть. Але бактерій така кількість, що частина з них завдяки чистій випадковості худо бідно виживає.

Може виявитися, наприклад, що у 0,01 % бактерій трохи відрізняється структура якогось клітинного ферменту, та так вдало, що такий фермент може розщеплювати антибіотик. Ця меншість бактерій продовжить сьомий клас розмножуватися, причому серед їхнього потомства перевагу отримають ті, у яких фермент ще краще розщеплює антибіотик. Людина почувається одужалою, бо майже весь стафілокок загинув, і перестає приймати антибіотик. Але в цей час стафілококи, що вижили, розмножуються з новою силою і знову заповнюють організм. Людина

починає знову приймати антибіотик, але тепер той працює набагато гірше, тому що весь її стафілокок складається з потомства найстійкіших клітин. Він еволюціонував.

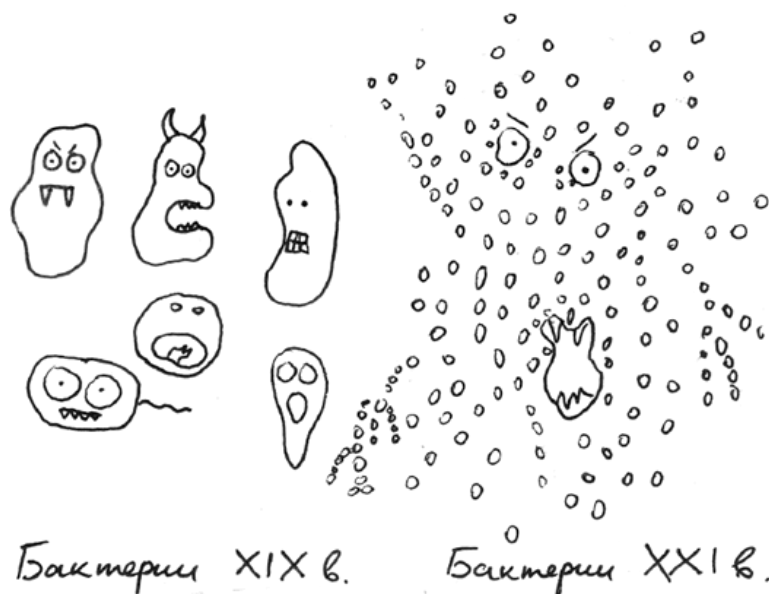
Сумна у світовому сенсі проблема полягає в тому, що цей стафілокок, який еволюціонував, не просто сидить усередині свого носія - людини, а заражає оточуючих, проникає в лікарні, в каналізацію, в ґрунт і поступово заміщає собою стафілококів, які не мають стійкості до антибіотика. Сам факт прийняття антибіотика автоматично створює відбір на стійкість. А відбір, своєю чергою, створює еволюцію - не тільки в межах організму пацієнта, а взагалі в усьому світі. Хоч би що ми кидали в бактерій, рано чи пізно вони наеволюціонують собі рішення проблеми, і кидання втрапить сенс.

Ми, люди, асоціюємо себе з власним організмом. Коли ми говоримо "я", ми маємо на увазі матеріальний об'єкт, що володіє голосом, кольором волосся, а також генами. Бактеріям же загалом наплювати на власні організми. Вони в них завжди максимально прості, дешеві й одноразові. Бактерії мислять групами, штамами, гілками генетичного дерева. Якби вони могли сказати "я", то вони б мали на увазі не організми, що володіють генами, а гени, що пливають крізь час на змінних організмах.

На зорі епохи антибіотиків ми думали, що війна з бактеріями - це війна з чимось маленьким і примітивним. Насправді це війна з чимось вічним і майже безсмертним.

Якщо сприймати бактерію таким чином, то вона здається набагато страшнішою, ніж натовп дуже дуже простих чоловічків. Це аморфна, плинна маса генів, розфасованих по клітинах, яка здатна розв'язати будь-яку проблему, що б ви з нею не робили. Це рідкий робот T 1000 з "Термінатора 2", що просочується в будь-яку щілину. Це казковий змії, у якого з відрубаної голови виростають дві.

Такий альтернативний спосіб дивитися на бактерії цікавий навіть лінгвістично. Російська назва "бактерія" - це калька з латинського слова *bacteria*. Але *bacteria* - це множина, одна від якої - *bacterium*. Тобто саме слово "бактерія" по ідеї означає "багато бактеріумів".



Ми неправильно зрозуміли мікробів, бо ми прийняли бактерію за бактеріумів. Бактерія - істота множини. Ми ж - істоти одиниці. Цією відмінністю ми завдячуємо багатьом своїм предкам, але насамперед першим еукаріотам, які жили серед бактерій близько 2 млрд років тому⁸, приблизно на півдорозі від походження життя до нашого часу.

Два кити чи три черепахи?

Раніше вважалося, що існує два типи клітин: один примітивний, інший просунутий. Перші з них - нудні бульбашки без цікавої форми, багатоклітинності, складної поведінки і взагалі якихось ознак того, що ми, люди, вважаємо показником крутизни в живому організмі. Це прокаріоти. Другий тип - еукаріоти - організми з набагато складнішими клітинами, які часто складаються з великої їх кількості, як, наприклад, у нашому випадку. Еукаріотичні клітини, на відміну від прокаріотичних, мають ядро, або "каріон" (κάριον) давньогрецькою (не питайте, чому вченим минулого було замало латині). Слово "еу" (εὖ) означає "справжній", а префікс "про" (πρό) - щось на кшталт "недо". Ну, все зрозуміло: ось справжні, правильні клітини з ядрами, а ось усілякий ширвжиток.

Коли в 1970-х рр. з'явилися методи секвенування, тобто "читання" генів, ця ієрархія похитнулася.

Принципову роль у цьому зіграв Карл Вьозе, американський мікробіолог, який першим придумав використовувати порівняння генів для реконструкції еволюційної історії. Секвенування дало змогу порівнювати організми не просто за принципом "схоже / несхоже" або "складно / просто", а математично. Проаналізувавши відмінності в ДНК, можна зіставляти час еволюційної розбіжності кількох груп. У загальних рисах принцип полягає

в тому, що мутації в генах відбуваються більш-менш регулярно, якщо усереднювати проміжки часу масштабами в мільйони років (з цього правила, щоправда, є безліч винятків, що сильно ускладнює життя еволюційним біологам). Загалом що більше у двох видів різниться одна й та сама генна ділянка, то довше вони існують незалежно одна від одної, тобто то давнішим є час їхньої еволюційної розбіжності. Якщо в мене десь у геномі записано АААГА, у миші АААГГГ, а в таргана ЦЦЦГГЦ, то з тарганом ми розійшлися раніше, ніж із мишею, бо наші послідовності сильніше відрізняються.

Якщо брати не три види, а тисячі, і не п'ять "літер", а довгі відрізки геному, то теоретично можна в такий спосіб дізнатися, якими саме родинними зв'язками хто з ким пов'язаний, тобто відновити всю послідовність еволюційних подій, що породили розмаїття сьгоднішніх видів. Використовуючи цей метод, Карл Вьозе першим розрахував масштабне древо життя, не покладаючись на видимі ознаки та інтуїцію.

До сьгоднішнього дня це древо розраховане еволюційними біологами в найдрібніших деталях, хоча вистачає на ньому і спірних ділянок. Без таких знань про родинні зв'язки між живими організмами уявити сучасну науку просто неможливо. Але навіть те найперше древо Вьозе, що описує життя на Землі в найзагальніших рисах, докорінно змінило наше уявлення про систему природи. Послідовності ДНК, які Вьозе відсеквенував, розділилися під час аналізу не на дві гілки - еукаріотів і прокаріотів, як можна було припустити, - а на три. Ці гілки дістали назву доменів, тобто груп, що стоять вище за царства (на кшталт царства тварин або царства рослин) і навіть надцарства (є й такі).

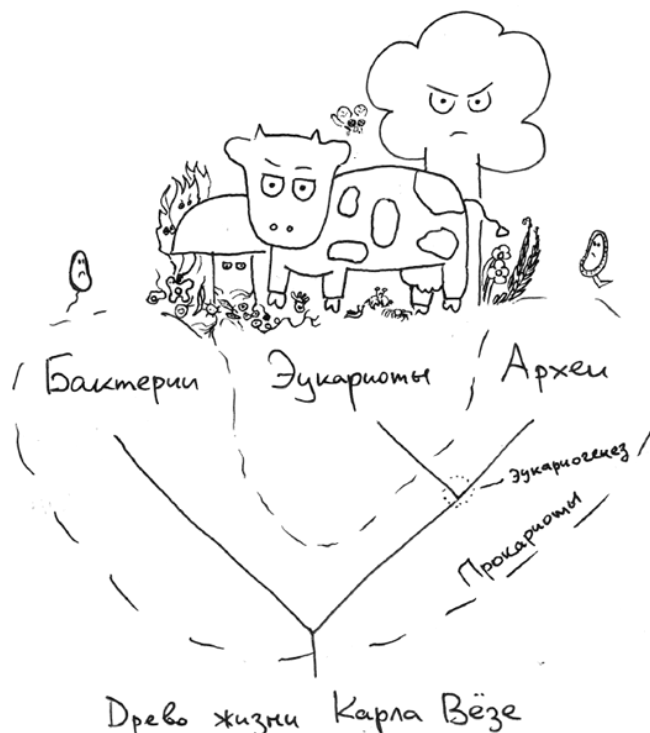
ДО РЕЧІ

Система природи Карла Ліннея включала знамениті шість рангів: царство, клас, загін, сімейство, рід, вид. Але з розвитком біології природа в ці ранги перестала влізати. До шести рангів незабаром додався сьомий - тип, що сидить між царством і класом. Потім стали виникати проміжні ранги, такі як "надтип", "підцарство" або "інфраклас", - це, наприклад, сумчасті, які більше, ніж загін опосумів, але менше, ніж клас ссавців. Сьгодні всі ці ранги частіше називають просто "групами", пояснюючи, яка з груп у межах якої знаходиться. Насправді якоїсь певної кількості рангів у природі немає і бути не може. Кожна еволюційна зміна - це нове розгалуження дерева життя. Щоразу, коли два види розходяться в різні боки від спільного предка, все їхнє подальше потомство можна вважати двома незалежними групами. Відповідно, на кожній розвилці древа життя можна в принципі вигадувати нові групи, хоча на практиці ми користуємося лише певними, традиційними розвилками. Людина - одночасно еукаріот, тварина, хребетна, ссавець і примат, - але це всього лише 5 рангів, тоді як за бажання між кожними двома можна вставити ще 20. Як на карті за різного збільшення промальовуються різні деталі, так і еволюційне древо може мати різну деталізацію, а разом з тим і різну кількість рангів.

Виявилось, що такого домену, як "прокаріоти", просто немає. Прокаріоти - це не єдина група, а два різні варіанти живих організмів, настільки ж далеких в еволюційних координатах один від одного, як людина від йогурту. Зовні вони виглядають дуже схоже, але порівняння їхніх генів показує, що вони розвивалися незалежно один від одного мільярди років. Одна з цих груп - бактерії. Інша група раніше вважалася підгрупою бактерій під назвою "архебактерії". Вьозе підняв її статус до окремого домену, і "бактерії" від назви відвалилися. Новоспечений домен археї став в один ряд із бактеріями та еукаріотами⁹.

Сьгодні багато еволюційних біологів хочуть переглянути і "потрійний" поділ життя. Вони вважають, що еукаріоти - ми з вами - з'явилися не одночасно з двома іншими доменами життя, а істотно пізніше. Бактерії і, ймовірно, археї до моменту їх виникнення вже давно існували, причому в планетарних масштабах і кількостях. Еукаріоти ж виникли в межах археї. За такою версією, формально всі рослини, гриби і тварини належать до одного їхнього дивного сімейства^{8, 10}.

Тож, можливо, у світі всього два типи клітин, як і вважали раніше, до Карла Вьозе. Тільки ці два типи - не прокаріоти та еукаріоти, а бактерії та археї. Ми ж, еукаріоти, мабуть, походять від археї. Однак, як ми незабаром побачимо, бактерії теж зіграли ключову роль у появі нашого домену. Історія еукаріотів набагато складніша й цікавіша, ніж просто "третій тип клітини".



Завдання цієї книжки - пояснити диво людського існування. Я не перший, хто цікавиться походженням людини і шукає відповіді на запитання про себе у своєму еволюційному минулому. Але фраза "еволюція людини" зазвичай означає її походження від мавпи, тобто події останніх сотень тисяч, у кращому разі кількох мільйонів років. На мій погляд, витоки людської сутності потрібно шукати набагато раніше, у подіях далекого, океанічного минулого, і з усіх таких моментів, що визначили траєкторію людського родоводу, найважливішим я вважаю походження домену еукаріотів.

Щоб зрозуміти людину, потрібно зрозуміти еукаріогенез. А щоб зрозуміти еукаріогенез, потрібно зрозуміти щось на перший погляд абсолютно нелюдське: фотосинтез.

ФОТОСИНТЕЗ

Синтез означає "складання", "з'єднання". Якщо запитати у більшості людей, що синтезується у фотосинтезі, вони певнено дадуть відповідь "кисень". Фотосинтез - це таке слово, від якого просто пахне свіжим повітрям.

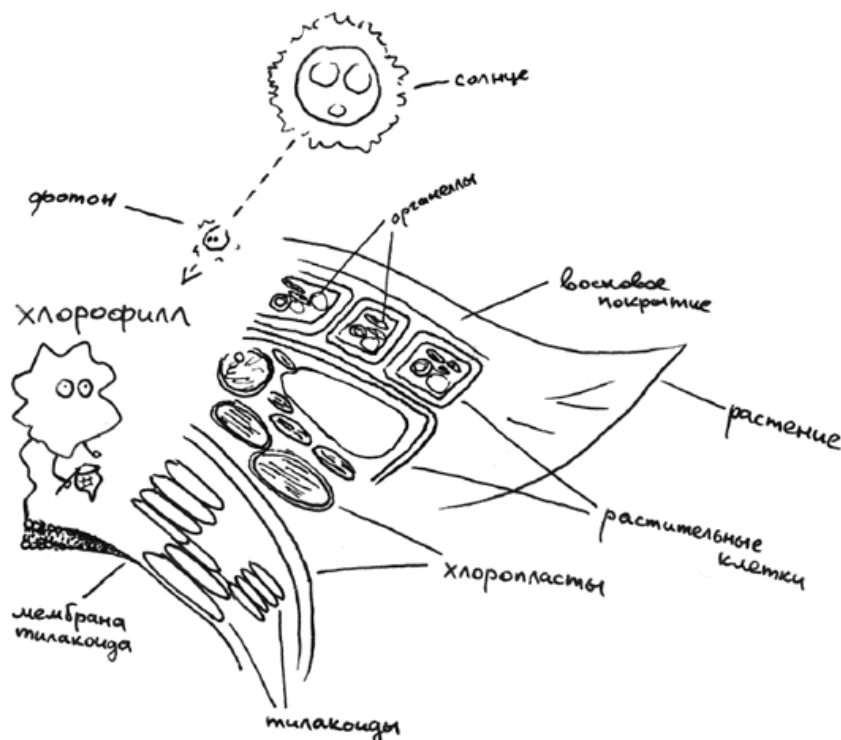
Кисень у процесі фотосинтезу дійсно виникає. Але суть фотосинтезу в іншому.

Візьмемо, наприклад, бутерброд з ікрою (головний делікатес пострадянського простору). Він складається з булки, масла і риб'ячих яєць. З чого зроблена булка? Із пшениці. Тобто булку зробив фотосинтез. Із чого зроблено масло? З молока, а воно - з трави, яку їсть корова. Тобто масло теж зробив фотосинтез. Із чого зроблена ікра? Із лосося мами, а та - з інших, дрібніших риб, а ті - з водоростей, якими вони харчуються. Тобто й ікру в кінцевому підсумку теж зробив фотосинтез.

Фотосинтез - це не синтез кисню. Фотосинтез - це синтез їжі. Це головне джерело їжі на планеті, яке годує практично все живе.

Щоб зробити їжу, потрібно звідкись дістати атоми вуглецю, з яких ця їжа, вуглеводи, жири тощо, складатиметься. Вуглець у природі найчастіше зустрічається у формі вуглекислого газу, і за рідкісними винятками саме вуглекислий газ - первинне джерело всього вуглецю в їжі, яку споживають живі організми.

Але найскладніше у фотосинтезі - де взяти енергію. В енергії сенс будь-якої поживної речовини. Щоб вона там була, її треба туди вкласти. Це відбувається, коли з вуглекислого газу виводяться кільця вуглеводів і ланцюги жирів. Під час цього процесу енергія запасується в структурі їхніх молекул і надалі використовується як самим фотосинтезуючим організмом, так і тим, хто його з'їсть. Але де взяти початкову енергію для синтезу їжі з вуглекислого газу, якщо не з інших поживних речовин?



Читач уже знає відповідь: на Сонці.

Сонце - це застиглий у часі та просторі термоядерний вибух. З нього постійно вивергається світло і жар, які долітають по прямій лінії до нашої планети у формі фотонів. Фотони - ніби шматки енергії світла. Більша частина з них відбивається атмосферою або відскакує від поверхні землі і відлітає назад у космос, розсіюючись нескінченним простором. Але деякі потрапляють точно на поверхню рослини. Вони пролітають крізь прозоре воскове покриття, крізь клітинну стінку і мембрану рослинної клітини, крізь мембрану її хлоропласта - внутрішньоклітинної станції фотосинтезу - і в решті-решт б'ються об спеціально призначену для цього молекулярну антену, що й надає зеленому листку його кольору. Це хлорофіл, ловець фотонів.

Хлорофіл всмоктує енергію фотона, що прилетів до нього, і від цього дуже збуджується. Приблизно як Супер Маріо, який ковтає бонусну зірку і тимчасово отримує надздібності. Пам'ятаєте, як атоми і молекули постійно займаються тим, що відбирають один в одного електрони? Так ось збуджений фотоном хлорофіл перебуває в такому радісному настрої, що з готовністю віддає електрон оточуючим, вкладаючи в нього ту енергію, яку повідомив йому вироблений на сонці фотон.

Молекули - істоти вітряні, самі не знають, чого хочуть. Їм весь час не сидиться зі своїми електронами, то їх мало, то їх багато. Але варто всучити молекулі цілий зайвий електрон або вирвати в неї електрон, якого вона намагається позбутися, як їй одразу ж стає ще гірше - тепер вона хоче цей електрон або збути, або добути відповідно. У випадку зі збудженим хлорофілом втрата електрона миттєво виводить його з благодійної ейфорії, і збудження змінюється жорстоким похміллям, за якого хлорофіл готовий розірвати клітину на частини, аби отримати назад свій втрачений електрон.

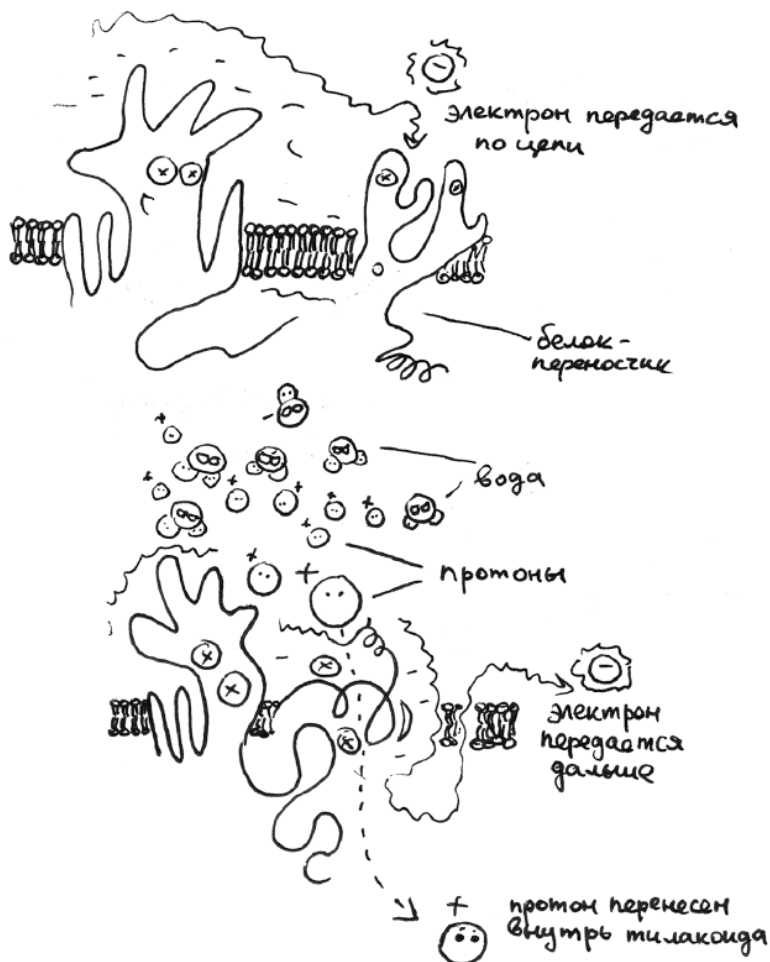
Ми повернемося до хлорофілу і його хімічної ломки за хвилину, але поки що подивімося, що відбувається з тим електроном, який він у своєму велелюбному пориві віддав оточуючим.

Справа відбувається всередині рослинної клітини. Як і будь-яка клітина, вона має клітинну мембрану, що відокремлює її від навколишнього світу. Але з внутрішньої сторони цієї головної зовнішньої мембрани в клітині повно дрібніших мембранних міхурів, трубочок і цистерн, що утворюють масу різноманітних порожнин і просторів зі спеціалізованими функціями. Ці міхури й порожнини називаються органелами, тобто мініорганами. До їх числа належить хлоропласт - спеціальна органела для фотосинтезу. Там і живе хлорофіл.



Хлоропласт має дві мембрани: зовнішню та внутрішню. Усередині він заповнений стопками плоских замкнутих цистерн, що мають назву тилакоїди. Саме в їхню мембрану встромлений хлорофіл. Тобто якщо рахувати від межі клітини, то це мембрана номер чотири: спершу клітинна мембрана, потім дві мембрани хлоропласта і тільки потім мембрана плоского міхура тилакоїда.

Що за компанія оточує хлорофіл у мембрані тилакоїда? Здебільшого це мембранні білки, які з радістю приймають від збудженого хлорофілу електрон і від цього самі збуджуються. Але білки набагато талановитіші молекули, ніж хлорофіл, і їхнє збудження можна перетворити на корисну роботу. Від енергії прийнятого електрона білок корчить і перекручує, і в кінцевому підсумку він передає цю свою електронну радість іншому білку, як естафетну паличку. Але, поки їх крутить, білки проробляють цікавий пірует: хапають з одного боку мембрани протон (протон - це просто водень, у якого забрали електрон, такі нещасні обділені водню завжди є в будь-якому водному розчині) і скидають його з іншого боку мембрани. У підсумку білки повертаються до свого початкового стану, але електрон, що пробіг по них, переносить протон всередину тилакоїда¹¹.

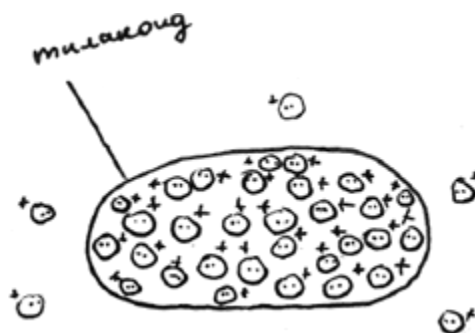


Цей процес повторюється кілька разів за участю допоміжних молекул, що пасують одна одній електрон, як м'яч. У сумі виходить таке: вибитий світлом із хлорофілу електрон стрибає по мембрані з білка на білок, збуджуючи їх по естафеті, і в результаті ті поступово накачують тилакоїд протонами. Зрештою електрон, запущений збудженим хлорофілом по ланцюгу, втрачає енергію і зіскакує з мембрани на спеціальну молекулу з легендарною назвою "нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат" - я був дуже пишаюся собою, коли вперше вивчив його в десятому класі. Там ми цей відпрацьований електрон і залишимо, придивившись замість нього до того, що відбувається з накачуванням протонами тилакоїдом.

Турбіна на кульці

Щоб накачати повітряну кульку, потрібно докласти енергію. Що відбувається з цією енергією в кульці? Вона зберігається у формі напруження гуми під тиском газу. Якщо кульку проткнути, то газ спрямується із зони високого тиску всередині кульки в зону низького тиску ззовні, і енергія напруження перетвориться на енергію звуку, реактивного руху і загальних веселощів.

Те ж саме відбувається з тилакоїдом, який накачують протони. Самі вони туди не полізуть з тієї ж причини, з якої кулька не накачує сама себе. Але якщо докласти енергію - в даному випадку вона береться з електрона, що скаче по мембрані, вибитого з хлорофілу сонцем, - то протони можна зашхати в тилакоїд проти їхньої волі і таким чином створити напругу. Фактично це спосіб сконцентрувати енергію світла. Той факт, що в тилакоїд накачуються саме протони, принципової ролі не відіграє: важливо, що перепад їхньої концентрації створює напругу, в якій, як у накачаній кульці, міститься енергія.



Тобто в підсумку енергія сонця була перетворена рослиною на енергію накачаного протонами тилакоїда. Але накачаний тилакоїд на бутерброд не намажеш. Щоб з його сконцентрованої енергії зробити щось корисне, її потрібно перевести в більш легкотравну форму. Тому тут у справу вступає білок воістину чарівних талантів: АТФ синтаза. Він уміє перетворювати енергію накачаного тилакоїда на енергію хімічного зв'язку.

З інженерного погляду цей процес - одне з найбільш вражаючих і елегантних творінь еволюції. Складно уявити собі білкову машину з настільки явними функціональними паралелями в людській промисловості: АТФ синтаза - це буквально турбіна на тилакоїді. Гідроелектростанція, в якій потік води (тільки в даному випадку не води, а протонів) крутить лопаті генератора, який запасає енергію потоку в корисному вигляді. АТФ синтаза складається з модуля, зафіксованого на мембрані, - статора - і вбудованого в нього шестигранного ротора, який, як справжня турбіна, крутиться під впливом струменя протонів, що випускаються з накачаного тилакоїда. А крутіння ротора, своєю чергою, призводить до того, що АТФ синтаза синтезує АТФ.

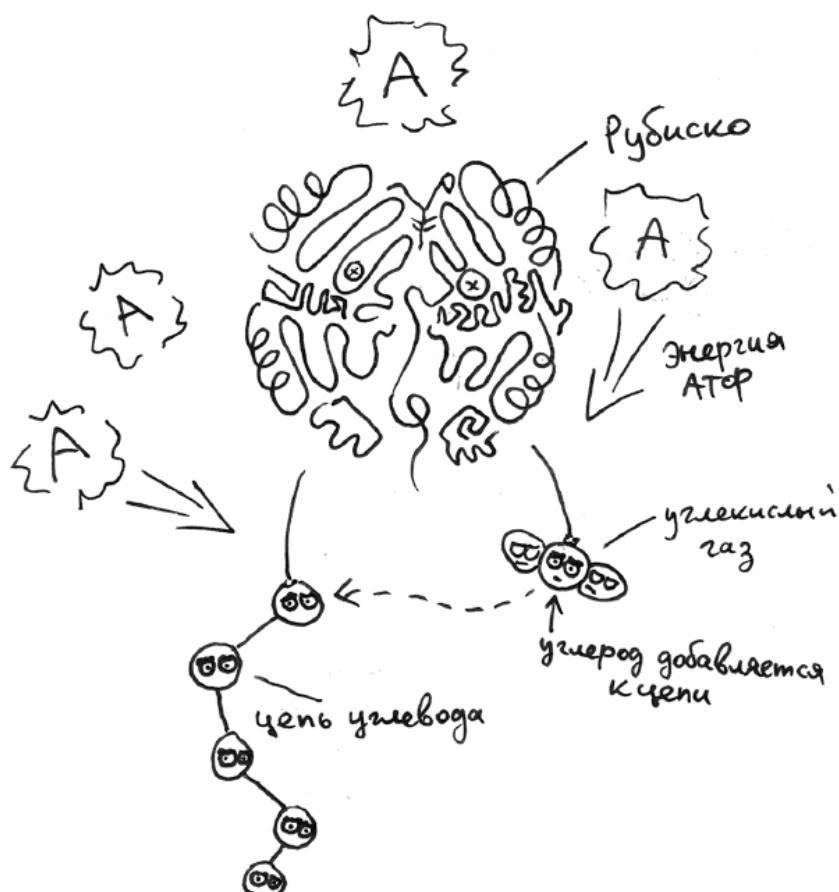


АТФ, або аденозинтрифосфат, - спеціальна молекула, що відіграє роль енергетичної розмінної монети. Рослини розмінюють на АТФ енергію сонця. Ми так само розмінюємо на АТФ енергію їжі. Перетворивши енергію на АТФ, клітина в принципі може використовувати її в будь-яких цілях, докладніше про це ми ще поговоримо. У фотосинтезі енергія АТФ, отриманого засвоєнням сонячного світла, спрямовується в одне конкретне, вкрай енергоємне русло: перетворення вуглекислого газу на поживні речовини.

Що роблять рослини в темряві

Ця фаза фотосинтезу називається темною - світло в ній уже не потрібне. Першу скрипку в темній фазі фотосинтезу грає білок з красивою назвою Рубіско (можна, звісно, і "рибулозобісфосфаткарбоксилаза", але це звучить так, наче трактор не заводиться). З огляду на те, що колосальна світова біомаса фотосинтезуючих організмів набита Рубіско вщерть, цей фермент, за деякими оцінками, найпоширеніший білок у природі або, принаймні, на суші¹².

Операція, яку виконує Рубіско у фотосинтезі, порівнянна за значимістю хіба що з приєднанням амінокислоти до амінокислоти під час синтезу білка на рибосомі. Рубіско перетворює вуглекислий газ і воду на вуглевод, тобто на цукор, - органічну молекулу, що складається з вуглецевого ланцюга з вкрапленнями кисню і водню. Вуглекислий газ і вода абсолютно не хочуть ні на що перетворюватися, це вкрай стабільні молекули, яким у їхньому поточному вигляді цілком комфортно. Щоб змусити вуглекислий газ перетворитися на складний вуглецевий ланцюг, потрібно докласти енергію, для цього Рубіско використовує АТФ, напрацьований хлорофілом із товаришами. Прикладена енергія при цьому запасується в структурі отриманого цукру (це, власне, і робить його поживною речовиною) і надалі використовується для будівництва будь-яких інших органічних речовин.



Строго кажучи, Рубіско не просто склеює купу CO_2 з купою H_2O , перетворюючи їх на цукор. Він ніби нанизує ці молекули на вже наявний вуглевод, тож ланцюжок із п'яти вуглецевих атомів перетворюється на ланцюжок із шести. Головне в тому, що вуглекислий газ, "повітряний вуглець", ніби вбирається в живу матерію, "органічний вуглець". Інертна, млява, неорганічна молекула вступає в чарівний світ складних вуглецевих ланцюгів, які легко перетворюються один в одного у всіляких комбінаціях.

Ми, тварини, все робимо навпаки: ламаємо своїми ферментами матерію на шматки, витягаємо з її молекул енергію для своїх м'язів, печінки і мізків, а самі молекули для цього рубаємо на дрібні складові частини. Оскільки все живе здебільшого складається з води і довгих вуглецевих ланцюжків, головний продукт нашої життєдіяльності - це, крім знову ж таки води, вирваний з усіх своїх ланцюжків атом вуглецю: вуглекислий газ, CO_2 , одиночний вуглець з двома киснем, що присмоктався (про те, до чого тут кисень, піде мова трохи далі). Рослини, як і перші фотосинтетичні організми стародавнього світу, мають зворотну здатність. Вони поглинають вуглекислий газ, впорскують у нього енергію і вклеюють назад в органічну молекулу. Це ставить фермент Рубіско в центр життя на Землі: він перетворює неживе на живе.

ДО РЕЧІ

Усе це, втім, не означає, що рослини виключно будують, а тварини виключно руйнують. Рослини, як і тварини, запасують енергію у формі поживних речовин і розщеплюють їх, коли енергію потрібно витратити. Правильніше було б сказати, що рослини (а також стародавні фотосинтетичні одноклітинні, про які йдеться в цьому розділі) виробляють власну їжу, а тварини цю їжу здобувають ззовні. Для позначення цих різних стратегій існування є відповідні терміни: автотроф ("самоїд") і гетеротроф ("інакоїд").

Зламати воду

Але повернімося на кілька шаблів назад, до збудженого сонцем хлорофілу, який на радіощах відірвав від серця електрон і тепер дуже про це шкодує. Енергія того електрона перетворилася на корисну енерговалюту - АТФ, але хлорофілу від цього не легше. Він страждає, і, якщо його не задовольнити, почне руйнувати все навколо. Хлорофілу потрібно видати новий електрон. Тут зарита еволюційна собака, заради якої я, взагалі кажучи, і затіяв усю нашу подорож по рослинній клітині. Якщо читач дивується, навіщо в книзі про походження людини потрібно копатися в молекулярній біології фотосинтезу, то обіцяю, що скоро в цій густій гушавині з'явиться світло.

Джерело електрона, яким компенсуються втрати нещасного хлорофілу, може бути різним. Спочатку, на ранніх етапах еволюції, для цих цілей використовувався, мабуть, сірководень¹³. Такий варіант фотосинтезу існує серед деяких бактерій і донині, але сьогодні це екзотика, а 3 млрд років тому фотосинтез на сірководню, як припускають, був єдиним, що існував.



Сірководень успокаивает
хлорофил электроном



Все довольны

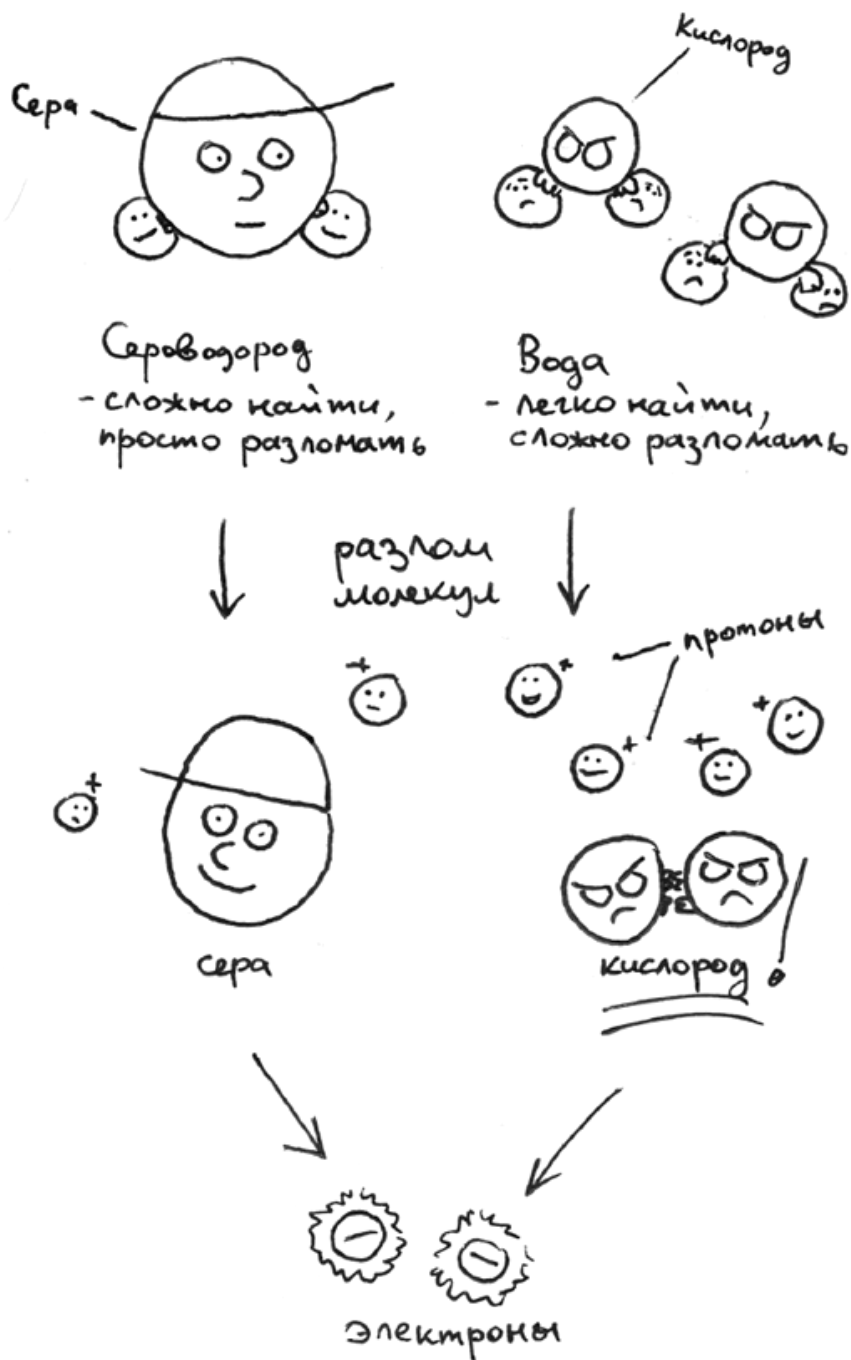
Сірководень знайомий усім за запахом тухлих яєць, мінеральних вод та інших смердючих природних вітрів. Це проста молекула з одного атома сірки і двох атомів водню. Під час її розламування утворюється загалом задоволена життям сірка, нещасні, але безсилі протони (обділені електронами позитивно заряджені водні) і два електрони, якими можна відшкодувати збитки двом стогнутим хлорофілам. У підсумку все заспокоюється: хлорофіл спить, сірка нікого не чіпає, на протони всім начхати, АТФ вироблено.

Сірководень, таким чином, вирішує проблему злісного хлорофілу. Але сірководень ще треба десь знайти. Де ж його шукати? Можливо, в геотермальних джерелах, розломах земної кори на березі водойми, а може, навіть у вже добре нам знайомих гідротермальних джерелах глибоко під водою. І нічого, що там панує непроглядна темрява, - є версія, що спочатку як джерело енергії у фотосинтезі використовували не світло, а інфрачервоне випромінювання з-під землі^{14, 15}. Так чи інакше, сірководень - нехай не найрідкісніша речовина на землі, але й далеко не найпоширеніша. Це накладає величезні обмеження на фотосинтез як явище.

Але не потрібно бути хіміком, щоб побачити в сірководні (H₂S) схожість з іншою, набагато відомішою та незрівнянно поширенішою молекулою: водою (H₂O). Це точно така сама молекула, тільки замість сірки до її складу входить кисень. У ній теж є електрони, які теоретично можна витягти і видати хлорофілу. Перевага води перед сірководнем очевидна: її не треба шукати. Вода є всюди, як і вуглекислий газ із сонячним світлом. Фотосинтез "на воді" перетворюється з хімії на магію: їжу можна виробляти де завгодно, коли завгодно і фактично з нічого.

Здавалося б, за такого розкладу в сірководні сенсу немає взагалі. Але у воді є один великий мінус: це одна з найстабільніших молекул у Всесвіті. Сірководень розвалюється від погляду, зламати ж молекулу води неймовірно важко.

Перші фотосинтезуючі організми були бактеріями і жили близько 3 млрд років тому^{13, 16}. Сьогоднішні їхні нащадки називаються ціанобактеріями (синьозеленими водоростями). Спочатку цим раннім фотосинтезаторам для фотосинтезу був потрібен сірководень або, можливо, якась інша витратна молекула, якої незмінно було мало. Те, що відбувається далі, на мій погляд, - це одна з найпрекрасніших ілюстрацій всесилля еволюції. Якщо існує непереборна проблема, у якої є теоретичне рішення, що несе колосальну вигоду, то рано чи пізно проблему буде подолано.



У цьому разі непереборну проблему було подолано за допомогою вражаючої клітинної машини під зовсім не вражаючою назвою "фотосистема II" (її номер жодним чином не пов'язаний з біологічною роллю). Це до смішного складний агрегат, що складається з десятків білків і 99 (і це не жарт!) дрібних, але химерних деталей - кофакторів, включно, наприклад, з екзотичними кластерами з кальцію і марганцю¹⁷. Це Великий адронний колайдер молекулярного світу. Одного погляду на фотосистему II достатньо, щоб відчути ті мільйони років еволюції, які мали піти на створення чогось настільки складного. А це, своєю чергою, показує, наскільки принциповою і фундаментальною має бути проблема, яку розв'яже така машина, щоб виправдати настільки феноменальну наполегливість її винахідників.



фотосистема II

Фотосистема II - це машина для ламання води¹⁸.

У результаті її роботи з води вилучається все той же електрон, яким відшкодовуються втрати хлорофілу. Тепер клітині не потрібно постійно сидіти біля джерела сірководню. Розламуючи молекулу води, клітина позбувається останнього обмеження, що утримує її в гео- або гідротермальному джерелі, та й узагалі в будь-якому джерелі будь-якого ресурсу. Фотосистема II означає, що жити можна де завгодно, де є вода, повітря і світло.

Цей новий, "водний" тип фотосинтезу 2.0 - свобода від усіх залежностей. І спочатку він, звичайно, завоював світ. Він дав клітинам можливість жити де завгодно, навіть далеко від джерел підземної енергії або екзотичних хімікатів. До цього жива матерія йшла проводами в земну кору - тепер у неї з'явилася сонячна батарея, і дроти стали непотрібні.

Однак цікаво, що свою назву новий революційний спосіб видобутку енергії отримав не за свободою, яку він дав своїм володарям, і не за водою - джерелом цієї свободи, а за побічним продуктом, який утворюється в результаті розпаду водної молекули. "Фотосинтез 2.0" називається кисневим, тобто кисневим. Тому що цей побічний продукт, наслідок заповітного переходу з сірководню на воду, як і сам фотосинтез, повернув хід історії життя на Землі.

Річ у тім, що кисень - це отрута. Якщо його ніяк не контролювати, він прагне знищити будь-яку біологічну молекулу.

Після винаходу кисневого фотосинтезу спочатку в океані, а потім і в атмосфері починає повільно, але вірно зростати вміст кисню. Поки кисню мало, він нейтралізується іншими атомами, насамперед залізом, розчиненим в океані й відкладеним на дні¹⁹. Життя продовжує множитися і розвиватися на фотосинтетичних дріжджах мільйони років. Коли кисню стає стільки, що океан більше не може його поглинати, він починає отруювати воду і навіть просочуватися в атмосферу. Зрештою його стає стільки, що більшість живих клітин, які в усьому своєму розмаїтті розселилися по світовому океану, не можуть продовжувати існувати. Вживають тільки ті, хто стійкий до кисню, - аероби, тобто "повітряники", до яких належимо і ми.

Цей момент в історії деякі вчені називають "кисневою катастрофою" або навіть "кисневим голокоством", хоча інші сумніваються, чи був узагалі "голокошт", чи це було, скоріше, поступове витіснення "повітряниками" "безповітряників" - анаеробів, які не здатні переносити кисень^{20, 21}. Так чи інакше, насичення океану й атмосфери киснем принципово змінює правила існування життя на планеті. Одним із наслідків цієї зміни правил і стане виникнення нашого домену еукаріотів.

Червоний шлях і зелений шлях

Як пам'ятає читач із першого розділу, кисень - це молекулярний Шива, електронно-атомний агресор, який норовить розірвати великі молекули на шматки з виділенням енергії. Так працює горіння. Тож "кисневий голокост", якщо він справді в якомусь сенсі стався, - навіть не метафора, а цілком прямий опис подій, адже слово "голокост" дослівно означає "повне спалення", тобто саме те, що кисень робить.

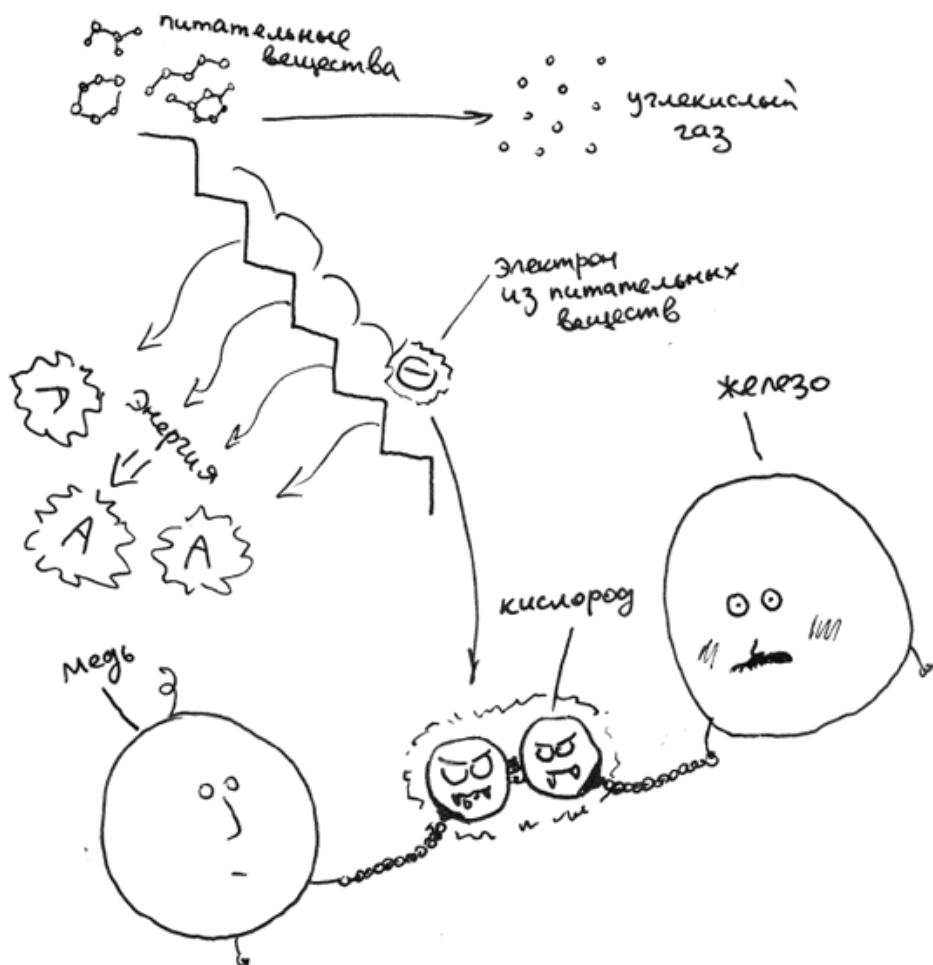
Той факт, що сьогоднішня атмосфера Землі складається з кисню аж на 21 %, - це за космічними стандартами одна з найбільш неординарних властивостей нашої планети. Кисень просто так не витає над планетами - він завжди знаходить якийсь інший атом, до якого можна присмоктатися з відбиранням електронів. Щоб у повітрі був вільний кисень, його потрібно постійно виробляти у світових масштабах. Тобто з поверхні Землі в її атмосферу безперервно б'є фонтан кисню. З погляду людини, завзятого "повітряника", це чудовий фонтан. Але з погляду населення планети 2,5 млрд років тому, що складалося з "безповітряників", це був фонтан токсичних відходів із планетарної енергостанції фотосинтезу.

У бактеріально-архейному світі й зараз є такі противники кисню, з чієї точки зору "кисневий голокост" триває досі. Анаеробні мікроби ховаються по кутах, сидячи де-небудь у піску або у відрі солоних грибів, куди газу ззовні гірше просочуються. Але більша частина сьогоднішніх живих організмів кисню не боїться, бо вміє дихати.

Червоний колір нашої крові - це колір гемоглобіну, залізовмісного білка, яким забиті червоні кров'яні клітини. Гемоглобін видно навіть крізь шкіру, без нього вона була б майже білою. Залізо в крові потрібне для того, щоб зв'язувати кисень. Великі метали на кшталт заліза володіють особливими властивостями, що дають їм змогу утримувати інші атоми і молекули нібито в підвішеному стані, - в даному випадку в цьому силовому полі висить кисень і нікого не може вкусити, поки його перевозять по організму.

ДО РЕЧІ

Крім заліза, для зв'язування кисню добре підходить інший метал: мідь. Вона виконує функцію заліза в крові, або гемолімфі, деяких безхребетних²². Відрізняється і білок, у який метал вбудований, - "мідний" варіант називається гемоціаніном. Завдяки гемоціаніну в молюсків, наприклад, буває справжня блакитна кров. У мітохондріях, що відповідають за переробку кисню, містяться і мідь, і залізо.



Коли ми вдихаємо повітря, воно насичує киснем гемоглобін, що тече крізь легені. Той розносить його по тілу, де кисень відривається від свого залізного супроводжуючого і поглинається клітинами. Там його всмоктує органела, настільки ж червона і настільки ж залізна, як і червоні кров'яні тільця. Вона називається мітохондрія.

Мітохондрія - це те, чим ми, власне кажучи, дихаємо. Як не дивно, цей процес дуже схожий на фотосинтез, а сама мітохондрія дуже схожа на хлоропласт. Тільки кольори різні.

Пам'ятаєте, як у фотосинтезі мембраною стрибав електрон, вибитий фотоном зі збудженого хлорофілу, а мембранні білки від цього крутилися, крутилися і накачували тилакоїди протонами? Цей процес можна уявити собі як поступове скочування м'ячика по сходах, з верхньої сходинки до нижньої. Вибитий з хлорофілу електрон стрибає з білка на білок, з верхньої енергетичної сходинки на нижню, і роздає свою енергію - ту, яку в нього вклав хлорофіл, від початку отримавши її у вигляді сонячного фотона. Енергія витягується з електрона саме завдяки процесу його скочування по сходах. Самі ці "сходи", що складаються з послідовності мембранних білків і допоміжних молекул, називаються електронним транспортним ланцюгом.

Так ось, у диханні працює рівно той самий принцип і дуже схожий електронний транспортний ланцюг. Це теж енергетичні сходи, на яких з електрона вичавлюють енергію. Тільки в цьому разі електрони беруться не з хлорофілу, а з розщеплених поживних речовин. Ці електрони скачуть по мембрані мітохондрії від білка до білка точно так само, як під час фотосинтезу електрони скачуть по мембрані тилакоїда. У результаті електрони поступово віддають свою енергію, яка, як і у фотосинтезі, перетворюється на енергію "накачаної кульки" - тільки у фотосинтезі накачуються протонами тилакоїди, а в диханні - простір між двома мембранами мітохондрії. В обох випадках енергія накачаної кульки розкручує ротор АТФ синтази, що карбує в мітохондріях і хлоропластах універсальну енергетичну валюту: АТФ.

Загалом, енергетичні сходи, якими котиться електронний м'яч, є в обох випадках. Уся різниця в тому, що у фотосинтезі сходи існують тому, що перша сходинка, образно кажучи, розташована дуже високо: світло, яке б'є в хлорофіл, вкладає енергію в електрон і немов би "підкидає" його вгору. У диханні ж сходи існують завдяки тому, що остання сходинка розташована дуже низько. Електрони поживних речовин ніби скочуються в глибоку енергетичну воронку, внизу якої на них чекає головний пожирач електронів - кисень⁴.

Дихання - це контрольоване горіння. При звичайному горінні кисень рве все без розбору і без пощади. У залізні мідних об'їмах мітохондрії він, як лев на ланцюгу, якому видають м'ясо по шматочках. Мітохондрія експлуатує його деструктивну міць, щоб вичавити з поживних речовин максимум енергії, розбираючи їх на електрони та методично зливаючи їх у бездонну глотку кисню. Тим самим вирішуються одночасно дві проблеми: знешкоджується небезпечний кисень і видобувається купа енергії. Розірвані киснем ланцюги вуглецевих молекул перетворюються на воду і вуглекислий газ, тобто згорають.

У фотосинтезі АТФ виробляється із сонячної енергії і витрачається на перетворення вуглекислого газу на їжу. При диханні АТФ виробляється, навпаки, шляхом перетворення їжі на вуглекислий газ, а витрачається на всі інші корисні клітинні процеси. Рослини і дихають, і фотосинтезують, а тварини тільки дихають.

ДО РЕЧІ

Теоретично рослини могли б обходитися одним фотосинтезом. Насправді енергетичні сходи фотосинтезу і дихання зовсім не взаємовиключні речі. Дві драбини - значить, удвічі більше АТФ. Рослини не тільки фотосинтезують, а й дихають, не тільки виробляють поживні речовини, а й їх споживають. У певних умовах (наприклад, у темряві) рослина може споживати більше кисню, ніж виробляти.

АТФ - це молекула, яка не хоче існувати. Тобто, щоб зробити АТФ, у нього потрібно вкласти енергію, а якщо АТФ розпадається, то енергія при цьому виділяється. У принципі, те саме можна сказати про будь-яку складну органічну речовину: у цукор або в білок, наприклад, теж потрібно вкласти енергію, а під час їхнього розпаду вона виділяється. АТФ відрізняється від звичайної органічної молекули з двох точок зору. По-перше, у нього є один конкретний хімічний зв'язок (між другим і третім фосфатом), у який вкладається дуже багато енергії, і, відповідно, багато енергії виділяється, якщо цей зв'язок розпадається. По-друге, щоб витягти енергію з органічної молекули, цю молекулу потрібно вмійти розламувати. У клітині є окремі ферменти, які розламують цукри або білки, але така можливість доступна далеко не всім. АТФ же - це така універсальна молекула, яку вмійють розламувати тисячі різних ферментів. Тому всі поживні речовини спочатку розламуються клітиною до межі з виробництвом АТФ, і тільки потім їхня енергія пускається на корисні потреби в такому стандартизованому вигляді.

Загалом, АТФ - це молекула, спеціально призначена для енергетичних платежів, яку приймають у всіх клітинних касах, у якої навіть є спеціальний зв'язок, який легко розламується і багатий енергією. Практично будь-який клітинний процес, що вимагає енергії, протікає в тандемі з розпадом АТФ. Хочете доставити сигнал з поверхні в ядро? Зробити целюлозу для клітинної стінки? Порухати м'язом? Вставте АТФ.

ДО РЕЧІ

За своєю хімічною природою АТФ - нуклеотид, причому рибонуклеотид, тобто складова частина РНК (фактично це вільно плаваюча буква "А"). Той факт, що ця універсальна енергетична валюта має спорідненість із ймовірною "протолекулою", - черговий аргумент у скарбничку прихильників гіпотези РНК світу.

Хлоропласти і мітохондрії добувають АТФ двома різними способами, які я для себе називаю "потужний підйом" і "потужне відбирання". Перший заснований на хлорофілі, який засвоює сонячну енергію, створюючи потужний енергетичний підйом. Другий заснований на кисні, чия міць - у відлученні в поживних речовин усього їхнього енергетичного соку. Якщо хочете, це зелений шлях і червоний шлях. Підкорення світла і підкорення вогню.

Я розповів про фотосинтез і про дихання на прикладі хлоропластів і мітохондрій, органел у клітинах рослин і людей. У них багато спільного як зовні, так і функціонально: і хлоропласт, і мітохондрія мають дві мембрани, виробляють АТФ на протонній турбіні й обзиваються в усіх підручниках світу "клітинними електростанціями". Можна, щоправда, дивитися на них і як на протилежності: хлоропласт творить (напрацьований АТФ йде на виробництво поживних речовин з вуглекислого газу, і при цьому виділяється кисень), а мітохондрія руйнує (АТФ напрацьовується руйнуванням поживних речовин з виробленням вуглекислого газу, і кисень при цьому витрачається).

Але найголовніша і найглибша паралель мітохондрій і хлоропластів навіть не в тому, чим вони займаються, а в тому, що мільярди років тому, до "кисневого голокосту", вони були не органелами, а істотами, які живуть окремо. Бактеріями, якщо точніше. Хлоропласти походять від ціанобактерій, а мітохондрії - від альфа-протеобактерій. У них досі є власні геноми і власні хромосоми, замкнуті в кільце, як у інших бактерій. Вони досі діляться незалежно від клітини господаря і розподіляються між її потомством. Вдумайтеся: всередині кожної вашої клітини живуть стародавні організми з власними геномами, які за вас дихають^{23, 24}.

Це явище - ендосимбіоз - одна з ключових віх у людській історії. Ми, нарешті, впритул підійшли до появи величних споруд, які являють собою клітини нашого власного домену. Але спочатку ми вирушимо в Асгард, скандинавську обитель богів.

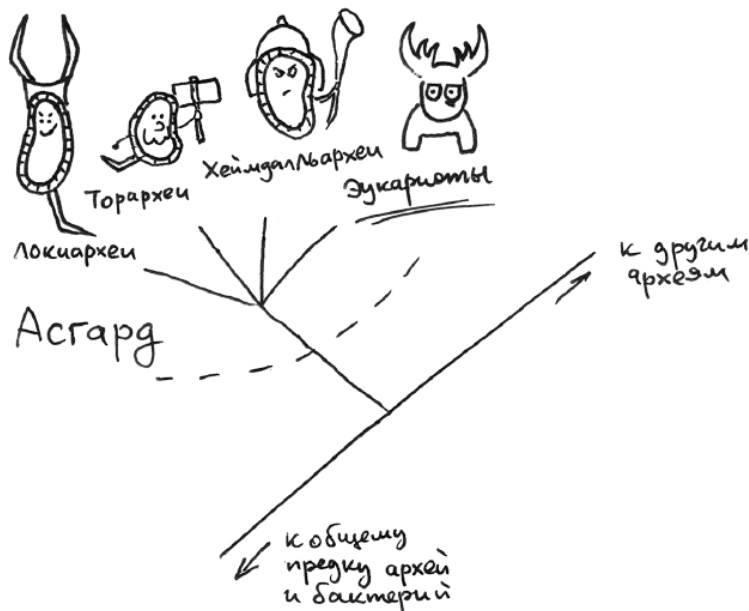
Замок Локі

З появою генетичного секвенування в 1970-х рр. біологи кинулися секвенувати все живе, що могли знайти. Сьогодні вони секвенують навіть те, що знайти не можуть. Сучасні методи дають змогу взяти пробу землі й витягнути з неї гігабайти генетичних послідовностей, а потім сидіти й розбиратися, що ж ви таке секвенували й кому воно могло належати, - усе це називається метагеноміка. У підсумку виходить цікава картина. Є мільйони видів, про які ми знаємо, але які ніхто ніколи не бачив. Своєрідна генетична темна матерія.

У 2010 р. таку пробу витягли з гідротермального джерела під назвою "Замок Локі" між Гренландією і Норвегією²⁵. У ній містилися гени, розсортовані вченими за тисячами видів, у яких цілі команди фахівців рилися кілька років. У 2015 р. шведські біоінформатики з групи Тайса Еттеми виявили в нескінченних полотнах чотирибуквенного коду те, що можна порівняти хіба що з археоптериксом²⁶.

Цей викопний напівптах-напівящір - легендарний символ еволюції, вперше знайдений за два роки після публікації "Походження видів", який був сприйнятий багатьма прихильниками Дарвіна як остаточна перемога його теорії. Археоптерикс являє собою класичну "перехідну форму" між двома сучасними гілками еволюції. Так і археї, знайдені в генних базах даних із "Замку Локі", являють собою перехідну форму між іншими археями і нами, еукаріотами.

Уппсальські вчені назвали цих археї *Lokiarchaeota*, локіархеї, на честь Замку Локі. Їхня робота з фанфарами вийшла в престижному журналі *Nature*. Буквально впродовж кількох місяців американські вчені на чолі з Бреттом Бейкером оприлюднили відкриття ще однієї схожої групи, яку вони заради сміху назвали *Thorarchaeota*, торархеї, на честь ще одного скандинавського бога та героя відповідної кінопопеї²⁷. Зворотної дороги вже не було. Відтоді знайшлися ще одинархеї, хеймдалльархеї, і, як ви зрозуміли, зупиняти цю вечірку ніхто не збирається. Усе це царство разом тепер офіційно називається Асгард - за міфічним світом, де всі ці боги один з одним тусувалися²⁸. До нього належать і всі еукаріоти, тож ми з вами теж можемо вважати себе асгардцями.



Чим же так відзначилися локиархеї та їхні родичі, що їх визнали генетичним археоптериксом нашого мікроскопічного минулого? У них знайшлися зачатки генів одного з принципових винаходів еукаріотів - мембрани, що рухається.

Про хижаків і жертв

Це може здатися дивним, але бактерія не може з'їсти іншу бактерію. Їй так не зігнути мембрану.

Щоб бактерії поїсти, вона має всмоктати поживну речовину в молекулярній формі. Тому, якщо тільки вона не плаває в цукровому розчині, спочатку їй потрібно щось розчинити, а потім цю розчинену речовину увібрати крізь мембранні пори в спеціальних білках. Цим частково пояснюється колективна природа бактерій. Одна бактерія багато не перетравить, але якщо їх зібралось багато, то вони можуть розквасити що завгодно. Тому бактерії можуть одна одну витіснити, отруювати, блокувати, але не проковтувати цілком.

Наші ж клітини володіють мистецтвом ковтання досконало. Цей процес називається фагоцитозом. Наприклад, на бактерію, яка ненароком потрапила вам в організм, нападає макрофаг, величезна людська клітина, яка обволікає цю бактерію своєю мембраною. Та відбруньковується у макрофага зсередини, утворюючи міхур, або везикулу, всередині якої - спіймана бактерія. Далі везикула зливається з плаваючою по макрофагу лізосоною, спеціальною органелою для перетравлення, і бактеріальна клітина розчиняється заживо. Макрофаг вбирає поживні речовини і йде шукати інших порушників.

З молекулярного погляду цей надскладний процес вимагає, по-перше, відсутності щільної клітинної стінки, по-друге, рухомого каркаса мембрани - цитоскелета і, по-третє, регульованого апарату брунькування і злиття мембран. У генах локиархей якраз і знайшлися зачатки білків, що потенційно дають змогу керувати мембраною по еукаріотичному принципу^{26, 28}.

Насправді пожирання клітин - тільки одне із застосувань ширшого явища під загальною назвою мембранний або везикулярний транспорт. У загальному випадку це здатність мембран гнутися, зливатися і брунькуватися, створюючи різноманітні везикули, вакуолі, цистерни і відростки. Є ендцитоз (те саме явище, що фагоцитоз, але яке необов'язково закінчується розчиненням) - це коли клітина поглинає зовнішній об'єкт, обволікаючи його везикулою. Везикула відбруньковується від зовнішньої мембрани і рухається всередину. Є екзоцитоз - це коли, навпаки, до мембрани зсередини підходить везикула, зливається з нею і випускає назовні свій вміст. Так працює, наприклад, викид нейромедіаторів - сигнальних молекул, що передають повідомлення від однієї нервової клітини до іншої.

Крім ролі у власне транспортуванні молекул назовні і всередину клітини, везикулярний транспорт вважається причиною існування органел. Бактерія - це клітина міхур, а еукаріот - міхурчаста клітина. У бактерій всередині клітинної мембрани ніяких інших мембран немає. В еукаріотів куди не плюнь - скрізь мембрани. Міні клітини, кожна з власними внутрішніми властивостями і функціями. Стопки плоских цистерн, мережі розгалужених трубок, бульбашки-везикули, ядро з двома мембранами і, звісно, мітохондрії, а подекуди й хлоропласти.

Прометей - це Локі

Зовсім нещодавно група японських учених опублікувала результати 12-річного експерименту з культивації глибоководних архей. Результатом цієї роботи, виконаної з воістину японською самовідданістю, стала перша в історії ізоляція справжньої, живої локиархеї²⁹.

Біологічний матеріал для культивування було взято з метанових сипів - глибоководних джерел цього газу на морському дні. Метан (CH₄), як і вуглекислий газ (CO₂), складається з одиночних атомів вуглецю, тільки замість двох атомів кисню вони пов'язані з чотирма атомами водню. Метан - кінцевий продукт розкладання органічної речовини за відсутності кисню. Всілякий морський компост осідає на дні і поступово накопичується там щільною подушкою мулу, куди кисень погано проникає. У глибині подушки сидять мікроорганізми, нездатні переносити кисень, - анаероби, "безповітряники" - і доїдають ці об'їдки біосфери, що падають на них, виділяючи при цьому метан. Той піднімається до поверхні і проникає у воду та атмосферу через метанові сипи.

Метанові сипи залишаються одним із рідкісних куточків планети, де життя протікає в безкисневих умовах, і тому вчені сподівалися виокремити з них когось із наших найближчих архейних родичів, тобто з представників Асгарда. Оскільки еукаріоти унікальні серед асгардців наявністю киснеспоживаючих мітохондрій, шукати всіх інших архей цієї групи потрібно там, де кисню немає.

Пробу, взятую в сипах, помістили в біореактор, що відтворює внутрішнє середовище цих джерел. Типові лабораторні мікроорганізми в розчині живильного середовища швидко примножуються, за одну ніч тисячократно збільшуючись у кількості. У цьому ж випадку дослідникам довелося чекати 2000 діб - п'ять із половиною років. На оптимізацію й очищення культур пішло ще кілька років, але в результаті вчені свого домоглися: у них у руках нарешті опинилася пробірка з представниками досі виключно "віртуальної" групи локіархей.

Досі археї Асгарда вивчали метагеномікою: сліпим аналізом фрагментів ДНК, знайдених на морському дні. Самих цих архей ніхто ніколи не бачив. І ось перед нами живі асгардці, та не якісь там, а чи не найближчі родичі еукаріотів, про яких на сьогодні відомо. Це безцінне джерело відомостей про походження нашого домену. Та й узагалі, на власні очі побачити таку "живу копалину" - це як зустріти живого неандертальця.

Японські вчені назвали виділений таким чином організм *Prometheoarchaeum* - архея Прометей. Тобто, мабуть, сполучна ланка між богами археями і людьми еукаріотами, а може, між скандинавською міфологією і давньогрецькою. Усе це створює абсолютно безглузду плутанину, бо виходить, що Прометей - це один із видів Локі.



Перше, що можна сказати про Прометей: істота ця до непристойності квола. Замість грізного хижака, що обертає мембранами, він виявився дрібною, малоактивною одноклітинкою, у якій йде від 14 до 25 днів на один єдиний поділ. Як і передбачалося, дихати Прометей не вміє. Що він вміє, так це переробляти амінокислоти, для чого у нього є великий арсенал відповідних ферментів. Тобто, мабуть, Прометей харчується тими самими недоїдками біосфери, які падають з поверхні океану. Але найцікавіше в тому, що навіть це він не може робити поодиноці. Його успішна культивування потребує симбіонтів, які здійснюють завершальні стадії перетворення амінокислот на метан. Тобто без метаболічних товаришів Прометей абсолютно безпорадний. У пробірках японських учених він співмешкав з іншою археєю, *Methanogenium*, але автори роботи припускають, що подібну роль "товариша" могли на зорі часів відігравати і бактерії - предки майбутніх мітохондрій.

Ще одна інтригуюча властивість археї Прометей - це його унікальна форма. Він являє собою кулясту клітину з кількома розгалуженими мембранними відростками. На підставі цієї форми і метаболічної безпорадності Прометей, автори пропонують альтернативу "хижій" моделі ендосимбіозу. Їм бачиться не велика клітина, що заковтує маленьку і раптово усвідомлює вигоду співробітництва, а вже наявний симбіоз, який поступово перетворюється з колективу клітин на колективну клітину, яка набуває тим самим нових можливостей і здібностей. Якщо вірити японським фахівцям, то пожирання клітини клітиною - це не причина, а результат ендосимбіозу археї

з мітохондрією. Таку думку, до речі, вже висловлювали інші фахівці, які вважають, що без мітохондрій фагоцитоз безглуздий: здобич просто не перетравити³⁰.



Ця оновлена Прометеєм модель еукаріогенезу може пояснити, серед іншого, походження еукаріотичного ядра - двомембранної оболонки, що оточує в кожній нашій клітині генетичний матеріал. Серед різних поглядів на це питання традиційно найпопулярнішою була так звана версія "ззовні всередину": існувала архея, в якій в середині плавала ДНК, а потім мембрана цієї клітини увігнулася всередину глибокими складками, що розпласталися сферою довкола генів і оточили їх подвійною мембраною. Але сьогодні набирає популярності й протилежна версія "зсередини назовні": спочатку була клітина ядро, а цитоплазма ззовні виникла з її відростків³¹. Наявність розгалужених відростків у Прометея робить цю версію більш правдоподібною.

У союзі з вогнем

З відкриттям архей Асгарда логіка еукаріогенезу стала прояснюватися. Майже напевно відомо, що еукаріоти походять із союзу архей з бактерією під тиском кисню. Відповідальність за це в кінцевому підсумку лежить на фотосинтезі, який накачав планету токсичним газом і змусив "безповітряників" ховатися. Деякі бактерії придумали спосіб знешкодити кисень, пристосувавши його як нижню сходинку електронного транспортного ланцюга. Дихання, що виникло в такий спосіб, дало змогу цим організмам не тільки розв'язати проблему кисневої токсичності, розширивши для себе населений простір, а й використовувати силу кисню для багаторазового підвищення ефективності поживних речовин. Ці заповзятливі бактерії, предки мітохондрій, які зухвало схопили за горло небезпечного кисневого лева, - одні з наших предків.

Водночас серед архей була група, яка дихати не вміла, але мала рухому, гнучку мембрану. Можливо, це були перші хижакі в природі, які вже вміли ковтати чужі клітини цілком. Можливо, це були не страхітливі пожирачі, а хиляки на зразок Прометея, які своїми розгалуженими щупальцями облутували метаболічних партнерів. Що б не являли собою ці істоти, це теж наші предки.

На якомусь етапі обидва ці предки зрозуміли, що їм добре разом. Бактерія захищена від інших хижаків, які можуть її з'їсти і не пожаліти, а архея - та взагалі в шоколаді, тому що мало того, що їй тепер не страшний кисень, у неї раптом стало в десять разів більше енергії, яку їй у формі АТФ штампує киснева бактерія. І ось ця бактерія стає напівнезалежною органелою з постійним місцем проживання в архейній цитоплазмі.

Цей момент злиття двох доменів можна вважати народженням третього, еукаріотичного. (Утім, "момент" за просто міг бути розтягнутий на мільйони років.) Ми з'явилися в результаті протистояння кисню, яке в підсумку зробило нас багаторазово сильнішими.

Народження особистості

Виникнення еукаріотів знаменує союз двох способів експлуатації середовища, наче створених один для одного: хижацтва та дихання. Перший дозволяє перетворювати цілі чужі організми на поживні речовини. Другий витягує з поживних речовин максимум енергії. Тож еукаріот із мітохондрією - це не просто корабель, на якому гени плывуть крізь час, а справжня "Зірка смерті", принципово нове слово в живій природі³⁰.

Але важливіше, на мій погляд, не бойова міць дихаючого еукаріота. Важливіша його організменість.

З виникненням еукаріотів відбувається перелом "бактеріального мислення". У прикладі зі стійкістю до антибіотиків я говорив, що бактерії - істоти "множини", які оперують не як окремі організми, а як цілі популяції, штами. Еукаріоти вперше починають оперувати не тільки як штами, а й як особистості.

Умовно кажучи, в якийсь момент минулого існувала архея з дихаючою бактерією всередині, і була генетично точно така ж архея, але без бактерії. Перша архея перемогла не тому, що в неї були кращі гени, а тому, що її індивідуальне життя як організму виявилось продуктивнішим - їй вдалося обзавестися мітохондрією. Для середнього прокариота значення має тільки набір генів у межах клітини. З виникненням ендосимбіозу, за якого одні клітини живуть в інших клітинах, стає важливою не тільки генетична інформація, а особиста історія організму. Я вважаю, що відлік еукаріотичної "організменності", нашої еволюційної ставки на досконалість у межах покоління, потрібно вести саме з цієї точки.

"Зірка смерті" еукаріотичної клітини - це таке велике вкладення капіталу, що його вже не викинеш за першого погодного капризу. Вона зацікавлена в довгостроковому виживанні. Це бактерії можуть дозволити собі втрачати 99 % населення і за пару годин повертатися до вихідних чисел. Еукаріотичний організм - масштабний продукт масштабної операції з видобутку енергії.

На його виробництво потрібен час і велика кількість поживних речовин. Тому сам факт існування еукаріотів, цих ядерних ракетноносіїв, спрямовує їхню еволюцію в бік подальшого ускладнення: як би подовжити дорогим організмам життя, як би їх розмножити не один раз, а бодай кілька, як би навчити їх якнайкраще пристосовуватися до довкілля без необхідності знищувати невдалі варіанти. Ну і, звісно, як би їх озброїти для поїдання когось іншого, що більшого - то краще. У підсумку з'являється статеве розмноження, що збільшує мінливість з розрахунку на покоління, багатоклітинність, що дає змогу створювати нові організми без зникнення старих, і мозок, який дає змогу адаптуватися до середовища не за мільйон років, а за секунду. А також зуби, кігті, жала і шлунки.

Ми, еукаріоти, від самого початку зробили ставку на складність і досі пожинаємо плоди цього рішення. Вступивши в союз із мітохондрією, наші предки, археї Асгарда, підсіли на кисневу голку. Що більше енергії вони палили, то більшими, складнішими і досконалішими вони були. І тим більше від них було потрібно, щоб підтримувати свою крупність, складність і досконалість. Вдихнувши кисню і не померши, вони вскочили на еволюційний поїзд, з якого їм було вже не злізти.

Якщо людина перестає дихати, протягом кількох хвилин нейронам її головного мозку стає гостро не вистачати запасів енергії. Цей мозок - енергетична кульмінація життя на землі. Наше величезне теплокровне тіло і так топить поживно дихальну грубку на межах біохімічних можливостей, але мозок споживає вдесятеро більше енергії в розрахунку на вагу, ніж організм у середньому. Майже вся ця енергія йде на підтримання заряду на мембранах сотні мільярдів нейронів^{32, 33}. Якщо постачання енергії скорочується (саме скорочується, а не припиняється - без кисню поживні речовини цілком можна розщеплювати, просто не так ефективно), то буквально за хвилини заряд на мембранах починає падати, що зрештою спричиняє неконтрольований викид нейромедіаторів, судом і смерть. У людини немає залежності сильнішої, ніж від цього газу, який свого часу ледь не знищив життя на Землі: кілька хвилин без кисню - і нам вибиває пробки. Ну чи не іронія це долі?

4. Чого не зробиш заради любові

Не життя мені тут без милої:
З ким тепер іти до вінця?
Знати, судила мені доля з могилою
Заручитися молодцю.
Лучина. Романс

Драконячі лорди Таргарієни у "Грі престолів" з давніх часів одружували братів з сестрами для того, щоб підтримувати "чистоту своєї крові". Цим для виправдання своїх інтимних стосунків регулярно користуються близнюки Джейме і Серсея Ланністери, але їх, звісно, мало хто слухає. Різниця між ними в тому, що Таргарієни практикували інцест заради свого роду, а Ланністери - заради себе.

Для кого ми робимо те, що ми робимо? Що змушує нас жити, рухатися, робити вчинки?

Бактерія, наприклад, рухома своїми генами, тобто історією своїх предків, як Таргарієни. Ці гени, що несуть у собі пам'ять про всі перипетії своєї еволюційної траєкторії, створюють бактерію, як засіб свого виживання, тож вона не може не слідувати їхнім інтересам. В інтересах генів - щоб бактерія рухалася і розмножувалася. Бактерія - це копія своїх предків, тому з рідкісними, випадковими винятками вона чинить в усьому точно так само, як вони. Бактерія живе заради свого роду за визначенням.

Як і бактерії, ми багато в чому наслідуємо своїх предків. І все таки кожна людина унікальна і відрізняється від батьків за всіма статтями, від відбитків пальців до властивостей характеру. Якщо бактерії успадковують усі параметри батьківського організму, то люди успадковують радше загальні принципи його устрою. А це дає нам

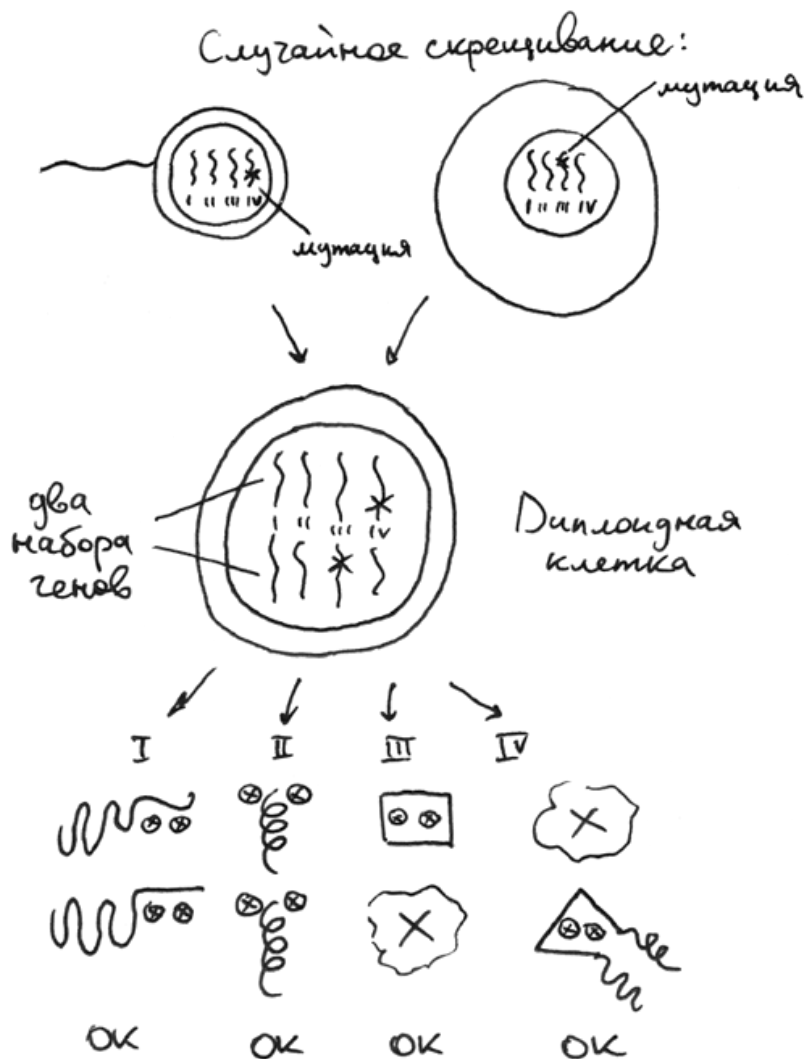
більше свободи рухатися, мислити і запитувати: "А для кого це все?" Людина занадто волелюбна, щоб цілком танцювати під генетичну дудку.

У бактерій немає інших мотивацій, крім генетичних. Для бактерії немає сенсу в питанні, чи робить вона щось для себе, чи для свого роду - це для неї одне й те саме. Але людина може йти проти генів, проти минулого, проти волі власної родини.

Звідки в нас це волелюбність?

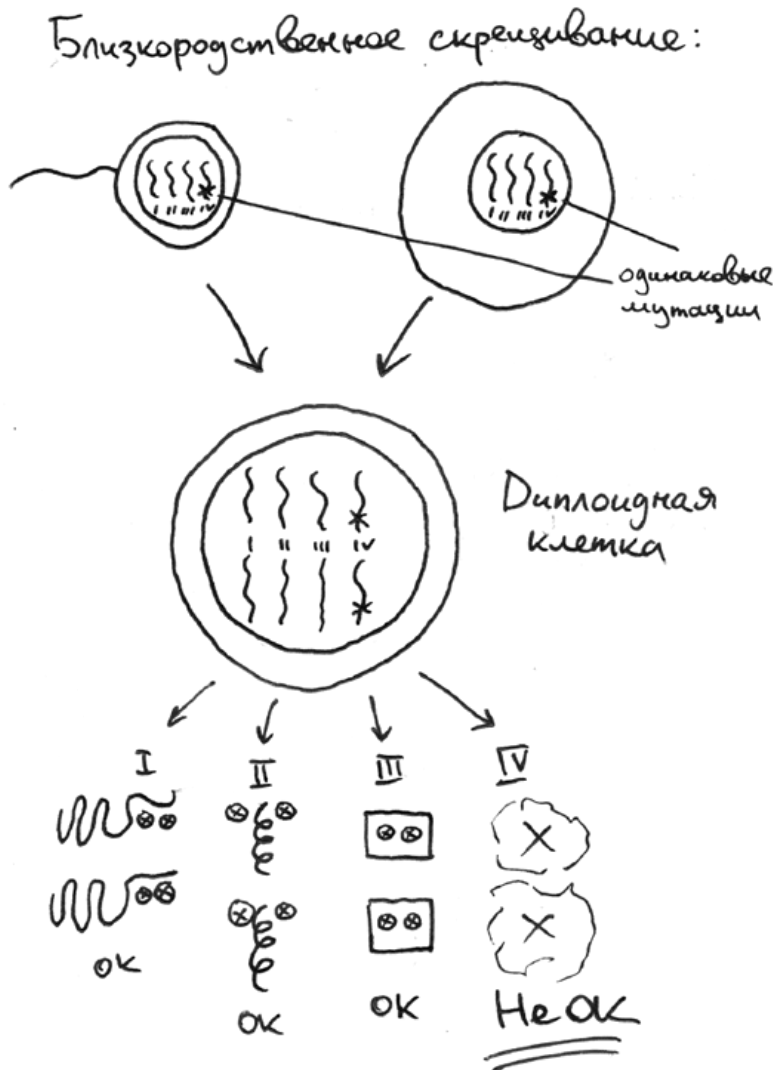
Помилки Ланністерів

Щоб зрозуміти, у чому проблема близькородних шлюбів, потрібно знати одну ключову деталь нашого устрою. Ми складаємося з диплоїдних клітин. Це означає, що в кожній клітині нашого організму по дві штуки кожної з хромосом, а отже, по дві штуки кожного гена. Але ці дві штуки - не просто копії. Парні, або гомологічні, хромосоми - два незалежні архіви, заповнені різними версіями, або алелями, одних і тих самих генів. Один з архівів дістається нам від батька, інший - від матері.



Кожна людина носить у себе в геномі безліч помилок, або мутацій. Але оскільки генів дуже багато, кожна конкретна помилка дуже малоімовірна. Якщо у вас два варіанти кожного гена, то майже напевно на кожен мутацію знайдеться запасна версія без помилки, і ніяких проблем не буде. Але якщо батьки - близькі родичі, то їх гени від самого початку схожі, тому з великою ймовірністю мутації у них в тих самих місцях. Імовірність, що дитина залишиться без резервної версії потрібного гена різко підвищується.

Цим і небезпечний інцест: він ніби оголює мутації, замасковані диплоїдністю. Через це у близьких шлюбах набагато частіше народжуються хворі діти 1-3.



У чому тоді полягає сенс "очищення крові", яке практикують Таргарієни у "Грі престолів", а також селекціонери собак або будь-яких інших породистих тварин? Знову такі питання в тому, для кого ми робимо те, що ми робимо. Інцест - це погано з погляду людей, народжених з каліцтвами і страшними хворобами, але добре з погляду їхнього роду - дому Таргарієнів або, наприклад, породи фокстер'єрів. Виродки і хворі не залишають потомства, а отже, припиняють рух своїх алелей у майбутнє, тим самим відсіваючи їх із "крові", тобто пулу генів. Інцест ніби концентрує забруднення, розчинені в склянці генетичної води, від чого вони випадають в осад, а вода стає чистішою⁴.

Чому Таргарієнам можна, а Ланністерам не можна? Тому що Ланністери думають про себе і своїх дітей, а Таргарієни - про цілий рід. Інцест може бути гарною ідеєю, тільки якщо на ньому заснований весь твій родовід і цікавить тебе його подальший успіх у далекому майбутньому. У короткостроковому ж інтервалі, і з погляду окремо взятих дітей від близькосторідненого шлюбу, в ньому немає нічого хорошого.

Наслідки близькосторіднених шлюбів, точніше їх відсутність в інших шлюбах, ілюструють чергову принципову відмінність нашого організму від бактерії. Завдяки цій відмінності ми не копіюємо своїх батьків, а унікальні, невідтворювані особистості.

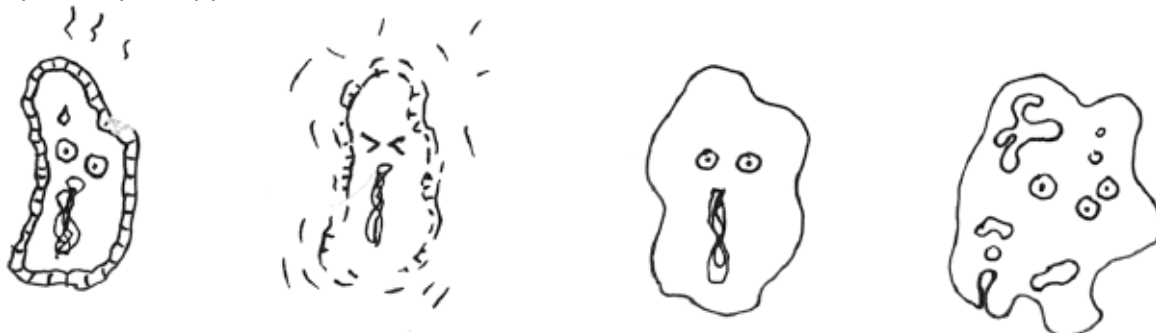
Ми не просто успадковуємо свої гени від предків. Ми успадковуємо по половині генів із двох незалежних джерел. Порівняно з бактеріями ми - організми химери, що несуть у собі не просто волю попередніх поколінь, а нашу власну, унікальну, комбінацію мотивацій, яка випадково випала нам із батьківського геному. У цього випадкового змішування генів є назва: статеве розмноження.

ДО РЕЧІ

В іспаномовних культурах подібним чином успадковуються прізвища. Вони теж складаються з двох частин: наприклад, у людини на ім'я Пабло може бути прізвище Гарсія Санчес. Це прізвище складається з батьківської половини і материнської половини, до того ж і в батька, і в матері теж подвійні прізвища (у нашому прикладі їх можуть звати, скажімо, Дієго Гарсія Мендес і Марія Санчес Кампос), половина з яких під час успадкування втрачається. Традиційно батьківська половина йшла першою, але сьогодні є варіанти і з порядком половин, і з вибором половини для подальшого успадкування, що ще більше наближає процес до передачі хромосом.

Я пам'ятаю дивовижну мить

У якийсь момент два наших одноклітинних предки злилися в одного. Це стало можливим завдяки все тому ж новомодному мембранному апарату, який незадовго до цього дав змогу археям з Асгарда стати еукаріотами: проковтнути мітохондрію, оточити ДНК ядром і заповнити собі клітину мішурами органелами. Більшість архей і бактерій вкриті бронєю клітинної стінки. Предки ж еукаріотів скинули цю броню і натомість відросили цитоскелет - рухливі клітинні кістки, на які, як на розтяжку, натягнута м'яка мембрана. Цитоскелет дозволяє контролювати її вигин, рух і брунькування. А така рухливість мембран дозволила двом еукаріотам злитися, змішавши вміст своїх клітин в одну клітину-хімеру.



Предок еукаріот сбрасує клітинну стінку

ДО РЕЧІ

Більшість нащадків цих перших "м'яких" еукаріотів таки повернулися до ідеї клітинної стінки, оточивши свої клітини новими типами броні: з целюлози, як у рослин, з хітину, як у грибів, або навіть із кремнезему, як у діатомей, завдяки чому ці одноклітинні істоти виглядають зробленими зі скла. "М'якоклітинність", подібна до тієї, що була в стародавніх еукаріотів, - одна з наших найважливіших відмінних рис як представників царства тварин, тож до теми клітинної стінки ми ще повернемося.

У живій природі майже все починається з випадковості, але майже всі випадковості нічим не закінчуються. Можна припустити, що так було і тут. Напевно злиття двох або навіть кількох клітин траплялися і раніше. І напевно в більшості випадків на цьому сексуальні пригоди клітин, що беруть участь, закінчувалися: поплаває поплаває клітина химера - і згине. Але одного разу в химері щось клацнуло, і вона стала ділитися - сама, цілком. З двома наборами генів, які раніше відтворювалися незалежно один від одного. У цей момент клітини, що випадково злилися, перетворилися на щось нове - диплоїд. Два її набори хромосом стали успадковуватися як один 5.

Але диплоїдність - це ще не статеве розмноження, а тільки його передумова. Злиття двох "одинарних" клітин в одну "подвійну" називається заплідненням. Крім запліднення, для статевого розмноження потрібен ще зворотний процес: перетворення "подвійної" клітини на "одинарну". Цей процес, запліднення навпаки, називається мейозом, а "одинарні" клітини - гаплоїдними 8-10.

Зрозуміти, навіщо потрібен мейоз і взагалі статеве розмноження, найпростіше на прикладі тих, хто його не має, - і це, як зазвичай, бактерії.

Уявімо собі на секунду бактеріальний секс. Нехай дві бактерії в пориві ніжності скинули свої клітинні стінки і злилися, об'єднавши свої хромосоми. Оскільки у кожній з бактерій лише одна хромосома, у нас вийшла диплоїдна бактерія з двома хромосомами. Якщо вона вирішить повернути мейоз і розіб'є цю пару хромосом на дві окремі клітини, то в результаті вийдуть рівно ті самі дві бактерії, з яких все почалося. Абсолютно незрозуміло, навіщо їм може знадобитися такий безглуздий цикл.

ДО РЕЧІ

Насправді щось подібне до сексу у бактерій все таки існує і називається кон'югацією. Але повноцінного злиття клітин і геномів при цьому не відбувається. Натомість між двома бактеріями встановлюється місток, по якому передається невелике генетичне послання - плазміда. Це швидше нагадує обмін новинами, ніж запліднення. У довгостроковій перспективі кон'югація посилює подібності між організмами, а секс - відмінності.

Але якщо у кожній з клітин партнерів хромосом не одна, а хоча б дві, то в злитті з подальшим мейозом з'являється сенс. І справді, поділ геному на численні хромосоми - одна з ключових відмінностей еукаріотів від бактерій.



Що більше хромосом, то більше нових комбінацій, які можна з них скласти. Під час запліднення всі хромосоми змішуються, а під час мейозу кожна пара хромосом випадково розподіляється між дочірніми клітинами. Якщо хромосом дві, то можливі вже не тільки два вихідних варіанти, а ще два інших, змішаних, разом 4. Якщо хромосом 3, то варіантів 8. А 23 пари хромосом, як у нас, дають змогу скомбінувати їх 8,3 млн можливих способів. У такій рекомбінації, або просто перемішуванні, і полягає сенс статевого розмноження, тобто чергування злиттів і мейозів.

Статеве розмноження - це з історичної точки зору взагалі не розмноження. Це спосіб перемішати свої гени з чужими і створити в результаті нові, потенційно успішні комбінації, причому чим більше різних комбінацій, тим краще.

Усе в механіці статевого розмноження влаштовано так, щоб забезпечити максимум перемішування. Є перемішування хромосом: їхнє випадкове сортування в дочірні клітини. Є так званий кросинговер. На одній зі стадій мейозу гомологічні хромосоми сплітаються й обмінюються ділянками, тобто виходить не просто перемішування хромосом, а перемішування алелів у хромосомах. Але головне джерело різноманітності - це сам факт свободи статевих зносин. Перемішування організмів. Статеве розмноження означає, що організми можуть вирішувати, з ким вони хочуть скомбінувати свої гени. Статеве розмноження дає нам вибір.

У паху в тополі

Що взагалі таке стать? Коли я прошу студентів визначити, чим відрізняється чоловіча стать від жіночої, то відповіді зазвичай діляться на дві категорії: знавці згадують про X і Y хромосоми, ну а хто простіше, звісно, концентруються на паховій ділянці. Правильний варіант відповіді - на третьому місці з великим відставанням.

Відповідь щодо пахової ділянки - занадто людська. У рослин, наприклад, узагалі нічого такого немає, а чоловічі та жіночі особини й органи тим не менш різняться. Те ж саме стосується виношування плоду, догляду за потомством, гормональних відмінностей і будь-яких інших первинних або вторинних статевих ознак. Якщо чоловіки і жінки є у тополь або, наприклад, у дріжджів, то про який догляд за потомством може йти мова? Поділ на дві статі - це щось ширше і стосується не тільки людини, а всієї природи.



Тополь ухаживает за потомством

Що не так з X і Y хромосомами? Тут варто розібратися детальніше. X і Y - це просто назви. Так називаються гомологічні хромосоми особливої, статевої пари, яка визначає стать у людини. Більшість пар гомологічних хромосом, хоч і являють собою незалежні архіви генів, загалом схожі одна на одну розмірами і будовою. Але в статевій парі все інакше. У цій парі бувають два різні типи хромосом. Одна хромосома нормальна, середніх розмірів, зі здоровою кількістю генів. Цей тип статевої хромосоми називається "X". Друга - жалюгідний обрубок, на якому майже нічого не записано. Єдина роль цього обрубка - створювати чоловіків. Він називається "Y".

У диплоїдній клітині, тобто у звичайній клітині людського організму, статевих хромосом, як і інших хромосом, дві штуки. У жінок обидві з них типу "X" (можна сказати генотип XX), а в чоловіків одна типу "X", а інша типу "Y" (генотип XY). У яєчниках або сім'яниках клітини з відповідними генотипами проходять мейоз (редукційний поділ), під час якого статеві хромосоми розподіляються між двома статевими клітинами, або гаметами. Слово "гамета" походить від давньогрецького γάμος - "шлюб", але в глибині душі я завжди асоціював його з "гаплоїдною ракеткою". Це, звісно, з мого боку дуже антропоцентрично, а то й, вибач господи, андроцентрично.

Отже, кожна гамета отримує по одній статевій хромосомі з двох. Відповідно в чоловіків утворюються два типи сперматозоїдів: у половині з них X, у половині Y. Жінки ж продукують яйцеклітини, в яких може бути тільки X. Під час запліднення яйцеклітина зливається з одним із двох типів сперматозоїдів. Залежно від того, яку статеву хромосому той несе - повноцінну X чи обрубок Y, - з отриманої зиготи виросте або жінка, або чоловік відповідно.

Тут стає зрозумілою основна помилка студентів, які вважають, що чоловіки - це XY, а жінки - XX. І річ навіть не в тому, що це просто вигадані назви. Головне, що генотипи визначають стать, а не є нею. У людини той, у кого різні статеві хромосоми, стає чоловіком, а той, у кого однакові, в нормі стає жінкою.

В інших видів стать може визначатися інакше. У птахів або, наприклад, змій, усе навпаки: однакові хромосоми в самців, різні в самок (щоб уникнути плутанини, їх позначають іншими літерами: Z і W). У черепах і крокодилів стать може визначатися температурою (буває так, що в прохолодних гніздах вилуплюються самі самці, а в тепліших гніздах - самі самки)¹¹.

ДО РЕЧІ

Цікава історія з мухами. На вигляд у них те ж саме, що й у нас: чоловіки XY, жінки XX. Але насправді стать у них визначається зовсім по іншому.

Іноді під час мейозу відбуваються помилки, і з'являються статеві клітини із зайвою статевою хромосомою або взагалі без неї, тож зрідка диплоїдному зародку замість покладених двох статевих хромосом може дістатися три або одна. Так ось, у випадку з мухами і людьми принциповим є випадок моносомії за X хромосомою, тобто патологічної ситуації, за якої замість XX або XY у зародка всього одна X хромосома, що позначається як XO. У людини такі зародки розвиваються в жінок (хоч і з серйозними патологіями, так званим синдромом Тернера), але ось у мух особини з генотипом XO - це самці.

Чому це важливо? Тому що XO - це генотип яйцеклітини, до якої нічого не додали. Непорочний статевий набір. Те, що з нього розвивається, - це нібито стать за замовчуванням. У людини вона жіноча, а перехід на чоловічий план розвитку викликається присутністю Y хромосоми. У мух же стать за замовчуванням чоловіча, а друга X хромосома викликає перетворення на самку¹².

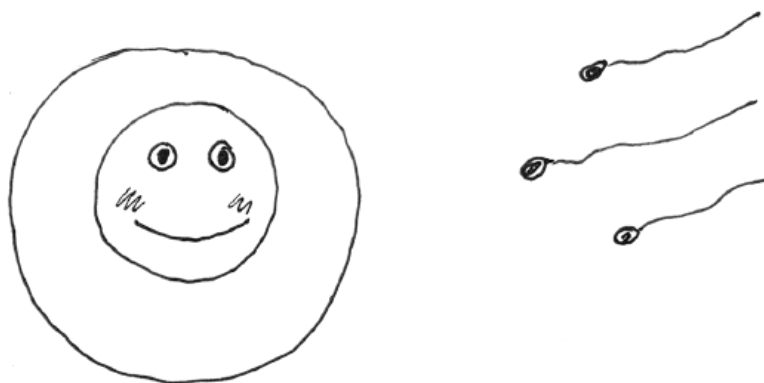
Коротше кажучи, стать може визначатися по-різному, а отже, під словом "стать" мається на увазі щось більш абстрактне, ніж набір статевих хромосом.

Що може бути ширшим і абстрактнішим, ніж будь-які статеві ознаки і навіть генотипи? Сперматозоїд і яйцеклітина. А якщо бути ще точніше, то просто на просто розмір гамет. Слово "сперматозоїд" позначає особливий тип маленької гамет, характерний для тварин, - рухомої, з хвостом, що активно б'ється. У рослин або одноклітинних бувають чоловічі гамети спокійніші, без жодних хвостів, гаплоїдні, але явно не ракети. Об'єднує їх той факт, що всі вони менші за розміром, ніж жіночі. У цьому насправді й полягає єдина визначальна відмінність чоловічої статі від жіночої. Чоловік - це стать із маленькою гаметою, а жіноча - з великою. Це може здатися тривіальною відмінністю, але на ній ґрунтується весь інш ян міжстатевих стосунків.

Чи буває статеве розмноження без статей? Як не дивно, буває. У цьому разі статеві клітини зовні не відрізняються. Така ситуація називається ізогамією, і вона досі поширена серед багатьох одноклітинних. Цілком ймовірно, ізогамія являє собою початкову форму статевого розмноження¹³.



изогамия



анизогамия

Але куди більш популярний серед сучасних еукаріотів видозмінений варіант статевого розмноження, за якого одна гамета велика, а інша дрібна: анізогамія. У більшості випадків це масштабні відмінності: на одну гігантську, нерухому яйцеклітину можуть припадати мільйони найдрібніших жвавих сперматозоїдів.

Чим так приваблива анізогамія? Тим самим, чим і будь-який поділ праці: сходи в магазин, а я поки помію посуд. За ізогамії кожній гаметі доводиться шукати собі партнера. Усе необхідне для подальшого розвитку кожна гамета повинна носити із собою. Це обтяжливо і затратно: більшість гамет партнера не знайдуть і так і залишаться жити зі своїм багажем. За анізогамії одна з гамет може сконцентруватися на ресурсах, а друга - на пошуку. Це набагато ефективніше: можна наштампувати величезну кількість дешевих дрібних гамет, фактично генетичних капсул із

хвостом, і розпустити їх на всі чотири сторони на пошук невеликої кількості гамет нерухомих, але великих, дорогих, добре укомплектованих. Такі гамети називаються яйцеклітинами або просто яйцями. До речі, ось вона, розгадка загадки про курку і яйце. До появи птахів нам ще далеко, а яйця - ось вони.

Чоловіча і жіноча стать з'являються в той момент, коли одна гамета стає більшою за іншу. Але одного разу виникнувши, ця асиметрія статей наростає як снігова куля.

Одна стать прагне до дорогих гамет, інша - до дешевих. Для однієї статі важлива кожна гамета і вигідно забезпечити кожній тепличні умови, а для іншої важливі не окремі гамети, а їхня кількість і здатність знаходити якомога більше яєць. Таким чином, одна стать орієнтована на потомство, а друга - на пошук першої. Крім того, оскільки дрібних гамет набагато більше, ніж великих, їхні виробники зазвичай гостріше конкурують між собою.

Пояснення, що відносини людських статей не зводяться до сперматозоїдів і яйцеклітин, сподіваюся, зайве. Зрозуміло, за наступні мільярди років на одноклітинну логіку статевого розмноження нашарувалися цілі пласти генетики і культури, ускладнивши і заплутавши все до невпізнання. І все ж таки настільки ж очевидно і те, що витоки всього чоловічого і жіночого, що є в живій природі, потрібно шукати тут, у злитті двох гаплоїдних одноклітинних одноклітинних різних розмірів.

Але, крім асиметрії статевих ролей, у виникненні яйця є ще один наслідок. Стартовий капітал, який яйце надає зародку, це не просто поживні речовини. Це час. Ресурси, накопичені в яйці, дають отриманому з нього організму змогу розвиватися, тобто проводити частину часу свого існування, не займаючись пошуком їжі чи розмноженням, а дозріваючи до досконалішого стану. Яйце подарувало диплоїдній клітині дитинство - і тим самим проклало шлях для принципово нового етапу життя на Землі.

Комуністична монархія

З висоти людського зросту всі мурахи здаються більш-менш однаковими. Вони, звісно, різняться за кольором і розміром, але не більше, ніж, скажімо, легкові автомобілі. Насправді відмінності між видами мурах іноді не менші, ніж між котом і носорогом. Одні мурахи вирощують під землею гриби і випасають худобу (тлю). Інші склеюють будинки з листя, чіпляючись одна за одну і видавлюючи липку речовину з власних личинок. Треті - машини вбивці, які постійно воюють кланами всередині власного виду і знищують на своєму шляху цілі ліси. Про мурах треба писати окрему книжку, та ще й не одну.

Що об'єднує всіх цих різноманітних чудовиськ, так це їхня колективність. Мураха не приходиться одна. Якщо ви побачили у себе на кухні хоч одну мурашу, - значить, у вас на кухні мурахи. Усі вражаючі здібності мурах - від утворення складних спільнот із сільським господарством до створення гігантських армій, що розривають ворогів на частини, - можливі завдяки тому, що ці тварини вміють діяти не поодиночці, а групами.

Людина - теж колективна істота, хоча наша колективність влаштована зовсім інакше. Ми сплачуємо податки і дотримуємося правил дорожнього руху, бо знаємо переваги суспільної поведінки. Але пересічній тварині складно пояснити, чому в принципі потрібно робити щось проти своєї волі. Як так вийшло, що мурахи раптом поставили суспільство вище за особистість? Навіщо мурашці воювати в армії, якщо її шанси на виживання в тилу значно вищі? За кого воює ця мураха?

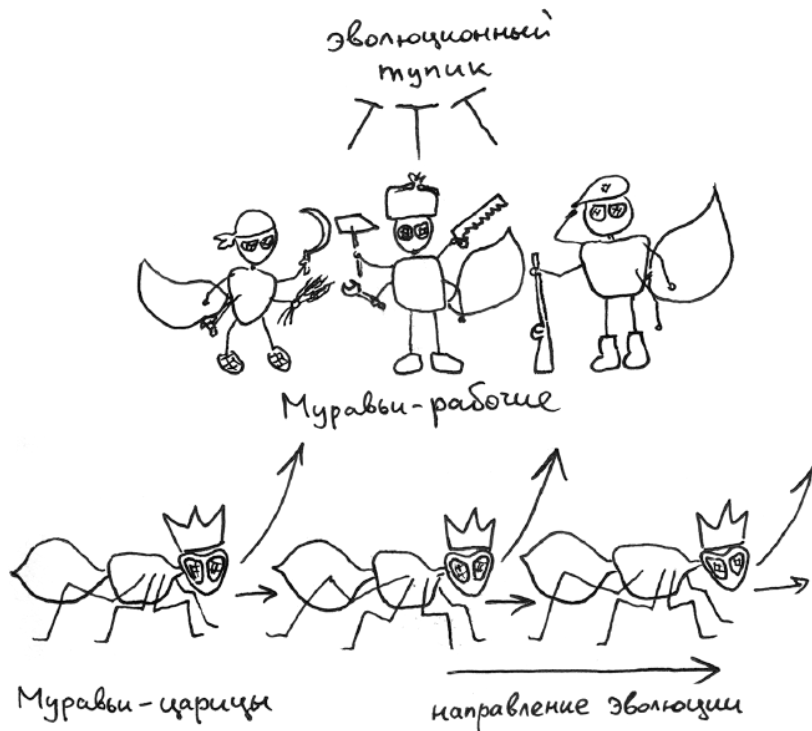
Воює мураха, звичайно, за царицю матінку. Колонія мурашок зазвичай складається з величезної кількості робітників (частина з яких можуть бути "солдатами" або якоюсь іншою шестерінкою мурашиного суспільства), якими править плідна цариця, їхня мати. Робітники самовіддано трудяться на благо матки та її потомства.

З висоти наших уявлень все це виглядає продуманою стратегією, на кшталт державного ладу або хоча б сімейного етикету. Але самовідданість мурах має зовсім іншу природу. Вся справа в тому, що робочі мурахи не вміють розмножуватися.

Не вдаючись у найцікавіші, але заплутані деталі (за якими я настійно рекомендую читачеві звернутися до книжки Е. Вілсона "Соціобіологія: Новий синтез" Sociobiology: The New Synthesis), суть мурашиного суспільства в тому, що воно поділене на касти, які розмножуються, та на касти, які не розмножуються. Саме цим - так званою еусоціальністю - пояснюються всі вражаючі здібності мурах. Те ж саме характерно для бджіл, термітів і голих землекопів (я не жартую).

Суть робочої мурахи в тому, що вона ніколи не еволюціонувала сама по собі. Всі його гени дані йому мурашиною маткою. Він ніби входить до комплексу її організму, на кшталт дистанційно керованого органу. Він щиро хоче будувати мурашник і воювати за царицю, бо він частина її тіла. Та дає робітнику його гени, в яких записано, що саме цей робітник має для цариці робити. Це пропаганда на зовсім іншому рівні. Мурашники загалом навіть називають "суперорганізмами".

Якби робоча мураха вміла розмножуватися, то в неї б напевно народжувалися мурахи, лояльні до бабусі матки трохи більшою чи трохи меншою мірою. Потомства було б більше у волелюбних. Покоління за поколінням робітники позбулися б "генів лояльності", що б вони собою не являли, стали б самостійними видами і їм не доводилося б працювати на матку. Якщо ти розмножуєшся, то еволюція працює на тебе. Але якщо ти не розмножуєшся, то еволюція працює на того, хто розмножується.

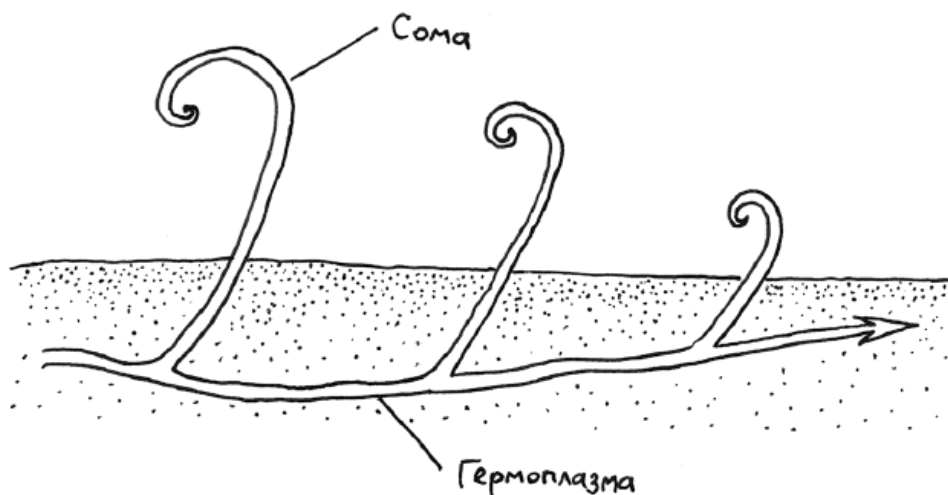


ДО РЕЧІ

У зв'язку з робочими мураками не можна не згадати про євнухів у людській історії. Хоч би яким варварським здавався акт оскоплення із сучасних позицій, у нього зазвичай була цілком певна мета: позбавити людину потомства. Цим ніби перебудовується її мотиваційна система. Річ не тільки в тому, що євнухи не чіплятимуться до дружин у гаремі, бо в них змінюється гормональний фон. Євнухам нема чого піклуватися про власну спадщину, а отже, вони безпечні для тих, хто оперує династичними інтересами. Євнухи значилися в радниках у китайських і римських імператорів, а в ісламському світі становили цілий політичний клас (що цікаво, кастрація формально заборонена Кораном, тому євнухів законослухняні громадяни імпортували з неісламських країн) 14, 15.

Такі відносини цариць, що розмножуються, з робітниками можна зобразити у вигляді стріли з відростками, як на малюнку. Покоління за поколінням цариця продукує нових цариць, які продукують нових цариць, але, крім цього, всі вони продукують робітників, які нікого не продукують - їхнє життя веде в глухий кут. Робітники - це відростки на держаку стріли, що з'єднує минуле з майбутнім через чергування поколінь цариць. Це і робить їх робітниками.

Насправді, міркування про мурах і євнухів мені потрібні були саме для того, щоб намалювати цю картинку¹⁶. Мурахи - це просто метафора. А ось картинка з безперервною стрілою і тупиковими відростками описує для нас щось набагато значущіше: принцип організації багатоклітинного організму.



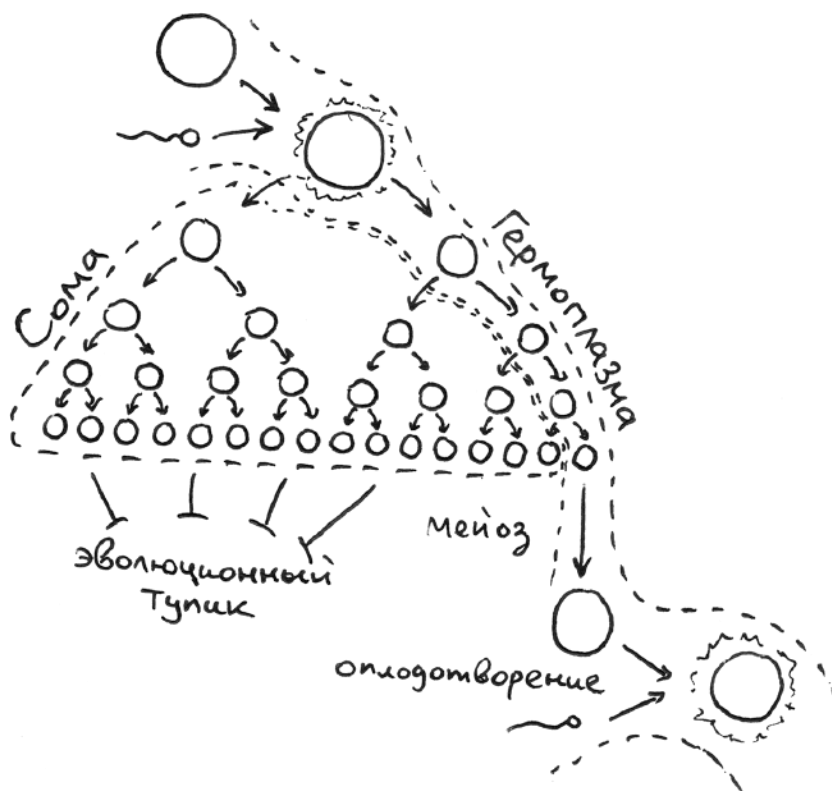
Влада гермоплазми

Багатоклітинний організм - це не просто багато клітин. Це багато клітин, які працюють як одна. Цим багатоклітинний організм відрізняється від колонії одноклітинних. Бактерії, наприклад, утворюють біоплівки - бляшки особливої щільної речовини, в якій сидять власне бактеріальні клітини. У якомусь сенсі ці бляшки можуть поводитися як окремі організми з безлічі клітин. І все таки біоплівка - не багатоклітинний організм, а колонія одноклітинних.

Різниця в тому, що кожна бактеріальна клітина, яка входить до складу біоплівки, вміє ділитися, тому здатність до розмноження рівномірно розподілена по всій біоплівці. У справжньому ж багатоклітинному організмі - у нашому власному, наприклад, - більшість клітин розмножуються тільки в обмежених межах. Вони діляться доти, доки триває ріст організму, а потім зупиняються і лише зрідка оновлюються новим поділом.

У цьому більшість клітин нашого тіла схожі на мурах робочих. Майже весь наш організм зроблений з клітин, чий гени, строго кажучи, приречені на смерть. Клітини м'язів або клітини мозку містять ДНК точно так само, як яйцеклітини і сперматозоїди, але шкірна або мозкова ДНК ніколи не вийде за межі нашого організму, а значить, ніколи не зробить потомства. Тобто більшість клітин організму - це еволюційний глухий кут. Шанс залишити генетичний слід в історії є тільки в особливої, привілейованої, можна сказати, елітної групи статевих клітин та їхніх попередників у сім'яниках і яєчниках.

У цих двох "каст" клітин організму - ті, що розмножуються нескінченно, і ті, що розмножуються обмежено, - є назви. Клітини мозку, м'язів, шкіри, печінки і в принципі клітини, з яких складається наше тіло, називаються соматичними, від грецького слова σῶμα - "тіло". Їх переважна більшість. Соматика - це "тупикові" клітини робочі, які підпорядковані меншості клітин, що розмножуються і живуть у статевих органах. Ті ж несуть генетичну естафету, як олімпійський факел: від бабусі й дідуся, через тата з мамою - до онуків і так далі. Це вони схильні до еволюції і збирають плоди відбору. Це вони задають організму його властивості, диригуючи генами всіх інших клітин. Подібно до мурашиної матки, ці клітини, що розмножуються, виробляють для своїх цілей допоміжні тіла - тобто нас із вами.



"Передача естафети", безперервна лінія, що з'єднує покоління, відображена в назві цих "елітних" клітин багатоклітинного організму. Вони називаються статевою або зародковою лінією. У сучасній російській мові частіше використовується термін "статева лінія", а в англійській - germ line, "зародкова лінія". Найкраще, на мій погляд, звучить старомодний варіант - germplasm, або "гермоплазма". Так давно ніхто не говорить, але зате в цьому є щось від "Фауста". Цим терміном я і буду користуватися на зло всім підручникам.

Соматика і гермоплазма розділяються не відразу. Відразу після запліднення вони являють собою єдине ціле, тому що в цей момент весь зародок - одна клітина з подвійним набором хромосом, або зигота.

Поділ на дві "касти" клітин у людини відбувається тільки на третьому тижні розвитку¹⁷. Зигота спочатку дробиться на дві, чотири, вісім клітин, і ось через три тижні, коли клітин уже тисячі, серед них виокремлюється група, якій судилося розвинути на попередників статевих клітин у яєчниках або сім'яниках, залежно від статі. Це

і є гермоплазма. Решта клітин формують кістки, шкіру й органи, але все це тупики, смертна матерія, одноразова сома. Завдання статевої лінії - безсмертя, і досягти вона його може тільки через статеві клітини, тому що тільки звідти гени можуть відправитися в наступне покоління. А отже, тільки гени гермоплазми визначають властивості нащадків, включно з властивостями їхньої соми.

Отже, з погляду одноклітинного багатоклітинність - це форма суспільних відносин, за яких меншість клітин, зайнятих статевим розмноженням, підпорядковує собі більшість клітин, приречених на смерть. Найцікавіше тут у тому, що ми дивимося на світ саме з точки зору цих самих приречених клітин. Наше тіло, наш мозок, наша свідомість - усе те, що ми називаємо "я", - це безвихідна гілка еволюції, вироблена на світ рухом нашої гермоплазми.

З одного боку, звучить гнітюче. Невже людина просто зняряддя свого сперматозоїда? Насправді в поділі соми і гермоплазми - головне джерело нашої свободи. Якби ми були єдині зі своєю гермоплазмою, то ми б принципово не могли піти проти своїх генів, як не можуть піти проти своїх генів бактерії. Але сомі, в принципі, нічого не заважає не підкорятися гермоплазмі. Звичайно, їй не властиво це робити, тому що соми, які не забезпечують виживання гермоплазми, швидко вимирають. Але повністю контролювати сому гермоплазма просто не може. Багатоклітинний організм - це надскладна конструкція, кількість деталей у якій істотно перевищує кількість генів у геномі. Проте всі інструкції до цих деталей мають уміщатися в одній клітині, яку відправляють у наступне покоління. Тож що такий організм складніший, то більше в нього свободи від власних генів.

Як навіть найнервовішим батькам на якомусь етапі доводиться відпускати дітей до школи з ранцем і обідом у кульку, так і генам гермоплазми доводиться на якомусь етапі задовольнятися загальними напуттями клітинам тіла, що розвивається. Іншу інформацію клітини соми отримують одна від одної і від навколишнього середовища. У тварин кульмінацією цієї антигенетичної волелюбності організму стає винахід спеціальної машини, яка протягом усього життя навчається новим інструкціям, узагалі ніяк не згаданим у жодних генах. Ця машина називається мозком.

Завдяки статевому розмноженню ми відрізняємося від предків. Завдяки багатоклітинності ми вміємо думати самі за себе. Але за цю унікальність ми дорого платимо. Як би високо ми не ширяли над своєю гермоплазмою, як би не височіли над владою власних генів, один аспект наших взаємин залишається непорушним. Гермоплазма безсмертна, а сома - ні.

ДО РЕЧІ

Безстатеве розмноження - це з одного два, а статеве - з двох один. Так чому тоді це взагалі розмноження? Розгадка тут у тому, що з винаходом багатоклітинності змінився сенс слова "розмноження". Ми вважаємо свій організм продуктом статевого розмноження батьків. З точки зору наших одноклітинних гамет, він є продуктом нестатевого розмноження зиготи. Саме це нестатеве розмноження, власне, призводить до приросту біомаси. Що ж стосується злиття двох клітин в одну, то самі клітини, що зливаються, явно не вважають це розмноженням.

Строго кажучи, "розмножитися" типовий одноклітинний організм може тільки одного разу, розділившись на дві клітини. Тобто поява двох нових клітин супроводжується зникненням старої. Але багатоклітинний організм, виробивши потомство, не зникає - він може повторювати процес багаторазово, що і робить наше статеве розмноження власне розмноженням. Це цілковитий переворот самого поняття.

Перша смерть

Смерть - це новий елемент у типовому життєвому циклі живого організму.

Звісно, одноклітинні істоти вмирили й раніше. Крім відносно недавньої перспективи бути проковтнутим, будь-яка стародавня клітина могла запросто залишитися без джерела живлення і просто розчинитися в океані, а то й зваритися в якомусь киплячому фонтані. Для одноклітинної смерть означає поразку. Зварився - значить не поділився, а іншого завдання в одноклітинної немає. Смерть відрубуює її генетичну гілку з вічно зростаючого дерева життя.

Але для багатоклітинного смерть - це не поразка, а частина програми.

Чому багатоклітинний організм обов'язково має померти? Насамперед треба зазначити, що для середньої живої істоти питання стоїть не в тому, навіщо в принципі потрібна смерть, а в тому, хто, коли і як її з'їсть. Фантазії на тему вічного життя - це людська розкіш.

У принципі, звернувшись до наукової фантастики, цілком можливо уявити багатоклітинний організм, що не старіє (скажімо, жука - у мене скоро почнуться кольки від слова "організм"). Вічний жук - це не те саме, що вічний двигун. Вічних двигунів бути не може, тому що для цього потрібно створити енергію з нізвідки. Вічний жук зовсім необов'язково повинен створювати енергію - навпаки, йому потрібно постійно добре харчуватися, споживати всілякі вітаміни й антиоксиданти, щоб підтримувати своє вічне тіло у вічному стані. Вічний жук не суперечить

законам біології чи фізики. І все таки вічних жуків не буває. Будь-який жук, навіть якщо його ніхто не їсть, рано чи пізно постаріє і помре.

Причина існування старіння - складне і неоднозначне питання. Виробництво нового організму забирає колосальну кількість часу та енергії. Здавалося б, незрівнянно дешевше з еволюційного погляду продовжити життя старому - то чому цього не сталося за мільйони років еволюції?

Тут є кілька версій. Одна з версій полягає в тому, що ймовірність розмножитися з віком знижується (що ти старший, то дивовижніше, що тебе ще не з'їли), а значить, на проблеми зі здоров'ям, що проявляються з віком, гірше діє природний відбір (рак у дітей - велика проблема для популяції, а рак у людей похилого віку на генофонд впливає мало). За іншою версією, в генах прописана свого роду "техпідтримка" організму (включно із захистом від ушкоджень ДНК), але ця техпідтримка ділить "фінансування" з відділом розмноження, тому еволюція розподіляє між ними бюджет, через що рано чи пізно контракт на техпідтримку просто спливає, і організм помирає від накопичення мутацій^{18,19}.

Причина неминучої смертності жуків не в тому, що жук неодмінно має прийти в непридатність. Суть у тому, що гермоплазмі жука не потрібні вічні жуки. Її турботи - не жукові, а еволюційні. Гермоплазмі потрібно рухатися вперед, щоб залишатися в живих. А кроки свої вона міряє поколіннями.

Емерджентний домен

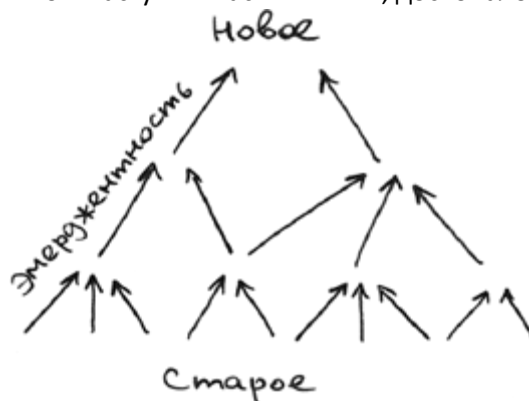
Бактерії, вічні колективісти, за всього свого групового підходу до вирішення проблем завжди залишаються окремими клітинами. Еукаріоти, прийнявши індивідуалізм як життєвий принцип, раз у раз намагаються зробити з різних клітин якусь гіперклітину, на кшталт суперорганізму в мурах. Диплоїд - перша з таких гіперклітин. Начебто одна, а насправді дві. Працює як єдиний організм, але керується двома наборами генів. Багатоклітинний організм - друга. Виглядає як багато клітин, а насправді одна велика зигота. Як це не парадоксально, переступивши поріг нашої еукаріотичної імперії хижаків і егоїстів, ми стали з більшим інтересом ставитися до собі подібних.

Тут простежується глибша тема, ніж клітини, що злипаються: еволюційне виникнення нового із сукупності старого. Життя - це нашарування рівнів, кожен з яких складається з компонентів попереднього, але не зводиться до цих компонентів. Багатоклітинний організм - це не просто багато клітин. Диплоїд - це не просто два гаплоїди. Клітина - це більше, ніж купка хромосом і білків. Молекули - не просто набір атомів. У кожному з цих випадків ціле більше, ніж сума компонентів.

У цього феномена багато назв: синергія, холізм, системний ефект. Я користуюся словом "емерджентність", тому що так його назвав Андрій Ігорович Гранович на першій лекції із зоології в мій перший день на першому курсі біофаку СПбДУ. Тоді я, звісно, був надто захоплений свіжовідкритим для мене статусом студента-універсанта, щоб звертати увагу на такі дурниці, але я пам'ятаю момент під час підготовки до сесії, коли я перечитав першу сторінку конспекту і раптом усе зрозумів. Як із неживого виростає живе, як воно знаходить нові способи існування, як воно ускладнюється в процесі, який вигляд воно має в результаті. Емерджентність! Заради таких моментів, мабуть, існує вища освіта. Я досі вдячний Андрію Ігоровичу за те, що він відкрив для мене це слово, та й узагалі пристрась до прихованого сенсу живого.

Емерджентність - дуже проста ідея: щось більше, ніж сума його компонентів. Молекула - це не просто кілька атомів, це ще й їхня особлива конфігурація. Речення - це не просто набір слів, це сенс, який виростає (англ. emerge) з їхніх взаємовідносин. Мелодія - це не просто стільки то нот до і стільки то нот ре. Це те, як вони співвідносяться в часі. Коротше кажучи, у системи є властивості, яких немає у її компонентів. Це і є емерджентність.

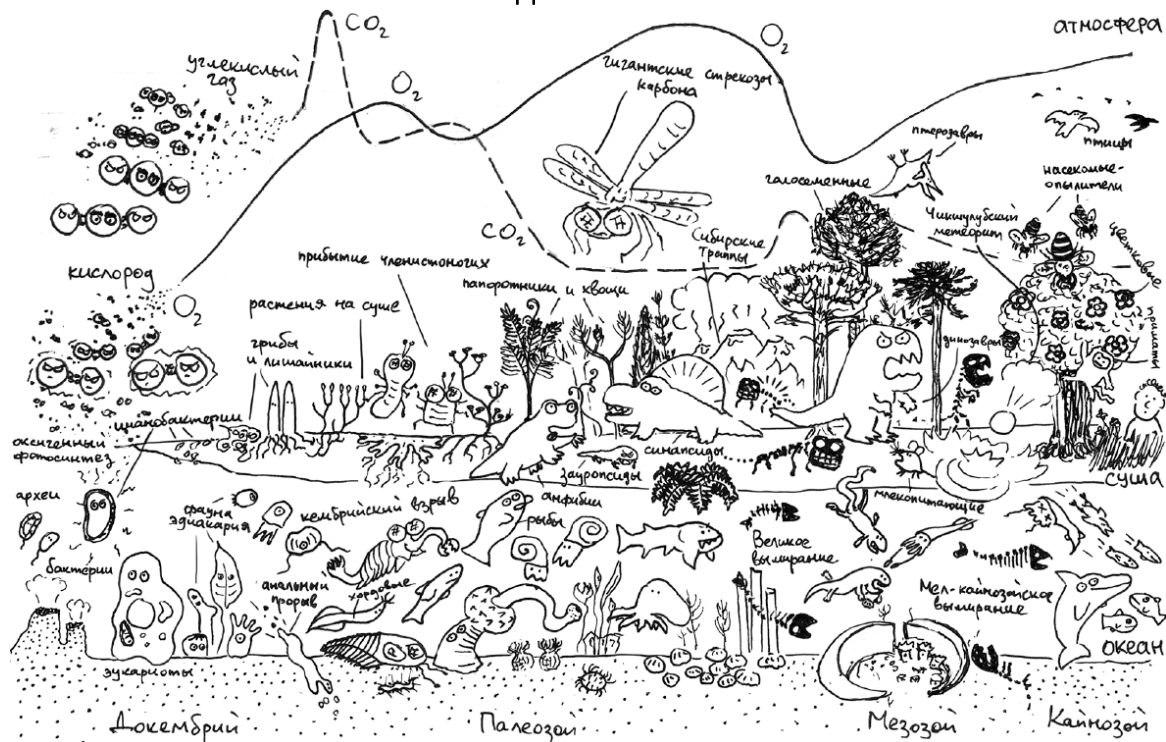
Але у випадку вічно рухомої живої природи емерджентність - не просто зручний термін. Це довгострокова стратегія виживання, спосіб вічно створювати нове там, де можливості здаються вичерпаними. Саме це мистецтво створення нових рівнів, як ми побачимо в наступній частині книги, досконало досягнули еукаріоти.



У всякому разі, витягаючи з глибин свого багаторівневого мозку цю багаторівневу пропозицію, я з теплом думаю про стародавніх еукаріотичних предків і їхню ненаситну гонитву за складністю.

Частина II

Звідки взялися ми



5. Додавання руху

Руху немає, сказав мудрець бородатий.
Інший змовчав і став перед ним ходити.

Олександр Пушкін

Слово «животное» походить від старослов'янського живот, тобто "життя". Тварина, як припускають, походить від праїндоевропейського гвіоте, від якого походить і грецька біота, і латинська віта. "Тварина" англійською - animal, має витоки в латинському слові anima, в основі якого і тут лежить праїндоевропейський корінь ане: "дихання". Інше слово, яким іноді позначають тварин, звір, походить від грецького тер, ну а той, природно, теж до праїндоевропейського предка, гвер - "дикий", від якого також веде родовід, наприклад, англійське слово feral - "здичавілий".

У цій книзі я приділяю багато уваги етимології, бо етимологія - це еволюційна історія слів, а отже, ключ до розуміння людських ідей. Що таке тварина з точки зору пращурів? Принаймні праїндоевропейці, культурні предки безлічі народів від Європи до Індії, вирішили, що тварина - це щось живе, дихаюче і дике.

Нерозумно, звичайно, сперечатися з пращурами, але за сучасними уявленнями ці їхні визначення тварин нікуди не годяться. У чому проблема "живого, дихаючого і дикого"? У тому, що при найближчому розгляді ці якості ніяк не відрізняють тварин від не тварин.

Що вважати живим, а що не вважати - це, звісно, навіть сьогодні питання радше лінгвістичне, ніж біологічне. Але якщо слідувати підходу NASA і вважати життям будь-яку "хімічну систему, здатну до еволюції", то в цю систему однаково вписуються і людина, і інші тварини, і рослини, і мікроорганізми. Та й узагалі, із сьогоднішніми знаннями, наприклад, про схожість рослинної і тваринної клітини, складно виправдати таке визначення життя, за якого качка вважається живою, а очерет - неживим. Дихати, як ми з'ясували в минулому розділі, після "кисневого холокосту" теж уміють майже всі, а вже що стосується дикості, то, наприклад, до сосен це слово підходить набагато краще, ніж до кішок.

І все таки тварини однозначно виділяються з навколишнього світу. У більшості випадків людина може безпомилково відрізнити тварину від не тварини, навіть якщо вона ніколи її раніше не бачила і навіть якщо вона ні на що не схожа. Усвідомлено чи неусвідомлено, ми використовуємо для цього одну центральну ознаку, яка з абсолютно незрозумілих для мене причин не ввійшла до жодного з відомих мені синонімів "тварини".

Тварини рухаються.

До написання цієї книжки я ніколи не замислювався, що слово анімація, наприклад, має саме "дихальний" корінь: анімувати - значить вдихнути у щось життя. Я був переконаний, що анімувати, значить приводити в рух.

Анімаційний фільм - це фільм із картинок, що рухаються. Аніматронна лялька - це рухомий динозавр на шарнірах. Аніматор на турецькому курорті - це дядько, який змушує людей танцювати. В основі всіх цих семантичних конструкцій - давня асоціація між життям, диханням і рухом. І все ж таки цікаво, що за наявності винятково "рухових" коренів (наприклад, грецького кіне, як у слові "кінематограф" - "запис руху") йому рідко виділяють центральне місце в культурному і міфологічному описі тварини.

Якщо задуматися, то до руху зводиться майже будь-яка наша взаємодія з навколишнім світом. Наразі всередині мого організму відбувається безліч різноманітних і складних подій, але єдиний їхній наслідок для навколишнього світу - це рух моїх пальців клавіатурою і рух кави з кухля до рота. Будь-яка робота - це фізичне переміщення речей, чи то переміщення коробок, переміщення керма з педалями, чи переміщення повітря голосовими зв'язками. Поведінка - це просто патерн руху. До нас це стосується так само, як і до решти тварин. Щоб якось вплинути на світ, потрібно щось зрушити.

Рух - не просто відмітна ознака тварин. Це їхній головний талант, принципова еволюційна стратегія і, мабуть, найістотніший внесок у живу природу. Дихати вміють усі. Але рухатися так, як ми, не вміє ніхто.

Карл Лінней, засновник сильно застарілої, але такої, що досі пронизує всю біологію класифікації видів, вважав тварин царством. Так ми і будемо про них думати. Ліннейівські Animalia - це царство руху.

Двоцарство

Інше "царство" Ліннея, Vegetabilia, ми сьогодні розуміємо дещо інакше, ніж він. До царства рослин він відносив, грубо кажучи, все, що росте, але не рухається, включно з, наприклад, грибами. (Третім царством були мінерали.) Під словом "рослини" в сьогоднішній науці зазвичай мається на увазі вужча група живих істот. Вони ведуть свій родовід від ранніх еукаріотів, які до того моменту вже роздробилися на безліч різноманітних груп одноклітинних. Всі ці організми були забезпечені мітохондріями, без яких могутня еукаріотична клітина перетворюється на кволий міхур. Але одного разу одна з цих клітин, майбутня прародителька рослин, вирішила повторити успіх з мітохондріями і проковтнула на додаток до них хлоропласт, фотосинтетичну бактерію, переведену на постійне місце проживання всередині еукаріота. Отриманий потрібний симбіоз між хлоропластом, мітохондрією і клітиною-господарем заклав основу для нового царства воістину досконалих створінь: рослин.

Утім, сьогодні рослини - не єдині еукаріоти, здатні до фотосинтезу. Багато інших груп еукаріотів обзавелися фотосинтетичними органелами пізніше, коли рослини вже існували. Їх об'єднують під не дуже чітко визначеним терміном "водорості". Водорості - це насправді величезна кількість різноманітних живих істот, що живуть у воді та промишляють фотосинтезом. Частина з них належить до рослин - це червоні та зелені водорості, найближчі родичі рослин суші. Але багато інших далекі від рослин у системі природи і формально рослинами не вважаються, хоч і вивчаються за традицією ботаніками на кафедрах ботаніки. Серед них бувають цілком помітні організми: наприклад, бурі водорості, з яких читачеві напевно знайома ламінарія, вона ж морська капуста. Це, мабуть, найкращий приклад багатоклітинної істоти, яка не є ні рослиною, ні грибом, ні твариною¹⁻³.

ДО РЕЧІ

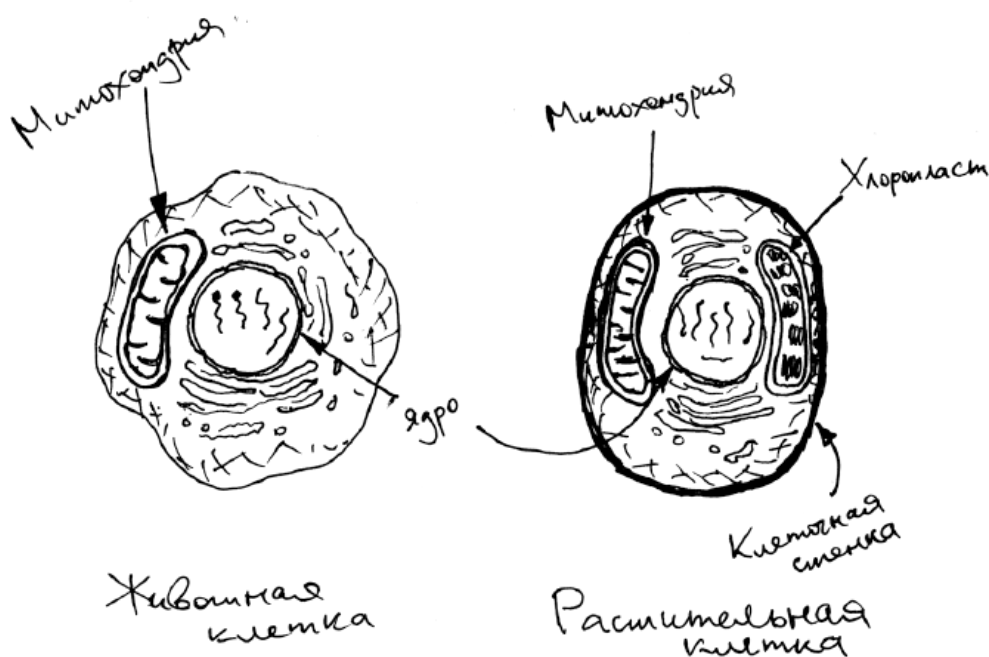
Рослини вміють фотосинтезувати, бо їхній предок колись проковтнув фотосинтетичну бактерію і так і залишив її в себе всередині. Це також називається первинним ендосимбіозом. Первинним, бо фотосинтез винайшли саме бактерії. Предок рослин першим придумав пристосувати бактерію під органелу хлоропласт (звідси ще одна наукова назва рослинної гілки як надцарства еукаріотів: Archaeplastida, "давньопластові").

Інші еукаріоти, обділені родичі цих "давньопластових", долучилися до фотосинтезу від задрощів і ковтали вже не бактерії, а самих "давньопластових" із готовим хлоропластом усередині. Тому їхній ендосимбіоз називається вторинним. До таких "вторинно пластових" видів якраз і належить морська капуста. Буває третинний і навіть четвертинний ендосимбіоз⁴, коротше кажучи, водорості - це часто матрешки з мембран проковтнутих одна одною клітин, у нашаруваннях яких захована заповітна бактерія сонцеїд. Відомий тільки один приклад первинного ендосимбіозу за межами Archaeplastida. Це самотня амеба Paulinella із зовсім іншої, скромної в ендосимбіотичному сенсі гілки еукаріотів. Лічені мільйони років тому вона вступила в союз безпосередньо з ціанобактерією, тобто повторила те, що колись на зорі часів зробив предок усіх сучасних рослин⁵.

Царство рослин стоїть на фотосинтезі. Якщо серед бактерій це один зі шляхів освоєння навколишнього світу, нехай і надзвичайно важливий, то рослини від початку не знають нічого іншого. Усе, що відрізняє нас, тварин, від рослин, у кінцевому підсумку зводиться до того, що вони беруть їжу зі світла, повітря і води, а ми - з них.

Взяти, наприклад, клітинну стінку. Це ще одна принципова відмінність рослин від тварин, але й вона зрештою зводиться до фотосинтезу: саме завдяки цьому магічному дару рослини можуть собі дозволити таку розкіш, як броньовані клітини.

У бактерій і архей стінка навколо клітини майже завжди є, але перші еукаріоти її позбулися. Вони жили тим, що заковтували бактеріальних жертв, щоб спалювати їх у своїх новомодних мітохондріальних печах, а це зручніше робити без твердої стіни, що оточує мембрану. Тварини, нащадки цих древніх одноклітинних, так і продовжують жити без клітинної стінки. Рослини ж у ході еволюційного процесу заново звели навколо своїх клітин укріплення.



Клітинна стінка - це дуже приваблива ідея з точки зору її захисних якостей. Товсті стінки між клітинами означають, що рослина зроблена з цегли. Її гризуть жуки, клюють ворони, топчуть чоботи, а вона як стояла, так і стоїть. У клітинній стінці є тільки одна проблема: вона заважає рухатися, особливо багатоклітинному організму, в якому ці цеглини ще й скріплені між собою бетоном. Порівняйте рухливість берези (рослина з клітинною стінкою), підберезовика (гриб з клітинною стінкою) і зайця (тварина без клітинної стінки). Тварина зроблена майже з піни, м'яких клітинних бульбашок, які гнуться, повзають і скорочуються у всіх площинах. Куди не ткни - у неї щось лопається, відривається або ламається, зате тварина швидко бігає і боляче кусає.

Тобто в якомусь сенсі ми, тварини, ближчі до давніх еукаріотичних традицій лихого життя. Саме завдяки своїй особливій рухомій мембрані еукаріоти колись отримали можливість пожити інші клітини. Їхні нащадки рослини пішли "зеленим шляхом" і відмовилися від хижацтва та загалом усіляких мирських залежностей. Тому вони й будують своє тіло з укріплених блоків, намертво припаяних один до одного, - їм нічого не потрібно від світу, крім місця. Ми не вміємо фотосинтезувати, тому нам потрібно весь час їсти, шукати їжу і відбивати її в інших їдців. Для цього нам потрібні роти, зуби і шлунки. Для цього нам потрібні ноги і кулаки. Для цього нам потрібен рух, навіть ціною фундаментальної фізичної вразливості порівняно з рослинами.

Може здатися, що стосунки між нашими двома царствами в кращому разі нахлібницькі, в гіршому - васальні: без рослин тварин бути не може, а ось рослини без тварин цілком впораються. Принципово так, напевно, і є. Але, принаймні, своїм поточним розквітом царство рослин настільки ж зобов'язане тваринам, як і ті зобов'язані рослинам.

Саме союзом з тваринами, насамперед з комахами, пояснюється могутність головної групи рослин сучасності - квіткових. За рахунок квіткових утворюється вся біомаса листяних лісів і забезпечується майже все виробництво калорій для людства, насамперед у вигляді чотирьох сільськогосподарських гігантів: пшениці, рису, сої та кукурудзи.

Чому взагалі рослини виробляють солодкі фрукти, рясніють яскравими квітами і виділяють аромати? Тому що смак фруктів, забарвлення і запахи квітів приваблюють тварин. Точно так само, як очі на спині кобри націлені на мозок потенційного хижака, рослинний світ поцяткований пристосуваннями, націленими на мозок потенційного запилювача або їдця. Будь-який їстівний плід, будь-яка красива квітка, будь-який аромат нектару - це наслідок еволюційних інвестицій царства рослин у царство тварин.

Навіщо рослинам потрібні тварини, якщо ті живуть виключно їхнім коштом? Навіщо рослинам викликати відчуття солодощі або краси в мозку цих вічних дармоїдів? Відповідь все та ж: рух.



Якщо ти не вмієш рухатися, то в тебе є принаймні одна екзистенціальна проблема: поширення. Яблуко від яблуні, як відомо, падає недалеко, і якщо це яблуко не підібрати, то з нього виросте яблуня, яка буде конкурувати зі своїм батьком за світло і воду. Тривати так нескінченно не може, бо рано чи пізно на нещасливій купині, засадженій п'ятьма поколіннями чахлих від тісноти яблунь, трапиться пожежа і всі ці яблуні помруть.

Саме тому в яблуні є пристосування, що дозволяє уникнути такої долі: яблуко. Яблуко відрізняється тим, що його люблять їсти тварини. Тварини вирізняються тим, що носяться туди сюди, жеруть абищо і перетравлюють аби як (це не гриби, які розкладуть до молекул останню деревинку). Тому тварини із задоволенням надкушують яблука і розкидають недоїдки лісом, а якщо і ковтають насіння, яке сидить у яблуках, то потім його залишають під кущем разом із чудовим добривом. Проблема комунальної купини вирішено.

Схожа ситуація і з запиленням, тільки там поширюється не насіння (зародки), а пилок - мікроскопічні рослиночоловіки, яким потрібно знайти мікроскопічну самку десь у далекій маточки далекої квітці, щоб труснути з нею генами. Деякі рослини покладаються на вітер, що в принципі дозволяє їм поширюватися на тисячі кілометрів, але шанси в окремій порожинці знайти адресата за такого варіанту мізерні. Незрівнянно ефективніше мати рухомого кур'єра, який знає кольори і запахи квіток потрібного виду і цілеспрямовано літає від однієї до іншої.

ДО РЕЧІ

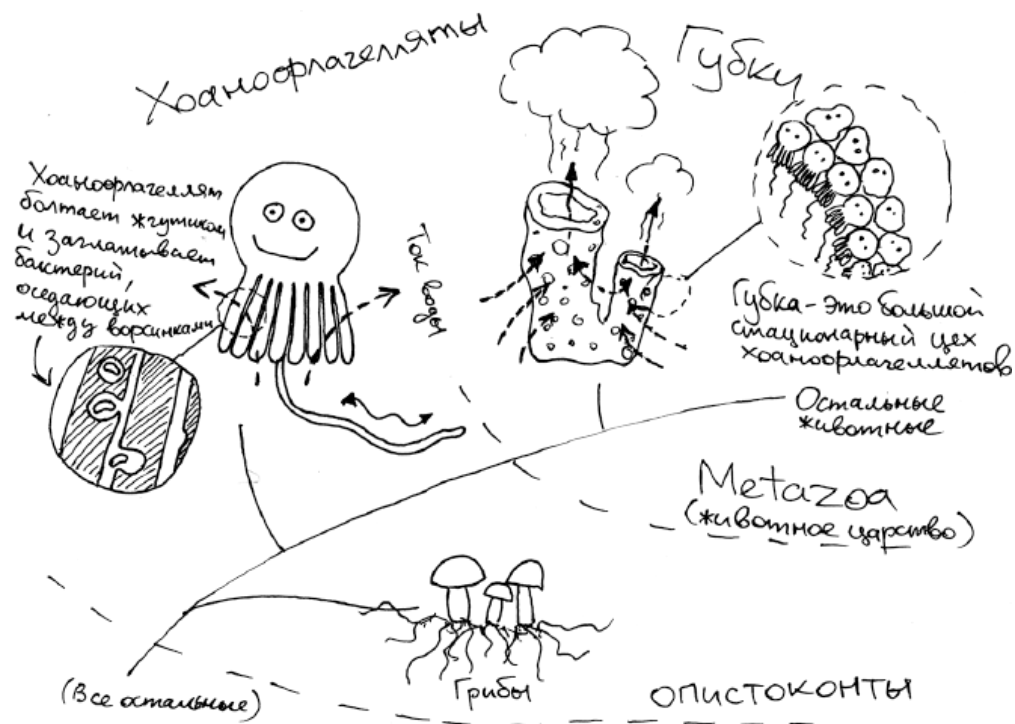
Тут можна ще раз порівняти селекцію з природним доббором. Найуспішніші рослини у світі - це квіткові загалом, а зокрема - сільськогосподарські культури від пшениці до кави. Квіткові успішні тому, що вони привабливі для комах, і ті їх поширюють, обираючи найспокусливіші. Кава з пшеницею успішні тому, що вони привабливі для людини, і вона їх культивує, обираючи найбільш поживні або ті, що бадьорять. Перше вважається природним відбором, друге - селекцією. Я особисто не бачу для такого поділу жодного підґрунтя і тому користуюся більш абстрактним терміном "відбір".

Коротше, успішний рух гермоплазми з минулого в майбутнє вимагає руху організмів у просторі - хоча б раз на покоління. З цим завданням у випадку нерухомих рослин і справляються найкраще тварини, тож користь у них для зеленого царства все таки є. Я підозрюю, що в цьому причина того, що рослини не виживають нас із планети. Якщо вони колись вирішать, що від тварин одна шкода, не так уже й складно уявити сценарій, за якого все наше царство разом вимирає від якогось протитваринного газу. Це дуже схоже на те, що вже одного разу сталося з киснем.

Діти губок

Є різні версії походження перших тварин. Згідно з найпопулярнішою, цей момент можна уявити як перетворення хоанофлагеллят на губкуб-8.

Наше царство тварин у сучасній біології позначається красивим словом Metazoa (це щось окультне. Метатрон! Зороастр! Мінотавр! Фасфалакат!). Межа "метазоа" на дереві життя проводиться по тій точці, де одноклітинні предки тварин вперше стають багатоклітинними організмами. Хоанофлагеляти і губки - сусіди по дереву, але розташовані по різні боки цього кордону, як Святогірськ та Іматра дорогою з Петербурга до Гельсінкі.



Хоанофлагеляты - найбліжчы да тварин не тварыны. Хоанофлагеллят выглядае як товсты спэрматозоід з "комірцам" навколу хвоста (це прынята тэрміналогія, але, чесно кажучы, якщо вже ми вирішили, що джгутик - це хвіст, то "комірець" набагато логічна называти спідницею). Спідниця комірца складаецца з частаколу товстых, покритых мембраною ворсынок і патрэбна для харчавання. Мотаючы хвостом у цэнтры спідніцы, хоанофлагеллят створыць потык воды крэзь ворсынку, на якіх у рэзультаты осідаюць бактэрыі, а хоанофлагеллят іх заковтуе. Чым він іх там, пад спідніцею, заковтуе - патаньня відкрыта. Такай тып харчавання называецца фільтрацыяю.

Губка з эвалюцыйнага погляду - це найбліжча да нетварын тварына і, відпавідна, найбліжча да адноклітыннх багатоклітынна. На мікроскапічным рывні губка і хоанофлагеляты разуче схожы адна на адну. Галавны элемент будовы губкы - це фактычна батарея хоанофлагеллят, аб'яднаных у єдыны шар. Кожна клітына розмахуе джгутыком, створыючы потык воды крэзь "комірець", збярэе в такай спосіб іжу і дільця нею з оточуючымы. Таке аб'яднаньня в групы якаюсь мірою прытаманне і самым хоанофлагеллятам - ті часта утварыюць сферы з дэсяткыв або сотень клітын, немов спэрматозоіды, що зіткнуліся галавамы⁹.

Загалом, губка - це нібы стацынарны цех хоанофлагеллят, прычому й самы хоанофлагеляты часта захоплуюцься колектывною робатой. Розрахункы паказуюць, що це дапамагае клітынам-фільтратарам із гідрынамыкою: сумарны потык воды крэзь колонію потужншы, ніж сума індывідуальнх струмыв, які доступны окремо взятым клітынам⁸. У выпадку з губкамы потужншы патыку воды справды вражае: наберіть у YouTube "sponge pumping" і подывітьця на фонтан, які вывергае велыка і на выгляд абсалютно стацычна губка - його выдно, якщо підфарбуваты воду.

Тобто царство тварын пачалося з того, що плавучы адноклітынны відмовыліся від руху в ім'я колектывноі праці. Праця ця, втім, полягала все адно в русі - тількы не в русі організму, а в русі воды крэзь організм. Гідрынамыка - це ж і означае "рух воды".

Проте відмова від "організмэннаго" руху - здатносты плаваты - породжуе праблемы. Як і в прыкладі з яблунею, чыі яблуска недалекы падаюць і тому вымагаюць, щоб іх підбяралы, губкы не могуць быты вечно нерухомымы - щось мае кудысь рухатыся, хоча б раз на покоління.

Частковы відсутншы руху цілоі губкы компенсуецца рухом іі спэрматозоідыв. Ті маюць джгутык і з його дапамогую впевнено несуть генетычну спадшыну свого нерухомого госпадаря на всі чотыры стороны (точншы, шшы бокыв - адже справа відбуваецца у воды). Але адным рухом спэрматозоідыв праблему нерухомосты не выршыты. Спэрматозоіду так чы інакше патрэбно знайты яйцеклітыну, а та рухатыся не вміе і сідыть усередыні нерухомоі губкы, немов у зав'язы квтыкы, - як абговоруваалося в главі 4, у нерухомосты яйцеклітыны полягае весь сенс існування статей. Ршыення може быты тількы адне: після того як яйцеклітыну знайде спэрматозоід, те, що з цього выйде, мае поплыты

в нове місце і вже там стати новою нерухомою губкою. Іншими словами, у кожній нерухомій губки обов'язково є рухлива личинка.

ДО РЕЧІ

Сперматозоїди в губок утворюються з хоаноцитів - тих самих клітин, які схожі на хоанофлагеллят і фільтрують воду. Фільтрують фільтрують, потім оп! Мейоз. І попливли сперматозоїди в пошуках пригод. За логікою багатоклітинного організму, виходить, що ці клітини, хоаноцити-фільтратори, у губок в організмі головні. Якщо сперматозоїди формуються з клітини фільтратора, а не з сусідньої клітини (наприклад, тієї, що продукує скелет губки), то клітина фільтратор має шанс відправити свої гени в наступне покоління губок, а клітина, що продукує скелет, такого шансу не має. Виходить, і еволюція працює в інтересах клітини фільтратора, підпорядковуючи їм усю решту губки. Це як якиби в нас сперматозоїди формувалися з кишки.



Дорослі губки, крім вражаючого фонтану води, нічим особливо "анімованим" не вирізняються і нагадують скоріше суміш рослини і кольорового каменю. Але губки личинки, незважаючи на свої мікроскопічні розміри, виглядають і поведуться як справжні тварини. У них акуратно, симетричне тіло у формі невеликої диньки. Вони швидко і старанно плавають (щоправда, як одноклітинні - за допомогою джгутиків). Вони реагують на стимули - цураються яскравого світла, наприклад. У деяких навіть є око - світлочутлива пляма прямо в торці тіла, як фара. Личинка губки живе кілька днів, після чого осідає на дно і набуває своєї нерухомої, окостенілої дорослої форми.

Не дивно, що багато еволюціоністів ведуть родовід інших тварин саме від личинок, а не від дорослих губок - кам'яних труб⁷, 11. Згідно з цією версією виходить, що всі тварини - це варіації личинки губки, так само як усі еукаріоти, строго кажучи, - гілка архей.

Базова форма "шлунок"

Японське мистецтво складання паперу, оригамі, ґрунтується на нескінченній складності, що виникає, якщо прості зміни простих форм мають можливість накопичуватися. Літачок можна скласти хоч із серветки. Щоб скласти журавля, потрібен папір, який краще тримає складки, тобто краще зберігає історію зроблених із ним змін. Найскладніші моделі - реалістичні коні, дракони, комахи - потребують особливого паперу з шаром фольги, здатного утримати сотні дрібних складок.



Суть оригамі не в геометрії окремих складок і не в розмаїтті способів згинати папір (хоча буває й таке). Суть оригамі - у накладанні одних складок на інші. Тут принципова послідовність подій. Цим фігура оригамі відрізняється, наприклад, від скульптури: в якій послідовності ліпити вуха, ніс і рот гіпсовому бюсту - не так важливо.

Розвиток тварин можна порівняти з оригамі. Це теж процес виникнення складності з простоти внаслідок послідовності простих змін. Точно так само як нові моделі оригамі виникають шляхом додавання складок, нові моделі тварин виникають шляхом додавання нових етапів розвитку. В еволюції тварин нові плани будови не з'являються з нуля і не заміщують старі, а надбудовуються над ними.

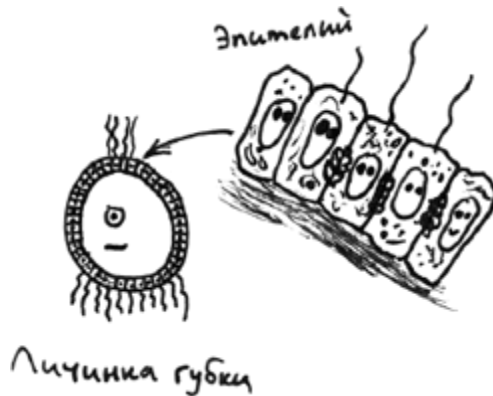
У результаті виникає типова в зоології ситуація: що тварини молодші, то вони більше схожі одна на одну, а з кожною новою "складкою" відмінності між ними стають більш очевидними. Усі тварини починаються із зиготи, так само як усі моделі оригамі починаються з квадрата паперу. Кожна нова складка - це нова розвилка, новий ступінь свободи, нова можливість для розвитку, яку можна продовжувати видозмінювати в різних напрямках.

Багато моделей оригамі починаються з одних і тих самих "базових форм" - простих послідовностей складок, що задають квадрату паперу найзагальніші обриси майбутньої моделі. Самі ж базові форми походять з інших, більш базових форм. З базової форми "подвійний квадрат" можна скласти простий кошик, а можна додати до нього кілька складок і отримати базову форму "жаба", у якої більше можливостей - з неї складаються не тільки жаби, а й, наприклад, лілії.

Еволюція тварин - це насамперед еволюція "базових форм". Оскільки ці базові форми не виникають з нуля щоразу, а надбудовуються одна над одною, в ембріональному розвитку одних видів часто вгадуються інші види. Усі ми проходимо через стадію, що нагадує личинку губки, стадію, що нагадує медузу, стадію, що нагадує черв'яка, і стадію, що нагадує рибу. Від цього складається враження, що губки - це недорозвинені медузи, а медузи - недорозвинені люди. Це не зовсім так. Паперова коробочка, складена з "подвійного квадрата", це не недороблена паперова жаба. Просто вона ґрунтується на базовій формі, яка потребує меншої кількості складок.

Принади порожнини

Личинки губок під назвою амфібластули - це замкнуті, порожнисті сфери завтовшки в одну клітину (бувають у губок й інші личинки, заповнені клітинами всередині, але нас цікавить саме цей, порожнистий варіант). Зазвичай вони нічого не їдять і виживають завдяки поживним речовинам, накопиченим сидячим батьком-фільтратором¹². Стінка такої личинки складається з безперервного частоколу клітин, міцно пов'язаних, щільно притиснутих одна до одної та ніби наклеєних на підшву з білка колагену. Така замкнута оболонка з клітин називається епітелієм.

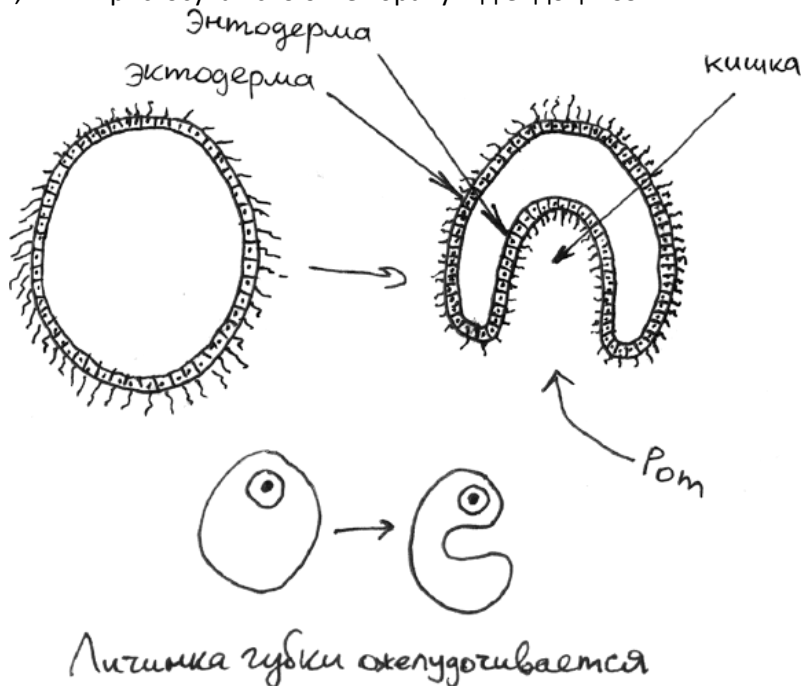


Епітелій - це щось дуже знайоме. Ми вже стикалися з ідеєю ізоляції внутрішнього від зовнішнього за допомогою тонкої, напівпроникної, герметично замкнутої капсули. Епітелій - це ніби клітинна мембрана, зроблена з клітин.

Зоологи обожають епітелії і порожнини, які цими епітеліями замкнуті. На лекції із зоології можна подумати, що тварини складаються виключно з порожнин. Але ця пристрасть виникла не на порожньому місці. Порожнина, обмежена епітелієм, як знову таки показує приклад клітини, оточеної мембраною, - річ дійсно корисна. Точно так само як мембрана створює фізичний бар'єр, що дає змогу ДНК, РНК і білкам співпрацювати, епітелій створює фізичний бар'єр, що дає змогу співпрацювати клітинам в організмі. Наприклад, без епітеліїв складно уявити гормони: щоб вони працювали, потрібен замкнутий простір, інакше б гормони просто витікали назовні. Личинці губки замкнута порожнина тіла потрібна, наприклад, щоб утримувати всередині симбіотичних бактерій, які допомагають із травленням або видобутком енергії, зовсім як еукаріотичні клітини утримують всередині мітохондрії та хлоропласти¹⁴.

Паралелі між клітинами та личинками губок на цьому не закінчуються. В історії одноклітинних головна революція - еукаріогенез - сталася, коли мембрана перетворилася зі стаціонарного бар'єра на рухомий елемент клітинної будови, що гнеться, бунується й обволікає. Еукаріотична клітина набита численними шарами, міхурами, цистернами та іншими порожнинами з мембран. Саме завдяки цьому еукаріотичні клітини досягають неймовірної за бактеріальними стандартами складності будови.

Дуже схожа революція сталася і в царстві тварин. Згідно з найпопулярнішою версією походження "справжніх метазой" (Eumetazoa - так називаються всі тварини, окрім губок), на якомусь етапі куляста губка личинка, ніби надихнувшись легендарними подвигами своїх одноклітинних предків, увігнулася своїм епітелієм сама в себе - точнісінько як еукаріот, який пристосував свою мембрану під ендодитоз.



Увігнувшись всередину з одного боку, як здавлена кулька для пінг-понгу, личинка губки одним цим маневром винайшла кишку (головну порожнину тваринного організму - не даремно ж у слові "тварина" корінь живіт) і рот - спеціальний клапан, який, закриваючись, робить кишку замкнутою порожниною. Про те, наскільки важливими були наслідки цього піруету, свідчить той факт, що його на певному етапі досі проробляє кожна "справжня" тварина, включно з будь-ким із нас. Це ключовий етап нашого ембріонального розвитку. Він називається гастрляцією, тобто "ожелудочуванням".

Перша з базових форм нашого розвитку називається бластулою. Типова бластула - це куля клітин, яка за загальним планом будови відповідає тій самій порожнистій динеподібній личинці губки. Можна сказати, що самі губки - моделі оригамі, складені з базової форми "бластула". "Ожелудочування", вгинання бластули саму в себе, - це не просто нова складка на тілі губки, а виникнення цілої нової базової форми: гастрული.

Гаструляція - одна з головних подій як у вашому житті, так і в історії тварин загалом.

Чим так принципово відрізняється гаструла від бластули? До гаструляції зародок має всього один епітелій - шар клітин, що обмежує порожнину організму від навколишнього світу. Але завдяки гаструляції епітеліїв стає два. Зовнішній шар обмежує тіло від зовнішнього середовища, а внутрішній шар обмежує шлунок. З цього моменту зародок поділений на два зародкові шари, пласти, або листки, вони називаються ектодермою та ентодермою відповідно¹⁵.

Два епітелії з погляду клітин, що їх складають, - це дві різні професії, дві стратегії, два різні напрямки розвитку. Будь-які клітини епітелію за визначенням прикордонники. Але кордони, на яких вони служать, мають різну природу.

Клітини ектодерми утворюють зовнішній кордон організму. Їхнє завдання - захищати від небезпек і розвідувати обстановку. З ектодерми в нашому організмі формуються епідерміс, тобто поверхня шкіри, і нервова система. Перше очевидно: епідерміс - це просто зовнішній епітелій, що розрісся в кілька шарів і вкритий мертвими клітинами. Друге менш очевидне, але куди цікавіше. Виходить, що з погляду еволюційного та ембріонального походження нашого мозку й органів чуття вони схожі на шкіру. І шкіра, і мозок - це інтерфейси взаємодії з навколишнім світом, покликані захистити від небезпек і підвищити виживання.

У клітин ентодерми інші завдання. Вони не бачать навколишнього світу. Вони бачать їжу. Як неважко здогадатися, з ентодерми виникає майже все, що в нас пов'язано з харчуванням: шлунок із кишечником, печінка, підшлункова залоза. У майбутньому з того ж джерела виникнуть легені - повітря для нас і справді багато в чому схоже на їжу.

Люди харчуються принципово інакше, ніж губки. Губка - це майже батарея одноклітинних. Кожна окремо взята клітина фільтрує воду і заковтує бактерії ендоцитозом, після чого перетравлює їх у себе всередині. Клітини губок працюють заодно і вміють ділитися одна з одною отриманою їжею, але та завжди передається безпосередньо від клітини до клітини. У нашому ж організмі їжа централізовано розщеплюється ферментами в порожнині кишківника, централізовано всмоктується у формі простих молекул і централізовано ж розподіляється по організму кровоносною системою, що набагато ефективніше. У губок кожна клітина варить кашу у своїй власній каstrульці, а в нас каша вариться одна на всіх, а клітини черпають зі спільного котла. Це можливо саме завдяки наявності такого спільного котла, тобто шлунка, обмеженого епітелієм⁷.

Іншими словами, виникнення шлункової порожнини відкриває можливість для позаклітинного травлення. Губці, що фільтрує, випускати назовні ферменти безглуздо, вони розпливуться, не встигнувши нічого перетравити, так що це марна трата енергії. Наявність замкнутого простору, в якому можна замкнути їжу з ферментами, дає змогу перетравлювати її колективно.

"Ожелудочивши" личинку губки, ми створили нову "базову форму" розвитку для всіх інших тварин: гаструлу. Але водночас ми фактично виготовили новий тип тварини, який "складається" з цієї гаструли.

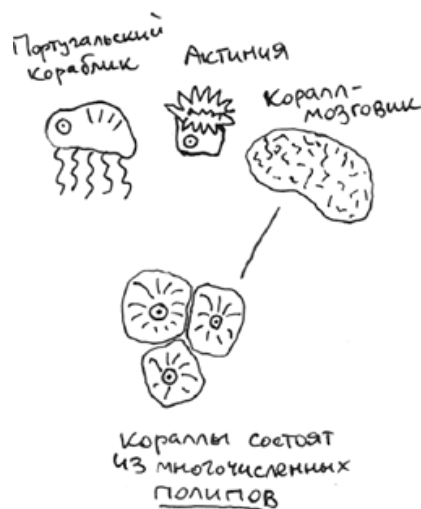
Фігура обертання

Стрекаючі, або кнідарії, - приклад того, що примітивна "базова форма" тіла не означає, що тварина - лузер. В оригамі "примітивну" форму "подвійний квадрат" можна за бажання скласти у фігуру з тисячею складок. Стрекаючі зі своїм примітивним планом будови здатні породжувати організми ювелірної складності й досягають у природі величезних успіхів.

Стрекаючих багато, вони є скрізь, їх різноманітність приголомшує. Між португальським корабличком з його химерною повітряною бульбашкою і синьою бородою з довгих поліпів мисливців, грізною актинією, в чиїх різнокольорових щупальцях ховаються риби клоуни, і покірним коралом мізковиком на перший погляд немає нічого спільного. Проте всі вони мають спільного предка, який відокремився від єдиної з нами гілки родовідного дерева десь між губками і черв'яками, і тому являють собою паралельний нашому шлях еволюції тварин.

Назва цієї групи - жалкі - походить від їхньої унікальної ознаки: жалких клітин, дивовижних мікроскопічних капсул зі змотаним усередині шипом, що вистрілює назовні, коли будь-що торкається її чутливої волосинки. Уражену шипом, що розгорнувся, здобич медузи і поліпи запихають до рота і перетравлюють у своєму наглухо замкнутому шлунку. У деяких кнідарій рот після їжі не просто закривається, а в буквальному сенсі заростає. А потім знову рветься. Якщо це здається дивним, то в тому й принадність жалких: це дуже дивні, абсолютно на нас не схожі і при цьому надзвичайно успішні тварини. Якщо губки цікаві своєю примітивністю, то жалкі - своєю альтернативністю.

Більшість сучасних еволюціоністів скажуть, що фрази на кшталт "примітивні жалкі" або "просунуті хребетні" некоректні: всі види рівні, і крапка. Проте в розмовній мові навіть серед еволюціоністів такі конструкції регулярно трапляються. Може виникнути відчуття, що просунута медуза якось краще осідлала еволюцію, ніж примітивна губка. Насправді поняття "просунутий" і "примітивний" у принципі стосуються не цілих видів, а конкретних ознак, хоча іноді ми для простоти підміняємо поняття. Говорячи, наприклад, що губка примітивніша за медузу, ми насправді маємо на увазі, що у губки примітивніший план будови. Як вирішити, яка ознака примітивна, а яка просунута? Та, яка була спочатку, та й примітивна. Наприклад, порівняно з людиною в медузи примітивна кишка - у ній лише один отвір. Так було і в нашого з медузою спільного предка. Отже, людський варіант із двома отворами більш просунутий. З іншого боку, можна сказати, що у медузи порівняно з нами просунута шкіра, - принаймні, за ознакою наявності в ній жалких клітин. Зазвичай, розмовляючи про еволюцію, ми просто обираємо власні просунуті ознаки та ігноруємо чужі, бо нам весь час здається, що мета еволюції - створити людину. Якби ми були медузами, то всіх білатерально симетричних тварин (від мух і равликів до риб і бегемотів) вважали б примітивним відгалуженням жалких, у яких недорозвинена шкіра. Загалом, що стосується сучасних видів, то всі вони дійсно однаково просунуті. Осідлати еволюцію - значить елементарно не вимирати. Неважливо, як ти виживаєш, важливо, що сонце встає, а ти досі є.



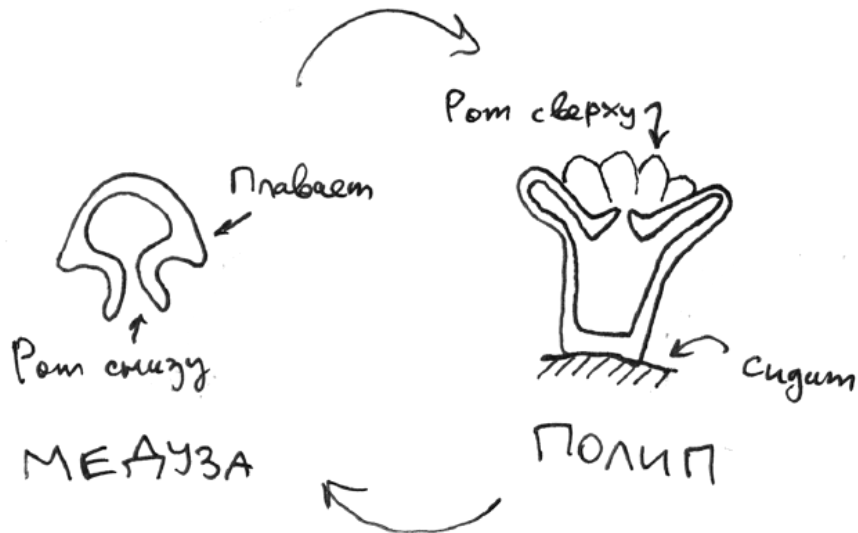
Медуза - це одна з двох форм існування жалких. Ті зазвичай чергують у життєвому циклі стадію медузи зі стадією поліпа - перевернутої догори ротом сидячої медузи. З численних поліпів, наприклад, складаються корали. Актинія теж поліп, тільки поодинокий. Перші кнідарії, що виникли з личинок губок, були саме поліпами, а медузи виникли пізніше¹⁶. Але "базова форма" у двох цих форм жалких одна й та сама: гастрולה.

Наша власна, людська "базова форма" відрізняється від неї трьома просунутими якостями.

Перша з цих відмінностей: у нас є спина.

Для медузи спина і черево - це одне й те саме, так само як і боки. У неї всього одна вісь руху. Медуза ніби живе в одновимірному світі, в якому є тільки перед і зад. Тіло кнідарій рівномірно розподілене навколо цієї передньо-задньої осі - це називається радіальною симетрією. Наша симетрія інша: у нас є вісь "спина - живіт" і вісь "голова - попа", що породжує площину, яка розсікає тіло на ліворуч і праворуч. Ця наша властивість називається білатеральністю, або двосторонньою симетрією.

Симетрія - єдине, що зоологи обоюють більше, ніж порожнини й епітелії. Справа не в пристрасті до правильних фігур, а як завжди - у русі. Медуза не може повернути ліворуч або праворуч, бо в неї немає лівого і правого боку. Ми можемо рухатися в будь-який бік. Білатерально симетричній тварині складно уявити радіально симетричне життя: потрібно якось візуалізувати, що замість двох рук і двох ніг у вас одна рука й одна нога, рівномірно розподілені навколо тіла.



Сотні мільйонів років тому наші предки виконали зворотну операцію: з радіально симетричних стали білатерально симетричними. Стародавній поліп, щось радіально симетричне на зразок сучасної гідри або актинії, одного разу завалився набік і поповз по землі. У процесі цього еволюційного перетворення він виявив, що у нього, крім переду і заду, тепер є живіт, яким він повзе по землі, і спина з протилежного боку. А якщо є перед, зад, верх і низ, то є також ліво і право⁷. Виникнення білатеральності - як відкриття нового виміру простору.

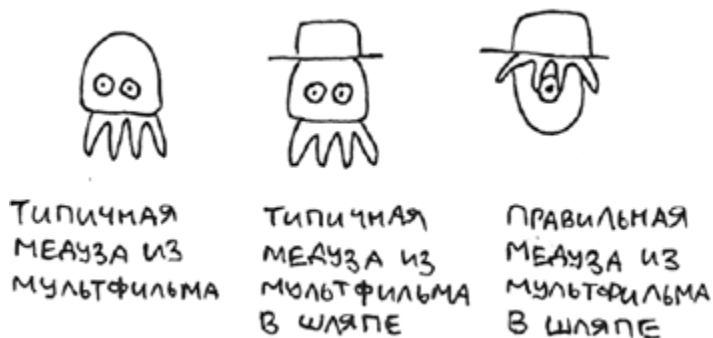
Перед нами нова тварина, нова базова форма тіла і нова, найбільша гілка нашого царства: білатерії, чия назва якраз і відображає їхній новий, білатеральний тип симетрії. Якщо чесно, я б вважав за краще, щоб титульною твариною нашої "базової форми" була якась велична тварина: синій кит або хоча б мураха, але з еволюційного й ембріологічного погляду з варіантами не розбіжишся: в орігамі тваринного організму людина, хоч би що не говорили, складається з базової форми "черв'як".

Черв'як - не одна група тварин і навіть не один тип будови, а загальний обрис стандартної білатеральної тварини. Черв'яки Асоеломорфа, яких сьогодні вважають найближчими до жалких¹⁷, дійсно зовні нагадують кнідарій, що повзають, або їхніх личинок. Але більшість черв'яків (включно з нами з вами), окрім білатеральної симетрії, додають до свого ембріона ще два принципових оновлення: мезодерму та наскрізну кишку.

ДО РЕЧІ

У цій книжці майже всі мої герої зображені білатерально симетричними: щоб щось олюднити, йому треба домалювати обличчя, а ніщо так явно не свідчить про білатерію, як два ока, розташовані по обидва боки центральної осі. Зазвичай медуз на картинках і в мультфільмах зображують саме так. Але, навіть якщо забути про вигадані очі, у такої медузи є ще одна деталь анатомії, що "олюднює". Її уявний вектор "попа - голова" спрямований вгору. Якби ви вирішили домалювати медузі капелюх, то щупальця б опинилися внизу малюнка, а капелюх ліг би на медузій купол зверху, як на людське тім'я. Але деякі вчені стверджують, що все має бути навпаки. Такий висновок можна зробити, порівнюючи, які гени працюють у різних частинах тіла в різних тварин. Наприклад, деякі гени, які у білатерій активні в голові, у медузи активні в районі рота. На цій підставі можна зробити висновок, що купол медузи відповідає заду білатерії, а щупальця, які оточують рот, - переду¹⁸. Тобто капелюх медузі, за такою версією, потрібно натягувати прямо на щупальця, а плаває ця безглузда тварина попою вперед.

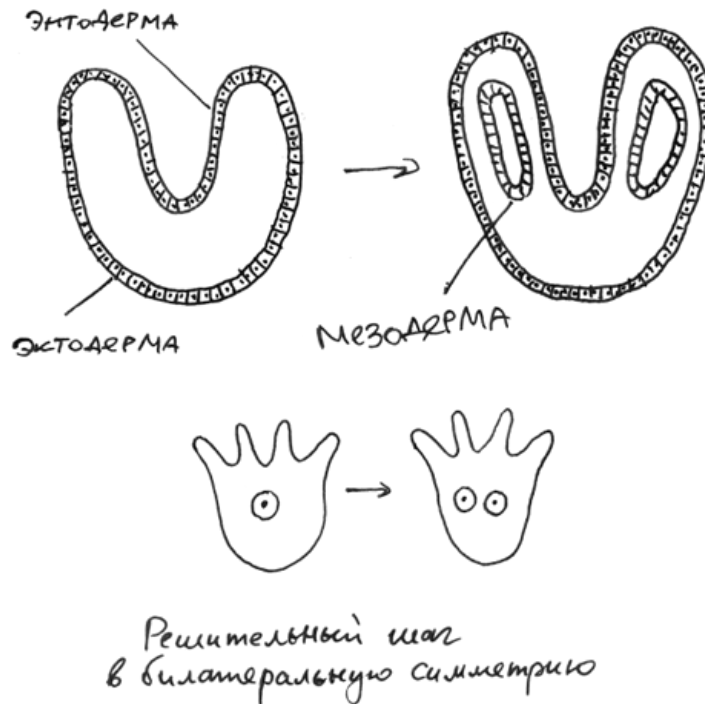
Мезодерма - це третій зародковий листок. У примітивній гастролі медузи два шари: ектодерма й ентодерма. У них дві різні професії: взаємодія із середовищем і взаємодія з їжею. З появою мезодерми виникає третя професія.



Цю професію визначити складніше. З одного боку, мезодерма - це замкнутий шар клітин між ектодермою та ентодермою. Порожнина всередині порожнини. Тобто епітелій мезодерми межує не з порожниною шлунка, не із зовнішнім світом, а з внутрішнім, ізольованим і тонко контрольованим середовищем організму. Логічно, що з мезодерми виникають, наприклад, кровоносна та видільна системи.

З іншого боку, еволюційні біологи сходяться на тому, що первинною функцією мезодерми був - читач уже в курсі - рух²⁰. Саме з мезодерми виникають м'язи, а в нас ще й скелет.

Наша мезодерма виникає в процесі розвитку як дві серії замкнутих мішків, що відкладаються з двох боків кишки в гастролі. Із цих парних серій мішків і розвинуться парні м'язи, парні нирки, парні артерії. Мезодерма з двох боків радіально симетричної кишки - це рішучий крок у білатеральну симетрію¹⁵. В отриманій фігурі ясно вгадуються обриси стародавнього хробака, що звивається вліво і вправо.



Але, щоб завершити перетворення людського ембріона на базову форму "черв'як", потрібно додати фінальний штрих: анальний прорив.

Vive la révolution

Серед черв'яків бувають і хижаки, і фільтратори, і паразити. Багато черв'яків залюбки плавають, інші повзають по землі чи морському дну. Та все таки головний талант канонічного хробака - його вміння копати.

Медуза, яка вирішила закопатися в землю, далеко не просунеться. Але якщо медузу пробити наскрізь і перетворити на трубку, то вона може копати нескінченно, причому весь цей час безперервно харчуватися. Проробивши з нещасною твариною таку страхітливу операцію, ми отримали наскрізну кишку: замість одного отвору для приймання їжі та викиду залишків, отворів тепер два, і їжа рухається в одному напрямку, протилежному напрямку руху.

Отримана в кінцевому підсумку "базова форма" типових білатерій являє собою трубку, у якій з одного боку рот, а з іншого - анус. Це описує і хробака, і рибу, і навіть, з деякими доповненнями, людину.

У сукупності з мезодермальними м'язами і власне білатеральною симетрією така трубчаста будова дала змогу нашим предкам освоїти нове середовище проживання і тим самим, за однією з версій, підштовхнула царство тварин до революції, яка назріває.

Черв'як у землі - як риба у воді. Усе його тіло влаштоване таким чином, щоб заковтувати частинки ґрунту або морського ґрунту, пропускати через свою травну систему, перетравлюючи й всмоктуючи все корисне, і викидати назовні, продовжуючи водночас копати землю своїм подовженим тілом.

Таке було можливо не завжди. Найдавніші з викопних тварин - це фауна так званого едіакарського періоду (635-541 млн років тому). Ймовірно, що в товщі води в ті часи щосили снували медузи і личинки, які через свої м'які тіла і мікроскопічні розміри не залишили сліду в геологічному літописі. Основну ж масу власне викопних тварин того часу складають придонні види. Так ось, серед них немає нікого, хто вмів би копати. Частина едіакарської фауни, що дійшла до нас, - це нерухомі фільтратори, а частина - плоскі істоти, які, ймовірно, ковзали по дну і, подібно до сучасних планарій, обгризали з каміння якийсь живильний наліт.

У цьому то живильному нальоті вся сіль. Річ у тім, що на морське дно постійно осідає багато потенційно їстівного: від бактерій до останків тварин. На будь-який потенційно їстівний ресурс рано чи пізно знайдеться хтось, хто його з'їсть.

У випадку з кембрійським вибухом - тією самою революцією, до якої ми наближаємося в нашій розповіді, - живильний наліт на морському дні накопичувався там мільярди років. Він і сьогодні товстезний: бактерії в осадових відкладеннях становлять, за деякими оцінками, половину загальносвітової біомаси прокаріотів²². Саме цими відкладеннями мікроорганізмів, вочевидь, і харчувалися придонні тварини в едіакарський період. Проблема в тому, що вони могли їх тільки зішкрібати з поверхні.

Кембрійський вибух - це кульмінація історії царства тварин. Взяття Бастилії, перехід через Рубікон, бомба над Хіросімою. У кембрійський період, наступний за едіакарським, за лічені хвилини за еволюційним годинником (якихось 25 млн років) океан заповнили міриади істот нечуваної складності та неймовірного розмаїття. Усі основні групи тварин, які ми могли б дізнатися сьогодні, з'являються у викопному літописі в цей найкоротший період еволюційної історії. Раптово замість рідкісних вкраплень дивних тварин виникають цілі поклади трилобітів, тонни черв'яків, нескінченні раковини, сегменти, ноги, зуби, шипи й антени. Якщо і є в історії життя на землі "вибухоподібні" фази, то немає кращого прикладу, ніж кембрійський період. Саме тому межа між едіакарієм і кембрієм - чи не головна хронологічна позначка в історії Землі.

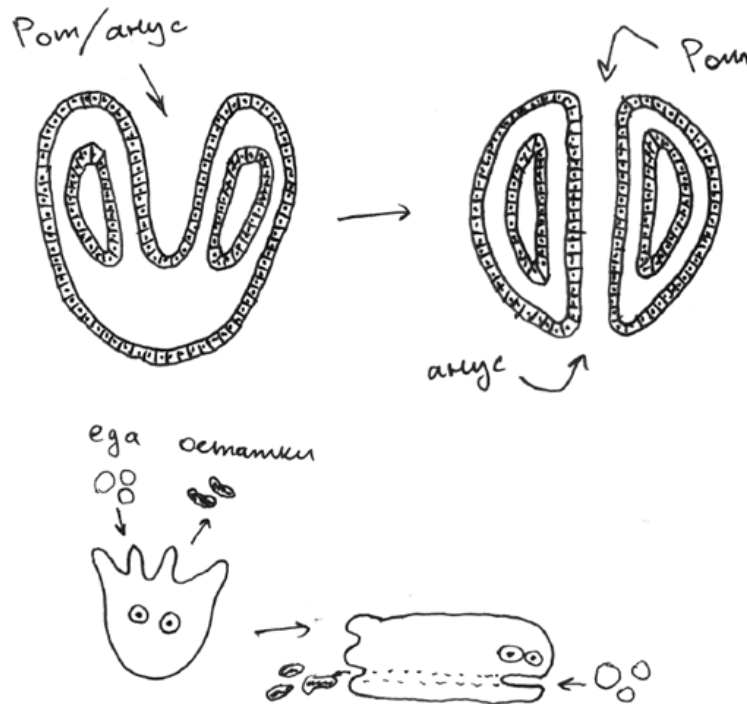
ДО РЕЧІ

Як і класифікація видів, класифікація геологічних епох має свою ієрархію: період - це частина ери, ера - частина еона. На межі едіакарського і кембрійського періодів (близько 541 млн років тому) сходиться все. З кембрію ведеться відлік власне нового періоду, але також і нової ери - палеозойської, що змінила протерозойську, і навіть нового еона - фанерозою. Для палеонтолога історія життя по-справжньому починається з кембрійського періоду. У літописі викопних залишків контраст між кембрієм і всім, що було до нього (а життя на той момент існувало вже 2,5-3 млрд років), настільки різкий, що зазвичай вся історія Землі до цього моменту так і називається - "докембрій".

Складно знайти в зоології тему більш суперечливу, ніж кембрійський вибух.

Типовий зоолог, як я вже пояснив, проводить ранок, обертаючи перед студентами симетріями і порожнинами черв'яків і медуз, а решту дня в баталіях на тему кембрійського вибуху з колегами. Так от, хочу відразу пояснити: ніхто не знає, що спричинило кембрійський вибух. Є навіть цілком резонна версія, що ніякого кембрійського вибуху насправді не було, а просто з'явилися види на кшталт трилобітів, чий екзоскелет краще зберігається, ніж, скажімо, м'яке тіло медузи. І все ж таки більшість схиляється до того, що в цей період справді стався раптовий стрибок у розмаїтті та кількості тварин.

Я викладаю тут версію не найпоширенішу і далеко не загальноприйнятну, а симпатичну особисто мені. Ідея її полягає в тому, що кембрійський вибух був викликаний "анальним проривом"^{23, 24}. Логіка така: мільярди років на дні накопичувалися поживні речовини. У товщі цих поживних нашарувань ніхто, крім рідкісних бактерій, не жив, тому що туди не проникав кисень. У товщі води над нашаруваннями теж особливо ніхто не мешкав, бо там нічого було їсти, - виживали там здебільшого мікроскопічні личинки, які харчувалися запасеним материнським жовтком. Едіакарські тварини понуро паслися на поверхні придонного мулу, шкрябали його, як могли, але багато не нашкрябали. І тут раптом у когось із них відбувається генетична перебудова - і наглухо замкнута кишка раптово перетворюється на наскрізну.



Щасливий володар наскрізного організму, за цією версією, спрямовується в товщу мулу, люто пожираючи накопичені мільярдами років поживні речовини. Він розмножується з небаченою швидкістю, породжуючи за еволюційні миті армію бурильників, які видобувають поживні речовини на дні океану. Це має двоякий ефект: по-перше, збаламутивши мул, черв'яки збагачують їжею товщу води. По-друге, розпушуючи мул, черв'яки збагачують його киснем. У результаті з'являються можливості для життя не тільки на поверхні дна, а й у воді або в землі²⁵. Це розширює простір для еволюційного маневру. З'являється маса нових тварин, які швидко заповняють виниклі ніші. Серед цих тварин однозначними тріумфаторами стають білатерії, які на той момент розділилися на численні клани та підгрупи. Надалі боротьба за першість у тваринному царстві розгорнеться між цими підгрупами, від тевтонських роботів членистоногих до божевільних панків голкошкірих, від плинних, як картина Далі, молюсків до пружних, як стрижень, хордових, що включають і риб - наших предків.

Є маса інших сценаріїв кембрійського вибуху. Наприклад, великою популярністю користується версія, що ключовою подією був стрибок у рівні кисню, тобто черговий підйом межі потужностей, як при появі мітохондрій²⁶⁻²⁸. Є версія, що кисневі флуктуації були не такі значні, а вибух почався з виникненням хижацтва, тобто поїдання одних тварин іншими²⁹. Це ми теж бачили: еукаріоти вже винаходили хижацтво у формі фагоцитозу інших клітин. Більш тверезомислячі біологи вважають, що нічого настільки конкретного не відбувалося, а просто з'явилися нові генетичні програми розвитку, що відкрили перед тваринами масу нових можливостей^{17, 30}. Мало хто сумнівається, що кембрійський вибух якимось чином пов'язаний із появою білатерій - питання тільки в тому, де причини, а де наслідки серед усіх численних змін, що відбулися з живою природою в кембрійський період.

Мені подобається версія з анальним проривом з кількох причин. По-перше, це дуже смішно. Але важливіше, на мій погляд, те, що така гіпотеза краще вписується в загальний хід історії тваринного царства.

Це шлях освоєння світу заново. Багатоклітинна тварина - це гіперклітина, організм нового масштабу, що долає всі життєві перешкоди, колишні уже подолані одноклітинними. Епітелій вирішує ті самі проблеми, які раніше вирішила клітинна мембрана. Його дроблення і брунькування на порожнини і листки виконує те саме еволюційне завдання, що і поява везикул, цистерн і органел в еукаріотичних клітинах. Поява кишки і наступне за нею виникнення хижацтва - це те ж саме, що фагоцитоз, тільки в багатоклітинних масштабах.

Але царство тварин - це царство руху. Тому мені здається якщо не логічним, то принаймні поетичним, що саме в русі має полягати першопричина нашого справжнього розквіту в системі живої природи.

Одноклітинні, завдяки джгутикам, уміють рухатися чудово - в будь-яких напрямках і площинах, з величезною порівняно зі своїм розміром швидкістю. Але тяжкість новопродбані багатоклітинності робить таке пересування майже неможливим. Подальша історія тварин - це поступове повернення до вільного пересування. Губки взагалі не рухаються, медузи рухаються в одному вимірі, едікарські черви - на площині. І ось завдяки прориву кишки у білатерій кембрій знову стає епохою тривимірного руху.

Головне правило орігамі: ніколи, ні за що, ні за яких обставин не рвати і не різати папір. Але справжня революція - це завжди прорив.

6. На сушу!

І назвав Бог сушу землею, а зібрання вод назвав морями. І побачив Бог, що це добре.

Буття 1:10

Одне з головних вражень мого життя, пов'язаних із живою природою, - це нічні пологи морської черепахи на карибському узбережжі півострова Юкатан у Мексиці. Справа була в серпні, за кілька днів до мого весілля в Тулумі, я проводив час у компанії двох друзів, теж біологів. Тобто, строго кажучи, народжувала черепаха в рамках мого парубочого вечора.

Літньої ночі на Карибському морі видно, як із безодні океану виникає погода: пара піднімається в небо, що розрізається променями місячного світла, утворюючи там хмари, а ті, згущуючись, стрімко перетворюються на бурю і вихлюпуються назад у море. Ми на все це витріщалися, сперечаючись (доволі агресивно) про природу реальності, коли нас гукнув чоловік із червоним ліхтарем. Він виявився волонтером екологом на ім'я Хосе. Ділянка пляжу, за якою ми зупинилися зі своїми наметами, належала до території біосферного заповідника Сіан Каан. Влітку, у період розмноження морських черепах, працівники заповідника патрулюють берегову лінію, щоб у разі потреби допомогти цим тваринам виконати свою непросту генетичну місію. Хосе і його пес, який явно перейнявся важливістю моменту, мовчки схилюлися над ямою завглибшки в метр і діаметром метра в півтора. У червоному світлі невидимого для рептилій ліхтаря в ямі переверталася величезна тварина. З очей черепахи текли сльози, і пісок, у який вона, здригаючись у спазмах і ніби задихаючись, заривалася головою і передніми лапами, налипав їй на очі мокрими мішками. Хосе пояснив, що розмовляти можна, бо черепаха впадає у відчужений стан і нічого не чує. Але на тлі бурхливого моря розмовляти вже не хотілося. Так ми й стояли, четверо біологів і собака, і мовчки дивилися на те, як морська черепаха в забудькуватості рие землю мексиканського пляжу, щоб відкласти туди яйця.

Волонтери на кшталт Хосе потрібні тому, що морські черепахи сильно страждають від напливу туристів. Річ навіть не в тім, що туристи відпочивають на пляжах, куди морські черепахи приходять відкладати яйця (хоча і це, звісно, проблема). Річ у тім, що, вилупившись уночі з яєць, новонароджені черепашки мають доповзти до води, щоб вижити. І повзуть вони в бік світла, бо на пляжі місячне світло вказує дорогу до води - але тільки якщо позаду немає яскравих вогнів курортного міста.

Це сумна історія, але трагедія морських черепах стає зовсім вже онегінською, якщо подивитися на неї з більшої відстані.

Черепахи належать до плазунів, або рептилій. Разом із птахами, які за сучасною класифікацією мають теж вважатися рептиліями, і нами, ссавцями, вони входять до підгрупи хребетних під назвою "амніоти". Назва походить від амніону, який ще називається водною оболонкою, або амніотичним міхуром. Це водонепроникна мембрана, мішок, у якому зародки, що розвиваються, плавають, немов риби в пластиковому пакеті із зоомагазину. Серед ссавців більшість видів, включно з нашим, для більшого збереження поміщає цей пакет всередину материнського тіла. Але спочатку - і досі серед більшості рептилій - амніон був головним елементом амніотичного яйця.

Саме амніотичне яйце дає змогу зміям і птахам жити в горах і в пустелях. Завдяки наявності водонепроникної мембрани з внутрішньої сторони шкаралупи, яйця плазунів не висихають далеко від води.

ДО РЕЧІ

Етимологія слова "амніон" загадкова. Багато давньогрецьких медичних термінів дійшли до нас через кілька шаблів історичного "зіпсованого телефону", транслітеруючись з грецької на латину, з латини на арабську або іврит, потім знову на латину і, нарешті, знову на грецьку, внаслідок чого розшифрувати початкову форму слова та його первісне значення буває важко (в епоху Відродження, наприклад, європейські університети старанно вичищали з медичного лексикону арабську, чим, звісно, все тільки заплутали). За однією версією, слово "амніон" пов'язане з давньогрецькою богинею дітонородження Іліфією, святилище якої розташовувалося в Амнісі на острові Крит. За іншою - воно походить від слова, що позначає посудину для збору крові під час ритуальних жертвоприношень, за третьою - від ягнати, чию кров у цю посудину збирали, за четвертою - від овечої шкіри, в яку теж можна збирати рідини. Загалом, деталі загублені, але сенс амніона як "посудини", тобто бар'єру для рідини, мабуть, був зрозумілий людям з глибокої давнини^{1, 2}.

Земноводні, вони ж амфібії, наприклад жаби, до амніотів не належать і водонепроникних яєць не кладуть. Через це їхній життєвий цикл нерозривно пов'язаний з водою. Яйця земноводних повинні розвиватися у вологому середовищі. Вилуплюються з них пуголовки - фактично рибки, - яким, ясна річ, на суші робити нічого, доки в них не відростуть ноги. Коротше кажучи, амфібії не можуть розмножуватися без водойм, тож зустріти жабу в пустелі вам навряд чи доведеться .

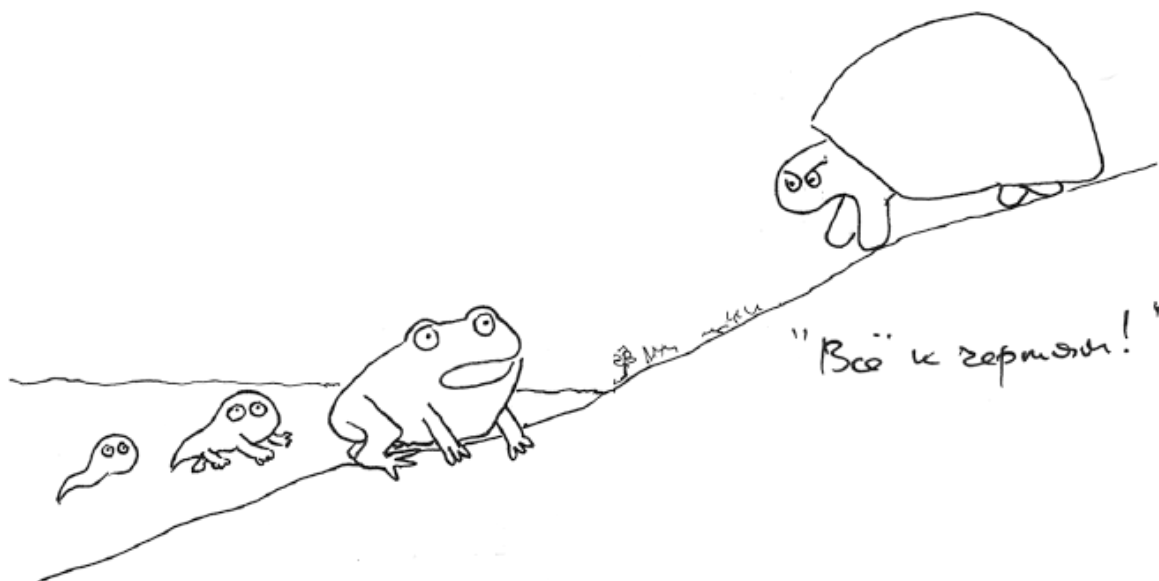


Амніон рептилій і ссавців - це капсула з частинкою океану, що дає змогу тварині остаточно і безповоротно переїхати на сушу. І тільки морські черепахи, махнувши лапою на мільйони років, які зайняв цей тривалий переїзд, вирішили, що в океані їм все таки живеться краще.

Схилившись над черепахою, що народжує, я думав про гірку іронію її життя. Вторинний "переїзд" із суші в море - не така вже й рідкість (так свого часу вчинили, наприклад, предки китів і дельфінів). Але морська черепаха не просто передумала жити на суші. Морська черепаха - це ніби жаба навпаки. Земноводні у своєму житті прагнуть на сушу, але завжди повертаються до води, яка тягне їх назад. Морські черепахи прагнуть в океан, але їх тягне назад суша. Те саме "сухопутне" яйце, яке дало змогу предкам черепах відмовитися від водної залежності, тепер саме створює залежність, що загрожує існуванню цих тварин. Черепашаче яйце нерозривно пов'язане із сушею: якщо яйце залити водою, то зародок загине від нестачі кисню⁴.

Залежність від води зрозуміти нескладно. Життя з'явилося у воді, у воді працює, водою наповнене. Без води живого організму, принаймні у відомому нам вигляді, бути не може. Тому в тому, що жабі потрібно пройти "водну" стадію, перед тим як стати сухопутною твариною, немає нічого дивного. Ми й самі проходимо цю водну стадію, просто в нас дуже замкнута водойма - амніон. Не так складно зрозуміти й мотивацію морських черепах і дельфінів, чії предки повернулися в океан у пошуках пригод, яких там завжди вистачало і вистачає.

Набагато цікавіше питання про протилежну залежність. Навіщо живим істотам у принципі вибиратися з води? Людині це може здатися логічним - тверда земля під ногами і повітря в грудях для нас природні, а солоня вода чужа. Але як так вийшло, що вода, колиска життя, стала для нас небезпечною? Що забули наші предки в цьому "безвидному і порожньому", по інопланетному суворому і абсолютно не пристосованому для життя середовищі, яке ми називаємо "суша"?



І Дух Божий носився над водою

Задовго до того, як на землю ступила перша нога, там жили бактерії⁵. Невибагливим мікроорганізмам простіше адаптуватися до безводних умов суходолу і взагалі до будь-яких фізично несприятливих ситуацій. Що організм складніше влаштований, то важче для нього освоєння нового середовища, зате тим більше в нього в цьому новому середовищі можливостей. Тому еукаріоти з води вилазили дуже повільно, але, вилазючи, з кожним кроком

поступово міняли навколишній світ, повітря і ґрунт, підминаючи під себе весь суходіл планети, і в остаточному підсумку перетворили його на справжню еукаріотичну імперію, яка зеленіла джунглями, шаруділа крилами і рясніла шкурами звірів. Те, що еукаріоти зуміли побудувати на голому камені цю Візантію природи, яка своєю могутністю стоїть нарівні зі стародавнім Римом океану, можливо, наймонументальніший внесок нашого домену в історію.

Першими еукаріотичними завойовниками суходолу прийнято вважати не рослини і не тварин, а гриби. Точніше, лишайники^{5, 6}.

Лишайник - це грибоводоросль. Його основу становить плоский гриб, у серцевині якого заховані фотосинтезуючі клітини. Як ми з'ясували в минулому розділі, "водорість" - це широке поняття, до якого включають будь-яку фотосинтезуючу дрібницю. Яскраві та різноманітні кольори лишайників визначаються яскравими та різноманітними водоростями, що входять до їхнього складу⁷.

ДО РЕЧІ

Лишайник здається простим, майже неживим. Він має вигляд нальоту на камені або на стовбурі дерева і часто не відрізняється від іржі або фарби, що відшарувалася. Насправді з погляду грибного царства деякі лишайники - це найскладніші гриби в природі. Гриби взагалі бувають одноклітинними, у такому разі вони ще називаються дріжджами, а бувають багатоклітинними. В останньому випадку вони зазвичай мають вигляд міцелію, тобто мережі з тонких ниток, або гіф. Гриби в повсякденному розумінні - підберезники та підосичники - це зовнішні репродуктивні органи (плодові тіла) величезного підземного міцелію, що також складаються з тісно сплечених гіф. Порівняно з міцеліями і навіть цими зовнішніми грибами, тканини лишайників часто влаштовані набагато складніше, з більш вираженим поділом функцій між клітинами, майже як у тварин. Іноді лишайники складаються не з двох, а з трьох партнерів (третім виступають азотфіксуючі бактерії, які розв'язують проблему ще одного ресурсу), а нещодавно з'ясувалося, що у багатьох видів у поверхневому шарі, крім головного гриба, живуть зовсім інші, одноклітинні гриби, які потенційно можуть брати участь у захисті лишайника⁸.

Прообраз лишайника - це, швидше за все, ціанобактеріальні біоплівки. Ціанобактерії - це бактерії, здатні до фотосинтезу (раніше їх навіть називали "синьозеленими водоростями"). Теоретично вони цілком самодостатні і вміють у деяких випадках утворювати захисні "кірки", що дають змогу переживати посуху. Гриби, можливо, спочатку були нахлібниками в цих біоплівках працюючих мікроорганізмів, а надалі заволоділи ініціативою, підпорядкували ціанобактерії собі та заодно стали експериментувати з іншими водоростями. Утім, навіть сьогодні деякі лишайники - це саме союз гриба і бактерії, а не гриба і рослини⁷.



У підручниках взаємини гриба з водорістю описують як класичний приклад взаємовигідного співробітництва, але мені вони завжди здавалися такими, що більше нагадують рабство. Роль водорості в лишайнику зрозуміла: фотосинтез. У чому полягає роль гриба, крім як експлуатувати працю водорості, обмежуючи її свободу?

Я зрозумів, що неправий, у національному парку Арчес на південному заході США, куди ми з дружиною приїхали в рамках туристичного марш-кидка Колорадським плато. Арчес має такий вигляд, ніби Гільєрмо дель Торо знімав фільм про Марс. Для життя ця випалена сонцем червона купа химерних каменів велетнів пристосована погано. Проте життя там є, і не тільки в ефемерних калюжках талої води або рідкісних оазисах підземної вологи, куди проникає коріння колючих кущів. Прямо на голому червоному камені, під пекучими цілий рік променями спекотного пустельного сонця, повільно, але непохитно зростає лишайник, що сяє різними кольорами захованих у ньому водоростей.

В умовах вологого клімату водорість дійсно мало виграє від співдружності з грибом. Але ось в умовах, більш схожих на стародавню посуху, переваги гриба стають очевидними. У докембрійські часи в атмосфері не було у великих кількостях ні кисню, ні озонового шару, що виникає з нього і послаблює сонячне випромінювання, - все це ще попереду. Не згоріти в цьому солярії було б складно навіть сьогоднішнім рослинам, а стародавнім водоростям і поготів. Лишайник же може виживати на камені під сонцем без зовнішніх джерел живлення і навіть води роками. Лишайники виживають навіть у відкритому космосі: в одному експерименті лишайники провели 16 днів ззовні

супутника "Фотон", витримавши вакуум і пряме сонячне випромінювання, від якого в нас із вами злізла б шкіра, без видимих відхилень у життєдіяльності (єдине виявлене відхилення після двох тижнів у таких умовах, як мило пишуть автори цього космічного експерименту: "в лишайниках підвищилась частка клітин із пошкодженими мембранами")⁹.

Водорості в масі своїй істоти досить ніжні, яким без сторонньої допомоги рости на камені можна навіть і не мріяти. Феноменальна стійкість лишайника можлива завдяки його корі - щільному сплетінню гіф гриба, густо просоченому захисними і водозв'язувальними речовинами¹⁰. Гриб - не просто нахлібник. Він захищає водорість від її головної вразливості на чужій їй території суші - небезпеки висихання.

Цікаво, що, хоча лишайникам не страшні ні пустеля Аризони, ні супутник "Фотон", вони пасують перед кам'яними джунглями великих міст. Через повільний ріст і здатність швидко вбирати будь-яку вологу лишайники особливо чутливі до забруднення повітря, тому в міських умовах часто формуються "лишайникові пустелі"¹¹. Але вихлопні гази - це кайнозойська проблема. У палеозої головною турботою наземних організмів була вода.

Як вижити на суші

Перед тим як рослини по-справжньому зробили крок на сушу (сталось це близько 450-500 млн років тому¹²), їм потрібно було вирішити кілька проблем, кожна з яких так чи інакше пов'язана з водою.

Перша проблема, звичайно, полягає в тому, що суша суха. Будь-якому мешканцю суші потрібно постійно піклуватися про втрату води. На відміну від тварини, рослина не може в разі зневоднення піти попити або хоча б піти в тінь - вона змушена нерухомо стояти на місці. Тому рослини суші зазвичай вкриті товстим воскоподібним шаром під назвою кутикула, який непроникний для води¹³.

Тобто листя рослин, по суті справи, вимазане воском. Це не так складно реалізувати. Але в повній ізоляції від навколишнього світу рослина існувати не може, тому що їй потрібно впускати вуглекислий газ і випускати кисень. Це фундаментальна проблема: без обміну газів на суші не обійтися нікому, а якщо обмінюються гази, то випаровується і вода. Тому головна складність - зробити так, щоб вуглекислий газ надходив, а вода при цьому не втрачалася. Цю проблему, хоч і з великими труднощами, у наземних рослин розв'язують спеціальні клітини роти, або продихи (термін походить від слова "уста", тобто сучаснішою назвою було б "ротики"), які відкриваються й закриваються залежно від температури та вологості. Аналогія з ротом цілком точна, тому що через продихи в рослини надходить вуглекислий газ - те, з чого фотосинтез робить їжу. У якомусь сенсі кутикула плюс продихи для рослини - те ж саме, що епітелій і рот для тварини.

ДО РЕЧІ

Подібно до тварини, яка заковтує здобич у запалі сутички, щоб потім спокійно перетравити в безпечному місці, рослина може розділяти фази захоплення вуглекислого газу і власне фотосинтезу. Коли рослина розкриває рот (продихи), вуглекислий газ спрямовується всередину, а вода назовні, причому ще охочіше. Тому рослини спекотних країн, ананаси, наприклад, розкривають свої продихи в темний час доби, щоб у нічній прохолоді випаровувалося не так багато води. Але вночі фотосинтез неможливий. Тому набраний у темряві вуглекислий газ рослини тимчасово запасують у формі яблучної кислоти. Зі сходом сонця ананас, зачинивши продихи, витягує з цієї молекули накопичений вуглекислий газ і приступає до справи, не боячись зневоднення. Такий трюк з яблучною кислотою називається САМ-шлях фотосинтезу (англ. crassulacean acid metabolism, за назвою сімейства товстянкових, для яких цей шлях характерний)¹⁴.

Як ми пам'ятаємо, нерухомому організму треба хоча б раз за життєвий цикл кудись переїхати. У воді для цього використовуються одноклітинні стадії життєвого циклу: наприклад, спори або сперматозоїди зі своїми джгутіками. У повітряному середовищі джгутіки марні. Але головна проблема все ж у тому, що одноклітинному, з усіх боків оточеному повітрям, вижити ще важче, ніж багатоклітинному. Мікроскопічний об'єм рідини, який являє собою окремо взятую клітину, в сухому середовищі майже миттєво перетворюється на пару. Якщо з висиханням листя боротися важко, то висихання спори - проблема, розв'язати яку на перший погляд взагалі неможливо.

Тож чи не найпринциповішим винаходом, що дав змогу наземним рослинам захопити суходіл, вважається спорополненін . Ця речовина - унікальний за своєю міцністю і стійкістю біологічний полімер, що нагадує за структурою радше штучну пластмасу, ніж природні полімери на кшталт целюлози. Спорополненін утворює навколо спор і пилку мікроскопічну, але намертво запаяну капсулу, що дає змогу окремо взятим клітинам подорожувати повітрям. Приземлившись у потрібне місце, вони розчиняють цю шкаралупу спеціальними ферментами і приступають до зростання.

Продихи і спорополненін - ось головні еволюційні надбання, що дали змогу рослинам харчуватися і розмножуватися в умовах неприродної сухості.

Кумедно, що пилок у водонепроникній капсулі зі спорополленіну по суті сильно нагадує зародок у водонепроникній капсулі амніоні (наприклад, у яйцях черепахи, та й у людини теж). Оскільки рослини опинилися на суші першими, можна сказати, що ми, амніоти, частково вкрали в них ідею своєї наземності.

Друга проблема рослинних першопрохідців полягає в тому, що типові клітини (включно, до речі, з більшістю клітин нашого тваринного організму) пристосовані до солоної води. Солі потрібні для роботи клітинних білків, для нормального протікання хімічних реакцій і для підтримання цілісності мембрани: якщо клітину крові, наприклад, опустити у воду з під крана, то вона лопне. Проте квіти ми поливаємо не солоною водою, а прісною. Річ у тім, що головною формою рідини, доступною рослинам поза водоймами, завжди був дощ, а дощ - вода дистильована, тобто настільки прісна, наскільки це взагалі можливо.

Цим пояснюється той факт, що, строго кажучи, всі нинішні рослини суші, вони ж ембріофіти, - підгрупа прісноводних водоростей. Переважна більшість видів водоростей мешкають у солоній воді, але з ними рослини суші пов'язують тільки далекі родинні зв'язки¹⁵. Тобто на землю рослини вийшли не з океану, а з озера або річки. У якомусь сенсі це дивно. На тлі всього різноманіття зелених водоростей в океані (а їх справді дуже багато) вся суша без залишку дісталася якимось вискокком із глушини. Насправді нічого дивного немає. Прісноводна рослина вже однією ногою стоїть на суші. У прісній воді майже немає солей, що вимагає серйозних адаптацій і повертає тільки любителів екстремальних ситуацій. Але, одного разу пристосувавши свої клітини і білки до прісноводної водойми, водорість у принципі може задовольнятися дощем - аби не висихати в проміжках.

Це підводить нас до третьої проблеми - ґрунту, який якраз і дозволяє рослинам виживати між дощами. Як ми побачимо, рослини суші не завжди вміли цим ґрунтом користуватися.

Грибокорінь або коренегриб

Лишайник - це перший із двох головних рослинно-грибних симбіозів. Другий, ще більш значний в історії життя на суші симбіоз, - це мікориза¹⁶.

Слово "мікориза" означає "грибокорінь", і це її, мікоризу, добре описує. Мікориза - це гіфи гриба, підключені до кореня рослини. Це саме "підключення", а не якесь банальне прилипання. У деяких випадках гриб буквально росте в корінь. Між рослиною і грибом встановлюється канал зв'язку, по якому вони обмінюються різноманітними речовинами.

Мікоризою досі користуються майже всі наземні рослини¹⁷. Функції мікоризи так само численні й важкоописувані, як функції подружжя в довгому й міцному шлюбі. Основа цих відносин, безумовно, годування гриба рослиною. Але рослина дає грибу не тільки харчування, а ще багато іншого, наприклад надсилає через нього сигнали іншим рослинам. Гриб же постачає рослині мінерали, які він висмоктує з ґрунту, всілякі корисні грибні речовини і, що особливо цікаво, воду.

Здавалося б, навіщо рослині вода від гриба, якщо в неї є своє коріння? У сучасних рослин ця функція мікоризи справді потрібна тільки на додаток до наявного коріння. Але у перших рослин суші коріння не було.

Ймовірно, вони являли собою повзучі пласти зелених клітин на кшталт сучасних печінковок, які навряд чи могли жити десь, окрім як у безпосередній близькості від водойм. Гриби, проростаючи в глибину ґрунту, дали цим істотам доступ до джерел води далеко від їхнього власного тіла¹⁶.

Коротше кажучи, мікориза - це споконвічний корінь¹⁸. Мікориза виникає в геологічному літописі синхронно з рослинами на суші. У найпримітивніших сухопутних рослин досі немає коріння, і в збиранні води з під землі вони повністю залежать від гриба. Рослини з більш просунутою будовою частково переймають у мікоризи водозбірну функцію, немов імітуючи своїми підземними відростками гриб. І якщо тварини вкрали ідею своєї наземності у рослин, то можна сказати, що рослини вкрали свою ідею наземності у грибів.

Мікориза на рабство вже зовсім не схожа. У ній гриб виступає не організатором усього підприємства, а супутником, нехай і дуже важливим, багатоклітинної рослини, що вільно живе. Ці майбутні дуби і сосни не полізли б на землю, якби в цьому не було якоїсь принципової для них самих вигоди.

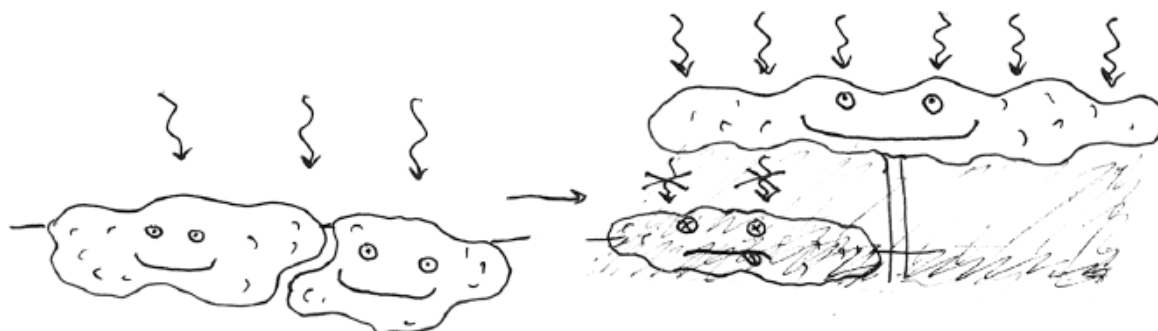
Тут варто повернутися до центрального питання цього розділу, над яким я розмірковував, стоячи над черепахою, що народжує. Що взагалі ми, живі організми, забули на суші? Чому ми не можемо дихати під водою, як риби? Чому ми ходимо по землі, а не по дну моря? Чому розмовляємо коливаннями повітря?

Відповідь треба шукати тут, у мотиваціях зелених засновників нашої наземної Візантії.

Можна подумати, що рослинам в океані було просто тісно, тож їхнє поширення на суходіл очікуване й передбачуване. Але місця в океані хоч відбавляй, на суші в кінцевому підсумку виходить набагато тісніше. До того ж на суші все лежить одним шаром, а світло розсіюється менше. Тому рослина, що росте над іншою рослиною, затінює свого нижнього сусіда набагато сильніше, ніж під водою.

Через це на суші у рослин виникає таке цікаве пристосування, як стебло¹⁹. Під водою обзаводитися стеблами, як, загалом, і корінням, зазвичай не має сенсу. На суші стебло потрібне тоді, коли стебло є у сусіда, тому що інакше сусід буде на світлі, а ти - в тіні. Тобто вертикальний ріст рослин на суходолі, який подарував нам джунглі й тайгу, - це перегони озброєнь під девізом "хто кого затінить". Що крупніше стебло, то вищі шанси затінити всіх сусідів і

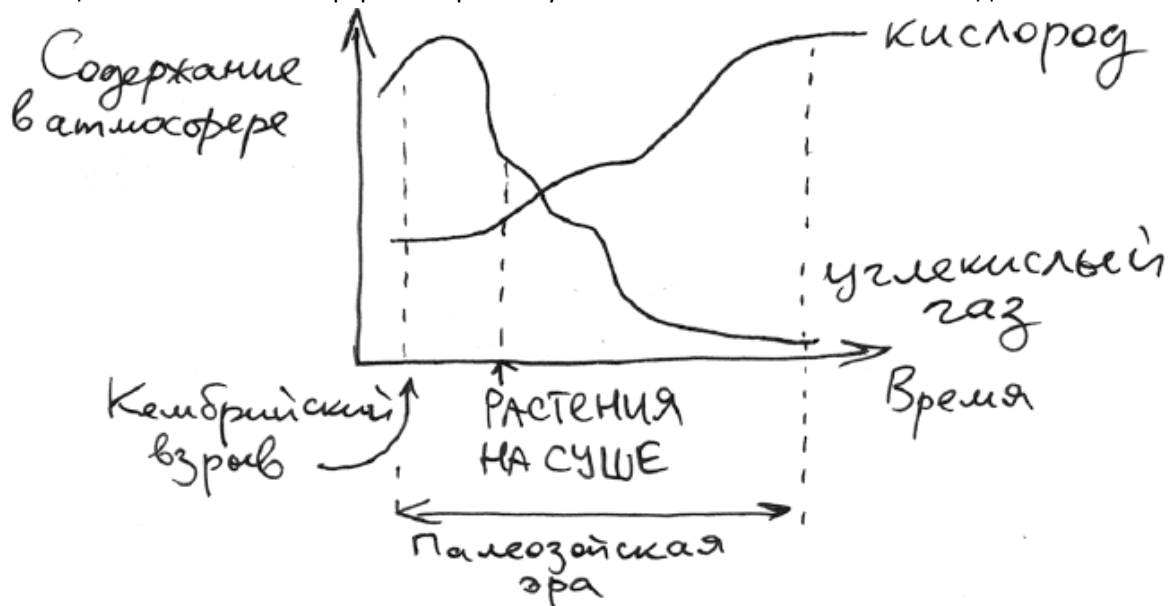
отримати максимум сонячного світла. Але велике стебло, як-от стовбур дерева, потребує інвестицій у вигляді величезної кількості біомаси, яку доводиться накопичувати роками. Для рослини це ризикована і дорога стратегія, яку можна виправдати тільки найжорстокішою конкуренцією. Наскільки важкою має бути ця конкуренція за місце на суші, щоб виправдати інвестиції в стовбур секвої завдовжки в сотню метрів?



Стебель нужен тогда, когда он есть у других

Загалом, причина озеленення суші не в тому, що рослинам в океані не було де жити. Суша привабила рослини чимось іншим.

На базовому рівні фотосинтезуючому організму потрібні три речі: вода, світло і вуглекислий газ. Переїзд на сушу створює важкі проблеми з водою. Але що стосується світла і вуглекислого газу, то їх засвоєнню водне середовище тільки заважає. Посилене розсіювання світла водою, може, і знижує конкуренцію за вертикальне положення, але сильно скорочує загальну кількість доступних фотонів. Вуглекислий газ у воді розчиняється погано. Ці два фактори - світло і вуглець - і виманили зелене царство на сушу. З погляду водоростей кембрійського періоду незвідана і сувора суша обіцяла багатства атмосфери - потрібно було тільки навчитися жити поза водою.



Як завжди в еволюції, будь-яка непереборна проблема, якщо за нею стоїть велика вигода, рано чи пізно буде подолана. Приблизно так само колись стояло питання перед першими фотосинтезуючими бактеріями. Якщо пам'ятаєте, початковий варіант фотосинтезу працював на сірководні і виробляв як побічний продукт сірку. Нечувані багатства в тому випадку обіцяв перехід із сірководню на воду (з відповідним побічним продуктом - киснем). Вода принципово схожа на сірководень, але її майже неможливо "зламати". Зрештою це все таки сталося. У результаті світ наповнився полчищами водоростей і киснем, який вони вивергають.

Тут те ж саме, і знову все крутиться навколо води: у фотосинтезі воду потрібно було навчитися зламувати, під час підкорення суходолу воду потрібно було навчитися добувати і зберігати. В обох випадках вирішення цих проблем зайняло мільйони років. Але з далекого майбутнього обидва еволюційні перевороти виглядають невідворотними: рано чи пізно вони мали відбутися просто тому, що така можливість принципово існувала.

Найкраща ілюстрація потенційних можливостей, які існували в стародавній атмосфері, - це те, що з нею сталося після того, як рослини нарешті розв'язали всі свої водні проблеми і кинулися підкорювати материки зеленою лавиною. У кембрійський період, поки суша була "безвидна і порожня", концентрація кисню в атмосфері становила близько 15 %, а вуглекислого газу - близько 0,6 %. До кінця палеозойської ери, коли суша вкрилася могутніми лісами, кисню в атмосфері стало в два з гаком рази більше - 35 %, а вуглекислого газу в 17 разів менше - якісь жалюгідні 0,035 %²⁰, 21.



Підкоривши сушу, рослини провели палеозойську еру, жадібно пожираючи плоди своїх завоювань. Купаючись у сонячному світлі, вони виїли майже весь вуглекислий газ з атмосфери, осадивши його на землю у формі власних тіл, а разом накачавши повітря киснем у кількостях, що не снилися жителям океану. Такого киснево вуглецевого багатства на планеті більше не буде ніколи.

Стає зрозуміло, навіщо полізли з води ми, тварини. Рослини прийшли на сушу за світлом і атмосферою. Тварини прийшли на сушу за рослинами.

Війна, якої не було

Наш час. По дну ставка крадеться хижак, обережно ступаючи по піску шістьма ногами. Його симетричне, обтічне, подовжене з тонким черевом тіло вкрите ворсистим панциром, розсіченим на правильні сегменти. Блискучий шолом, що оточує голову хижака двома перламутровими півсферами, - це його очі, точніше, тисячі очей, мікроскопічних шестигранних трубок, спрямованих майже на всі боки одночасно. Рухи хижака легкі, навіть невагомі. Він виглядає відлитим із пластмаси або титанового сплаву, вимазаним для маскуванню в придонному бруді. Раптом кожне з безлічі зчленувань його тіла, як суглоби ляльки маріонетки, смикається з місця. Нижня губа, що покриває його голову маскою, раптово висувається чіпким гаком, оголюючи щелепи, які змикаються в залізну хватку навколо хребта жертви.

Ця жертва - юна саламандра, яка безпорадно звивається в останній спробі врятуватися. Якщо їй вдасться вирватися, то коли небудь вона, можливо, виросте і на власні очі побачить сушу. Але вирватися саламандрі не вдається. Замість неї сушу побачить шестиногий хижак. Мине тиждень, а може, місяць, і він знайде тростинку або очерет, по якому видереться наверх, до світла. Виринувши зі ставка в нещадну порожнечу атмосфери, він застигне, ніби присохлий до свого очерету.

У цю хвилину здається, що на цьому його шлях і закінчується, безглуздо і трагічно, як політ Ікара. Але спина присохлого до очерету хижака раптом розтріскується, ніби перестиглий стручок. Зі старого панцира повільно, протягом години виповзає нова тварина. Спочатку показується її голова, спина, ноги, потім вона завмирає, ніби відпочиваючи, і нарешті в останньому зусиллі стискається усім тілом, висмикуючи себе зі своєї підводної шкіри й розправляючи чотири великі прозорі крила. Ними вчорашнє придонне чудовисько змахує і летить геть, лавіруючи в повітрі, як риба серед хвиль. Передні крила то б'ються в протифазі із задніми, поки хижак граціозно ширяє над ставком, то загрибають синхронно, коли він кулею кидається на безтурботних жертв, летючих чи повзучих. Майстерність його польоту, сухе, ніби лаковане тіло, відточені, блискавичні рухи, всевидючі очі - така досконалість наземного життя і не снилася убогій саламандрі.

І тут страшному хижакові приходить несподіваний кінець. Своєю мозаїкою з тисячі очей він бачить усе навкруги, але погано розрізняє нерухомі предмети - тож, пролітаючи вздовж берега ставка, не помічає, як щось величезне й біле раптом розгортається, на мить напружує м'язи та клацає гострими щипцями. Хрускіт - і ось так просто, без бою і попередження, обривається життя одного з найстрашніших і бездоганных створінь живої природи. Над ставком, підібгавши тонку кістяну ногу, з млосним спокоєм височіє чапля, яка поснідала бабкою.

У цій цілком реалістичній історії²² - метафора всіх взаємин між членистоногими і хребетними. Давним-давно, у палеозойську еру, саме членистоногі, предки сучасних комах, павуків і багатоніжок, стали тваринами - першовідкривачами суші. Ці майже ідеальні істоти рішучим маршем завойовників пройшли по всій зеленій планеті, окупувавши своїми броньованими тілами всі ніші травоядних і хижаків. Тільки поява хребетних з їхніми небачено масивними щелепами, лапами і дзьобами похитнула цю гегемонію членистоногих на землі.

Але ось чи можна хребетних вважати тріумфаторами великої наземної війни - питання спірне. Я дотримуюся думки, що цій війні не судилося відбутися.

Кам'яновугільна Візантія

Іспит із зоології безхребетних (у просторіччі - "зебепепе") на першому курсі біофаку вважається центральним і найважчим, і його успішне складання - предмет моєї особливої гордості. Встигнувши вже набити руку в усних іспитах, ми з товаришами планували все, як шпигунську операцію. Потрапити слід було до конкретного викладача, чия улюблена тема була відома зі звітів попередніх груп. Це саме по собі вимагає певної вправності. Неважливо, що за питання було у квитку, у моєму випадку слід було плавно підвести розмову до гігантських бабок кам'яновугільного періоду. Це було справою техніки - мені попалися немертини, черв'яки, які за простою виростають до метрової довжини. Як тут, між іншим, не поскаржитися на відсутність по-справжньому великих комах? В очах мого екзаменатора запалився хитрий вогник, і він вдарив рівно туди, куди мені було треба: як же бути з гігантськими бабками карбону? Подумки вже розкриваючи заліковку, я зобразив сум'яття, потер лоб, подивився у стелю і несміливо припустив, що хоча я, на жаль, точно не знаю, але, можливо, це якось пов'язано з пасивним диханням, із трахеями і з величезною кількістю кисню в палеозойській атмосфері. Заліковка на стіл, помах пера, усі залишилися задоволені.



Гигантская стрекоза
карбонного периода

Я добре розумію, чому ця тема так цікавить зоологів. Чесно кажучи, гігантські бабки карбону (наприклад, *Meganeura*) хвилюють і мою уяву, навіть сильніше за динозаврів. Уявіть собі всю моторошнувату грацію бабки, тільки з розмахом крил 70 см - як у невеликої чайки. Уявіть собі світ, у якому ця істота - цар звірів, верховний хижак. Це зовсім інша планета. Тепла, волога суша вкрита дивними густими лісами з велетенських хвощів і папоротей (квіткових не буде ще сотні мільйонів років), а царством тварин правлять комахи та черв'яки²³. Якби в мене була туристична машина часу, то свою першу зупинку я зробив би в цьому світі.

До кам'яновугільного періоду (він же карбон), на піку розквіту гігантських комах і природного багатства палеозойської суші, з океану на землю вже вийшли нові претенденти на престол - хребетні. Незабаром ці тварини досягнуть по-справжньому велетенських розмірів, доберуться до кожного куточка планети і зйдуть там на вершини майже всіх харчових пірамід. Але ста мільйонами років раніше, в силурійський період, сушею безроздільно правили членистоногі. Здавалося б, у цих чудово пристосованих істот був прекрасний шанс захистити свою Візантію від навали хребетних іновірців.

Біологи сильні мнемонічними прийомами. Той факт, що в силурійський період життя на суходолі було представлено рослинами і членистоногими, позначається римою "силур шур шур", а "девон - риби геть" знаменує вихід хребетних на суходіл у девонський період. (Ці правила мені переказав мій однокашник Йоха Колудар зі своїх ще шкільних спогадів про гуру петербурзького Палацу творчості юних - Сергія Вікторовича Барабанова). Для запам'ятовування послідовності періодів палеозою є своє правило у двох варіантах: "Кожен чудовий студент повинен курити цигарки" і "Кожен чудовий студент повинен їсти пончики" (кембрій, ордовик, силур, девон, карбон, пермь). Чому студент обов'язково має робити шкідливі речі, а не гарно писати чи хоча б міцно харчуватися, я не знаю. Найкраще ж мнемонічне правило, на мій погляд, - це справжня поема, призначена для запам'ятовування послідовності 12 черепних нервів (нюховий, зоровий, окоруховий і так далі): "О Зіночка, голубка білокрила, тебе одну лише бачу я, бідна дівчинка сумна".

Що ж сталося з комахами палеозою? Чому вони зменшилися, замість того щоб стати ще більшими і дати відсіч новим загарбникам підкореної ними суші? Навіть бабки карбону, які так займали мого викладача на іспиті, за хребетними стандартами не такі вже й гіганти - у багатьох птахів розмах крил істотно більший. Гігантська бабка нас, звичайно, налякала б до смерті, але навряд чи б з'їла цілого 70-кілограмового примата. Сьогоднішні ж бабки, на кшталт описаної вище, навряд чи можуть добути собі на обід когось із хребетних більших за юну саламандру або жабу. Натомість вони самі куди частіше стають здобиччю хребетних - наприклад, чаплі, вельми скромного в бойовому сенсі птаха, для якого тим не менш страшний і брутальний хижак бабка не небезпечніший за муху.

Як так вийшло? Чому бабки не їдять чапель? Якщо були птеродактилі, то чому ніколи не було десятиметрових метеликів? Якщо є слони і жирафи, то чому немає мурах розміром з автомобіль?

Питання це - не просто пусті фантазії. Членистоногі з'явилися на суходолі першими і ніколи не переставали бути найуспішнішою, найчисленнішою і найрізноманітнішою групою тварин за межами океану. Ми, сухопутні хребетні, формувалися в умовах їхнього тотального контролю над усіма доступними ресурсами суші. Те, як ми вирішили цю проблему, визначило все наше подальше існування. Тому питання про гігантських бабок - це насправді питання про те, чому ми такі, які ми є.

Достатньо подивитись на будь-яку комаху під великим збільшенням, щоб переконатись, що у відповідному масштабі це не тварина, а залізний робот убивця (загугліть зображення мурашки чи навіть мухи під мікроскопом). Якщо на вулиці, збудовані хребетними для хребетних, раптом запустити мурашок розміром з автомобіль, то зомбі-апокаліпсис цим хребетним здасться грою в п'ятнашки. Саме у зміні масштабу міститься ключ до нашого еволюційного виживання. Наші величезні розміри - це єдине, що дало нам змогу досягти успіху у світі, який був і залишається імперією комах.

ДО РЕЧІ

Прикладів хребетних, що харчуються безхребетними, незліченна кількість, незважаючи на те, що хребетні - всього лише одна з гілок тваринного царства, а безхребетні - це всі інші. Зворотних прикладів - безхребетних, що харчуються хребетними, - набагато менше.

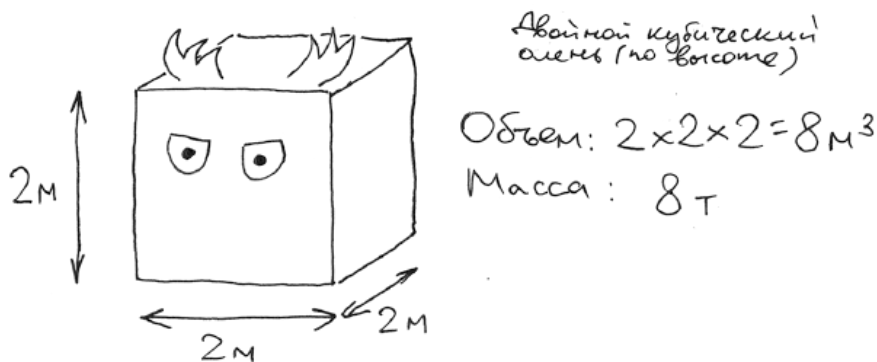
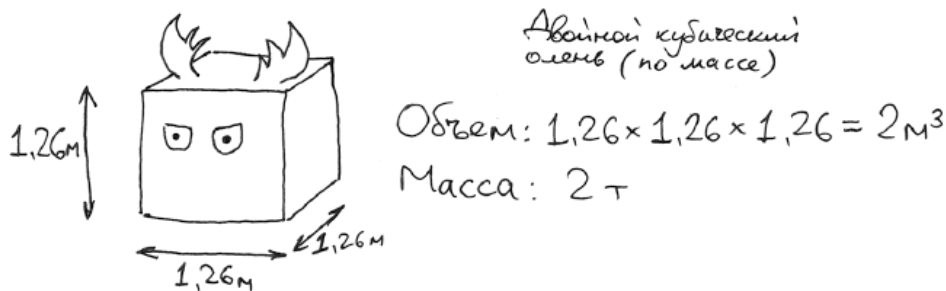
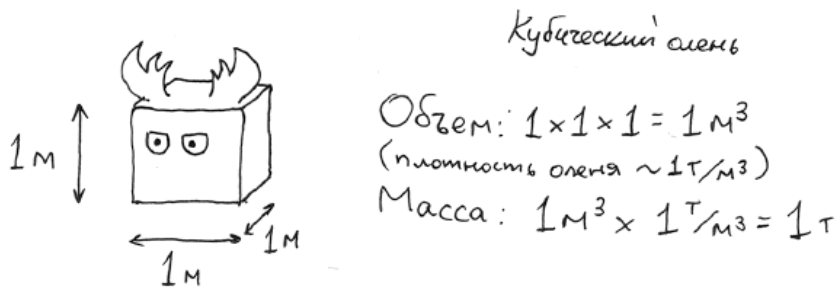
У воді вагова перевага хребетних менш виражена, тому черв'яки, які полюють на дрібних рибок, або восьминіг, що скручує акулу, - не така велика рідкість. Личинки бабок, добре відомі в цій незвичній ролі, теж здебільшого полюють у воді, хоча іноді вилазять на поверхню та стрибають на дорослих жаб²⁴. Але загалом на суші безхребетні сильно поступаються хребетним. Наприклад, той самий восьминіг, який у воді може зрівнятися з великими рибами, на суші перетворюється на марну желеподібну масу. Щоб зазіхнути на хребетне за межами океану, потрібно володіти скелетом і достатніми розмірами, тому майже всі безхребетні, яким це вдається, - великі членистоногі, часто отруйні²⁵. Можна згадати богомолів, які, буває, ловлять не просто якусь там деревну жабу, а дорослих птахів колібрі²⁶, і сколопендр - далеких родичів комах, хижих багатоніжок, деякі з яких полюють аж на кажанів²⁷. Проте найбільш насичена вбивцями хребетних група безхребетних - це павукоподібні. Якщо згадати скорпіонів, павуків птахоїдів, сольпуг, здатних відкусити людині ледь не півруки, то немає нічого дивного в тому, що боязнь павуків становить особливу категорію людських страхів. Втім, треба зазначити, що переважна більшість павуків для нас абсолютно не небезпечні. Це розумні й чуйні створіння, чия поведінка до пари душкам ссавців, шлюбні ритуали за своєю красою поступаються лише пташиним, і навіть їхнє знамените знаряддя, павутиння - суміш капкана і барабанної перетинки, - ідея моторошна, але, погодьтеся, стильна.

Сила в квадраті

Збільшення в розмірах - справа непроста. Гравітація, дивовижна і багато в чому досі таємнича фізична сила, залежить від маси об'єктів, що притягуються, тобто від кількості речовини. Її неможливо обдурити. Об'єкт, до якого притягуються наші тіла, - планета Земля - начебто знає на відстані, скільки саме протонів, нейтронів і електронів у

цих тілах міститься, і тягне кожне з них з чітко встановленою силою в чітко встановленому напрямку, який ми називаємо "вниз". Тварина, в якій удвічі більше речовини, притягуватиметься до землі рівно вдвічі сильніше.

Далеко не все в організмі підпорядковується такій простій арифметиці. Маса пропорційна об'єму, а об'єм - це добуток трьох вимірів: довжини, ширини і висоти. Щоб отримати тварину вдвічі важчу, у кожному з цих вимірів її потрібно витягнути приблизно на чверть: якщо розтягнення в трьох напрямках перемножити, то якраз і вийде подвійний об'єм, а отже, подвійна вага. М'язи і кістки, відповідно, точно так само витягнуться на чверть у кожному напрямку, а їхня вага зросте вдвічі. Але сила м'яза і міцність кістки визначаються не вагою, а поперечним перерізом, тобто добутком ширини і висоти, який у разі збільшення кожної зі сторін на чверть зросте всього лише на половину з невеликим. Що виходить? Збільшуючи тварину вдвічі за масою, ми підсилюємо її всього в півтора раза. Тобто наша тварина за інших рівних втрачає чверть сили з розрахунку на масу. Що ти більший, то важче тобі протистояти гравітації.



У ширшому сенсі ця залежність називається законом квадрата - куба. Сенс його в тому, що маса залежить від куба довжини, але багато інших властивостей об'єктів залежать від квадрата довжини, тобто площі, і змінюються маса і площа непропорційно.

Від площі залежать, наприклад, втрати поверхнею тіла вологи і тепла, споживання легенями кисню, міцність кісток і багато інших чинників, які доводиться враховувати в еволюційному дизайні тварини. Що більша тварина, то менша в неї поверхня з розрахунку на масу, а це означає, що їй простіше зберігати енергію і воду, але важче підтримувати й переміщати власну вагу. Якщо мікроскопічні тварини можуть обходитися м'якими тканинами, то на якомусь етапі збільшення умовою стійкості та мобільності стає скелет²⁸.

У світі є два типи скелетів: внутрішній і зовнішній. Наш скелет внутрішній: кістки всередині, м'язи зовні. У комах навпаки: м'язи прикріплені зсередини до зовнішнього панцира з хітину - екзоскелета.

ДО РЕЧІ

Особлива категорія внутрішніх скелетів, до яких м'язи не кріпляться, - "гідралічні скелети", які замінюють черв'якам і восьминогам тверді тканини на кшталт того, як надувний матрац замінює ліжко.

У екзоскелета є очевидний плюс: він одночасно працює бронєю. Наші м'які тканини ніяк не захищені від атаки, тоді як пробити панцир комахи співрозмірній тварині дуже важко. Це колосальна перевага, в плані захисних властивостей порівняння хіба що з клітинною стінкою рослин або грибів. Але ця перевага має зворотний бік: зовнішній скелет заважає рости. Комаха повинна його скидати щоразу, коли хоче збільшитися в розмірах. Необхідність линьки, або екдизису, є фундаментальною вразливістю не лише комах, а й усіх членистоногих (що включають комах, ракоподібних, павукоподібних і багатоніжок), і навіть ще ширшої групи, що об'єднує їх усіх із круглими черв'яками, нематодами²⁹. Ця остання група називається Ecdysozoa - якраз за науковою назвою линьки, тобто скидання панцира кутикули, яке супроводжується стрибкоподібним зростанням. Екдизозої являють собою ціле "міні царство", можна сказати князівство тварин, які складають левову частку фауни суші.

Екдизис - це принципова річ, яку ми, хребетні, не робимо. Як тварини на тлі рослин і грибів колись залишилися вірні "м'яким" традиціям еукаріотів, так і ми на тлі гегемонії екдизоз знайшли в собі мужність бути м'якотилими.

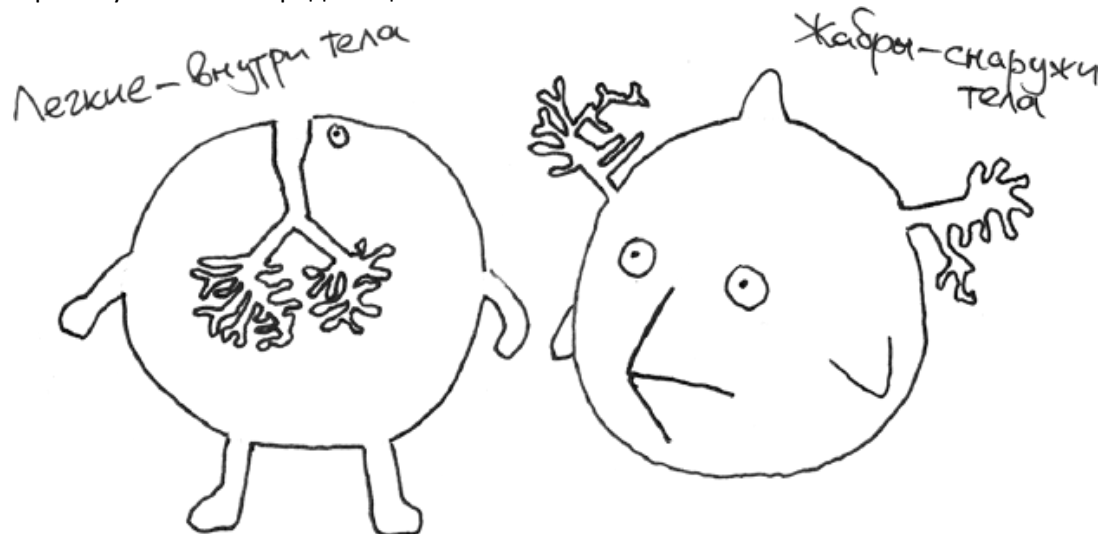
У екзоскелета є ще один недолік: якщо його збільшувати, залишаючи масу постійною, то він дуже швидко стає марно тонким. Тому для підтримання маси, скажімо, як у коня, комасі знадобився б скелет абсолютно непідйомної ваги²⁸. Не надто зрозуміло, як би комаха доростала до такої ваги - адже при кожній линьці комаха кінць перетворювалася б на купу м'яса.

Хребетні з їхнім внутрішнім скелетом набагато вразливіші із зовнішнього боку, але зате ніщо не заважає їм безперервно рости і накопичувати вагу, не втрачаючи підтримки скелета. У цьому і є наше історичне кредо: якщо від комах не можна захиститися, треба кинути спроби і поставити все на зростання.

І все таки успіх хребетних не завжди був таким очевидним, яким він здається зараз. Нехай комахи фізично не здатні змагатися з сьгоднішніми бегемотами й тиграми, але в середині палеозою комахи були більшими й уміли літати, а хребетні - меншими й ледве вилазили з води, тож теоретично все могло скластися інакше. Допомогла нам ще одна перевага, яка стала вирішальною до кінця палеозою: дихання.

Повітря в мішку

Зябра - орган дихання переважно підводний, легені - наземний, але, як не дивно, необов'язково. Формально кажучи, зябра від легень відрізняються тим, що легені - це мішок для кисню всередині тіла, обплутаний кровоносними судинами, а зябра - той самий мішок, тільки вивернутий навиворіт, так що судини в нього всередині, а сам мішок стирчить у зовнішнє середовище²⁸.



Легені гірше підходять для водного середовища, тому що у воді порівняно з атмосферою мало кисню. За 15 °C у літрі води його у 28 разів менше, ніж у літрі повітря. Якби риби дихали легенями, то їм би доводилося качати туди сюди величезні об'єми води і витратити всі свої сили на пихтіння. У таких умовах зябра ефективніші: риба пливе вперед, а вода безперервно їх омиває (це нагадує безперервне харчування черв'яків, які вперше відкрили принади двосторонньої кишки). У підсумку через зябра за одиницю часу встигає протекти більше води, ніж через легені.

На суші ж риби задихаються точно так само, як люди під водою. Якщо вдуматися, то причини цього зовсім не очевидні - кисню ж має бути більше! Проблема в тому, що зябра являють собою гребені з найтонших складок, між якими зазвичай протікає насичена киснем вода. Ці складки м'які й ніжні, що допомагає краще вбирати кисень, але на суші, без підтримки води, вони склеюються, як мокре волосся. Площа поверхні падає майже до нуля, і риба задихається.

Чи можна теоретично вирішити цю проблему? Виявляється, можна. Її розв'язав, наприклад, пальмовий злодій, також відомий як кокосовий краб: родич рака-пустельника, який живе на суші та дихає зябрами. Ці зябра у нього елементарно твердіші, що дозволяє їхнім поверхням не склеюватися²⁸. Результат - ні багато ні мало найбільше

наземне безхребетне, броньоване чудовисько розміром із собаку, яке жахає своїми розмірами, але взагалі то до агресії абсолютно не схильне. (Фотографію пальмового злодія рекомендую зауглвити, але попереджаю: видовище не для людей зі слабкими нервами).

ДО РЕЧІ

У пальмових злодіїв - наземні зябра, а у морських огірків - підводні легені. Утім, огірки поглинають кисень усією поверхнею тіла, тож їхні легені просто збільшують площу поглинаючої поверхні.

Тож у принципі наземні зябра можливі. Але наземні тварини, чиї предки риби, звісно, дихали зябрами, на якомусь етапі зіткнулися з фундаментальною проблемою життя на суші: висиханням.

В органі дихання за визначенням має здійснюватися газообмін, тож із нього обов'язково випаровуватиметься і вода. Отже, завдання тварини - отримати максимум кисню за мінімальних втрат вологи. Легені дають змогу тимчасово ізолювати об'єм повітря від довкілля і зібрати з нього кисень, не втрачаючи воду. Вода втрачається тільки під час видиху, тоді як якби легені були вивернуті навиворіт, вода б втрачалася постійно.

Цей баланс газообміну і висихання дуже схожий на дилему, яка стоїть перед наземною рослиною. Тій потрібно увібрати з повітря максимум вуглекислого газу і втратити мінімум води. Рослина розв'язує проблему, закриваючи продихи, що ізолює повітря всередині листка і дає змогу зібрати з нього вуглекислий газ, не втрачаючи воду. У певному сенсі рослинам важче, ніж нам, тому що вуглекислого газу в атмосфері набагато менше, ніж кисню, так що рослині доводиться робити більше "вдихів" і втратити більше води.

Строго кажучи, вдихом і видихом газообмін у рослини не назвати, тому що ці слова мають на увазі рух повітря, а рослина в силу своєї нерухомості повітря не качає. Вона просто розкриває клапани, які дозволяють повітрю проникнути всередину. Цікаво, що комахи, перші тварини-завойовники суші, своїм унікальним способом дихання найбільше нагадують саме такий пасивний газообмін рослин. Комахи теж не качають повітря вдихами та видихами. Натомість їхнє тіло пронизане системою порожнистих трубок, або трахей, які, як листя рослин, відкриваються в зовнішнє середовище клапанами. Ці трахеї, як повітряні капіляри, безпосередньо доставляють повітря прямо до органів, густо розгалужуючись, наприклад, біля м'язів. "Судини" на крилах комах - це теж трахеї.

І легені, і зябра працюють у співпраці з кровоносною системою (фактично це інтерфейси "кров - середовище"). У людини саме кровоносна система організовує доставку кисню до тканин. Трахеї комах же відрізняються тим, що відокремлюють дихання від крові. У комах судини розподіляють тільки поживні речовини, а кисень доставляється до тканин по виділеній лінії трахей.

З одного боку, це чудова ідея, тому що в газах молекули рухаються набагато швидше, ніж у воді, тож за певних габаритів тварини порожнисті трубки постачають її нутроці киснем швидше й ефективніше. Але працює це тільки при маленьких розмірах. Якщо комаху сильно збільшити, то кисень не встигатиме надходити в глибину її тканин у достатній кількості для підтримання їхньої життєдіяльності.

У цьому і полягала відповідь на хитре запитання на іспиті із ЗБП. Гігантські бабки карбону могли існувати тому, що в атмосфері було більше кисню, а отже, верхня межа розмірів комах була вищою^{30, 31}. Після карбонового періоду рівень кисню став убувати, і комахи вже ніколи не повернулися до колишнього гігантизму.

У випадку з хребетними кисень рухається по рідині, яка активно качається серцем. Низька швидкість руху кисню по рідині компенсується, по-перше, швидкістю руху самої рідини, тобто високим кров'яним тиском, а по-друге, червоними кров'яними тільцями, або еритроцитами. Це клітини пустушки, забиті вщерть гемоглобіном. Як пам'ятає читач, це червоний білок, який зв'язує кисень. Завдяки гемоглобіну в крові в десятки разів більше кисню, ніж у принципі розчиняється у воді³².

Найголовніше в нашій системі дихання - те, що вона, в найкращих традиціях царства тварин, заснована на активному русі. З одного боку, це активна вентиляція легенів вдихами і видихами, а з іншого боку, активне відведення кисню від легенів кровоносною системою. Усе це шалено затратно, проте дає змогу забезпечувати киснем органи на великій відстані від легень, а отже - дає нам змогу бути більшими. Заради розмірів хребетні готові на все. На горизонті видно мезозойську еру - епоху гігантів.

Дихання палеозою

Можна сказати, що в комах відчувається палеозойська логіка.

Комахи формувалися в часи, коли суша ставала зеленою, а атмосфера насичувалася величезними кількостями кисню. Їхньою головною екзистенційною проблемою була вода. Тому замість принципово можливої системи вдихів-видихів вони обрали дихання з мінімумом втрат вологи.



Привытие на сушу членистоногих и червей

У ті перші безтурботні мільйони років на суходолі комахам не було потреби бути великими, бо навколо не було нікого більшого. Їхній зовнішній скелет у таких умовах чудово захищав від нападів, а трахеї, як повітряне волокно, просочували тіло киснем.

Що взагалі означає "бути великими"? Усе залежить від точки зору. Комахи були набагато більшими, наприклад, за круглих черв'яків (це переважно мікроскопічні родичі наших глистів, які, за однією з версій, від самого початку потрапили на сушу як паразити комах²³). Питання розмірів для тварин стоїть так само, як питання стебел для рослин: велике стебло потрібне тоді, коли навколо є інші великі стебла. До появи хребетних комахи не могли й уявити, які розміри в принципі припустимі, якщо в тебе є хребет. Вони виявилися непередбаченими до конкуренції з цією новою можливістю. Комахи застрягли в палеозої.

Так, принаймні, я завжди сприймав традиційну версію подій із підручника. У траві сидів коник, потім прийшла жаба. Уявіть собі, уявіть собі - і з'їла коваля. Палеозойська ера добігає кінця, кістяна спина приходить на зміну хітиновому панциру.

Але чи перемогли ми комах?

З одного боку, ми прийшли в їхній дім і грізно встали на вершині екологічної піраміди. Це таке графічне зображення харчового ланцюга: в основі піраміди рослини, над ними травоядні, над ними хижаки, а зверху в підручниках раніше обов'язково малювали людину з гарпуном. Так чи інакше, комахам до хребетних не дотягнутися. Начебто перемога.

З іншого боку, комахам загалом до хребетних немає жодного діла. Навіщо їм до нас дотягуватися? Навіть незважаючи на грандіозне збільшення біомаси наземних хребетних за рахунок людини і худоби, ми залишаємося меншістю у світі жуків, мух і гусениць. Їх набагато більше за всіма статтями. Вони чудово живуть і вкрай успішні. Хребетні, звичайно, ними харчуються, але в більшості випадків для них це далеко не головна турбота.

Хто взагалі сказав, що опинитися на вершині екологічної піраміди - це перемога? Хижак, взагалі то, бути важче, ніж травоядним. Що далі від первинного джерела їжі - фотосинтезу, - то більше енергії з цієї їжі втрачається. Ось було, припустимо, 100 т трави. Цієї трави достатньо для підтримання життєдіяльності, скажімо, 10 т зебр, а вони, своєю чергою, прогодують лише тонну левів (тому це і піраміда, а не стовп). Тобто при перетворенні трави на лева втрачається значна частина енергетичної цінності фотосинтезу. Тому загалом у природі що вищий щабель піраміди, то більша конкуренція. Щоб вижити, леву потрібно бути найшвидшим левом, а зебрі потрібно просто не бути найповільнішою зеброю. Піраміда - лише символ, який можна з таким самим успіхом перевернути, і тоді ми будемо не на вершині екологічної піраміди, а на дні екологічної ями. Це навіть краще відображає суть питання: що глибше - то далі від сонця.



Человек с рюкзаком на дне экологической ямы

Можна сказати, що ми стали великими і таким чином перемогли комах, а можна сказати, що через непереможність комах у їхній ваговій категорії нам довелося відростити дорогі гігантські тіла. У маршрутах проходження органічної речовини екосистемою немає переможців або переможених - є просто можливості, реалізовані одними або іншими істотами.

У цьому, мабуть, головний урок усієї авантюри життя на суші. На перший погляд, немає нічого більш протиприродного, ніж життя поза водою. Але в житті немає правил, є тільки можливості та їхня реалізація. Життя просочується всюди, куди воно принципово може просочитися. Якщо існує нереалізований спосіб бути, то рано чи пізно життя його знайде. Ніхто наперед не знає, через яку тріщину воно просочиться і як потече далі, але, одного разу знайшовши лазівку, життя вже не повертає назад. Тому ми всі платимо за повороти долі своїх предків: і морська черепаха, що закопує яйця в пісок, і нещасний ананас, який фотосинтезує під палючим сонцем, і бабка в дзьобі чаплі, і ми, люди, зі своїм катастрофічно дорогим організмом.

Людина - це звучить гордо. Але за цю гордість - колосальну в розмірах, блискавичну в рухах, розпечену до біохімічних меж розумну машину власного тіла - ми дорого платимо. Скільки часу, сил і ресурсів іде на вирощування всього однієї повноцінної нової людини? За той самий час тисяча поколінь комах встигає народитися, прожити життя, залишити потомство і померти.

7. Коли закінчується світло

Білоглаза чудь далі смерті не хоче поглянути.

Шкода, блюдець повно, тільки нема з ким стіл повернути,
щоб спитати з тебе, Рюріку.

Йосип Бродський. Кінець прекрасної епохи

Уявіть собі динозавра в природному середовищі існування.

Уявили? Добре. Спробую вгадати картинку у вас перед очима.

Готовий посперечатися, що ваш динозавр стоїть на двох ногах, як тиранозавр або велоцираптор. Якщо ви уявили щось чотирилапе і рогате на кшталт трицератопса або довгошиє на кшталт диплодока, тисну вам руку, ви великий оригінал. Хвіст вашого динозавра, ризикну припустити, спрямований донизу, а то й зовсім лежить на землі, утворюючи щось на зразок третьої ноги. Шкіра в нього, я гадаю, гладенька й луската, як у змії. Взагалі найбільше він нагадує гігантську ящірку в позі "служити".

Озираємося навколо. Світить яскраве сонце, правильно? Б'юся об заклад, що навколо густий тропічний ліс. Хто в цьому лісі живе? Ймовірно, інші динозаври. Хто літає в небі? Птеродактиль. Хто плаває в морі? Іхтіозавр. Я не знаю меж вашої фантазії, але для більшості людей світ динозаврів - це річ у собі. Період в історії планети, населений виключно великими ящерами. Цей період відомий кожному школяреві під назвою юрського. І кожному ж школяреві відомо, чим юрський період закінчується: вимиранням динозаврів, за яким слідує поява людини.

Цей образ - сплав наукової реконструкції, голлівудського монстра і дитячого мультфільму. У ньому маса неточного і неоднозначного. Наприклад, хвіст у тиранозавра, який біжить, не звисав донизу, а стирчав паралельно до землі або навіть догори¹, 2. Шкіра у більшості динозаврів була не голою, а вкритою пухом або пір'ям³, 4. Іхтіозаври та птеродактилі - не динозаври⁵. Юрський період - тільки середній із трьох періодів справжнього

"століття ящерів", мезозойської ериб. Але головне, чого бракує усередненому культурному образу епохи динозаврів, - це нас.

Людина - ссавець. Ссавці - це зовсім не нащадки динозаврів. На еволюційному дереві не провести прямої лінії від велоцираптора до людини. Але від когось же ми походимо, і цей хтось мав існувати до динозаврів і якимось чином пережити все їхнє царювання, щоб потім, після їхнього вимирання, породити на світ нас. Раз ми в підсумку виявилися сильнішими за динозаврів у гонці за виживання, що завадило нам з'явитися до того, як вони взагалі виникли?

І не князя будити, динозавра

У минулому розділі ми обговорили витоки нашого наземного родовету. Він походить від риб, які в девонський період палеозойської ери ("девон - риби геть") вилізли на сушу і стали наполовину сухопутними амфібіями. Через мільйони років серед амфібій з'явилися амніоти - завдяки своєму водонепроникному яйцю перші по-справжньому наземні хребетні. Усе це сталося задовго до появи динозаврів. Навколо літали гігантські бабки. Повітря було наповнене киснем.

У цьому розділі древо хребетних продовжуватиме гілкуватися, породжуючи нові групи в межах груп у межах груп у межах груп - так уже влаштована еволюція. Щоб за цими групами було простіше встежити, потрібна хороша аналогія.

Так от, припустимо, що наземні хребетні - це династія Рюриковичів. Не дивуйтеся, зараз усе стане зрозуміло.



Риба з м'язистими плавниками, яка вперше заповзла на берег у пошуках здобичі або переправи, була таким собі Рюриком, засновником династії наземних хребетних. Через мільйони років один з її земноводних нащадків - подібно до Володимира Великого, який прийняв візантійську віру, - винайшов повністю наземне амніотичне яйце.

Наш останній спільний із динозаврами предок у підручнику історії йшов би наступним, тож назвемо його Ярославом Мудрим. Як саме виглядали ці наші пращури, невідомо, але найімовірніше, як жабоящірки. Оскільки Ярослав Мудрий був амніотом, тобто повністю сухопутним хребетним, це вже була точно не жаба і не жаба. Але його найближчі відомі родичі серед амфібій були невеликими комахоїдними тваринами на кшталт ящірок, тож і праатько амніотів, напевно, виглядав схоже⁷.



Владимир Волский

Пермський період, останній у палеозої, - це як останній сезон майже будь-якого драматичного телесеріалу: ясно, що буде погано, незрозуміло тільки, як саме. Ідилія райського саду з бабками починає руйнуватися вже в останніх серіях попереднього сезону - кам'яновугільного періоду.

У кам'яновугільний період, він же карбон, суша в районі екватора була вкрита безперервним поясом теплих, вологих джунглів. Там переважали комахи, а серед хребетних основною групою були амфібії, добре пристосовані до життя в калюжах і болотах. Але до кінця карбону клімат став змінюватися, стаючи більш сухим, що призвело до колапсу цього тропічного лісу. Безкраї джунглі розпалися на дрібні ліси, розділені малоприсадними для життя лисинами. Колись єдина імперія суходолу роздробилася на дрібні князівства, кожне з яких боролось за власне виживання в умовах мінливого середовища^{8, 9}.

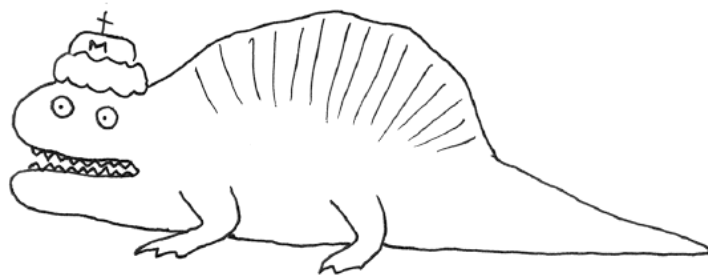
У цей момент, коли наприкінці карбону безперервний вологий ліс роздрібнився на дрібніші й сухіші, настав час амніотів. Спочатку Володимира Великого, а за ним Ярослава Мудрого. Зі своєю здатністю переносити сухі умови амніоти до кінця палеозою витісняють амфібій, прив'язаних до води. Ті вже ніколи не досягнуть колишніх розмірів і різноманітності.

І ось головна причина, з якої я ввджу цю аналогію з Рюриковичів. Онуки справжнього Ярослава Мудрого, як відомо знавцям вітчизняної історії, розділилися на два клани, що вічно воюють між собою: Мономашичів і Ольговичів. Точно так само і нащадки "жабоящірок", що панували в карбонівому лісі, до кінця палеозою розділилися на два клани.



Ярослав Мудрий

Ці клани, що зародилися ще в палеозойську еру, існують і донині. Як ми побачимо, їхнє протистояння, що триває сотні мільйонів років, багато в чому визначило виникнення і предків людини. Ми, люди, як і всі інші ссавці, належимо до першого з двох кланів. До нього ж належать найдавніші з великих ящерів. Динозаври, що виникли пізніше, а також сучасні птахи і рептилії (ящірки, черепахи, крокодили) належать до другого клану.



Палеозойський синапсид



Палеозойський зауропсид

Перший клан, до якого належимо ми, має назву синапсид (Synapsida). Другий - зауропсид (Sauropsida). Синапсиди - це Мономашичі, а зауропсиди - Ольговичі. Початкову першість серед двох цих гілок у карбонівий період, останній у палеозої, однозначно захоплюють синапсиди, тобто Мономашичі.

Дірка в голові

Оскільки про стародавніх хребетних ми знаємо майже винятково за кістками, вся їхня класифікація ґрунтується на дірках у черепі, формі таза і тому подібних відмінних ознаках. Називаються вони теж найчастіше за цими кістяними відмінностями. Аж до Ярослава Мудрого у хребетних були важкі черепи, що покривали голову суцільною бронєю. Серед амніот набувають популярності легші, хитромудрої форми черепи з отворами і дугами¹⁰.



Першими з дірявим черепом починають експериментувати синапсиди, тим самим відокремлюючи себе від сестринської групи зауропсид. Можливо, в цьому і є причина домінуючого становища синапсид серед амніот протягом карбонового періоду. Слово "synapsida" позначає наявність у черепі цих тварин виличної дуги - кісткової структури, що обрамляє дірку позаду ока. Спочатку ця дуга була просто наслідком появи отвору, але в людини він давно зник, а ось дуга збереглася, хоч і хитро вигнулася. Ви можете намацати її у себе в вилиці над нижньою щелепою (найпростіше це зробити, знайшовши зображення людського черепа в інтернеті).

З одного боку, дірка в черепі, винайдена родоначальником синапсид (Мономахом), полегшила нашим предкам їхній важкий череп, який становив левову частку маси скелета, і, отже, дала змогу швидше рухатися. З іншого боку, до дуги, що утворилася, стало зручно прикріплювати жувальні м'язи, що, як неважко здогадатися, допомогло синапсидам жувати¹¹.

Не буде перебільшенням сказати, що ми, синапсиди, осягнули жування у всіх його проявах.

Синапсидам належить честь у черговий раз (слідом за ранніми еукаріотами та медузоподібними тваринами) винайти хижацтво^{11, 12}. Цього разу мається на увазі здатність наземної тварини харчуватися іншою твариною такого ж, а інколи й більшого розміру - порівняйте, наприклад, розміри вовка і буйвола. Аж до цього моменту хребетні панували над комахами завдяки своїм велетенським габаритам. Тепер же розмір перестав бути гарантією безпеки: зубасті гіганти доростили щелепи до того, що замахнулися одна на одну.

Зубастим синапсидам карбонового періоду приписують ще одну, менш бруталну, але не менш важливу заслугу. Серед них уперше в родоводі хребетних з'явилася травоїдність¹³.

Як це не дивно, з фізіологічної точки зору травоїдність - непросте підприємство¹⁴. Здавалося б, що може бути більш притаманне тваринам, ніж поїдання рослин? Зелене царство - це найбільший запас їстівної енергії у світі. Їж не хочу. Але далеко не всю енергію, наявну в тілі рослини, може з нього витягти тіло тварини. Спробуйте з'їсти поліно.

Принципове обмеження, що ускладнює для нас, тварин, перетравлення рослин, полягає у відсутності ферментів, здатних розщеплювати целюлозу. Це головний компонент їхньої клітинної стінки і хімічна основа більшості рослинних волокон, включно з волокнами паперу і так званою клітковиною (строго кажучи, це взагалі все рослинне, що ми не можемо перетравити). У поліні, щоправда, є ще лігнін - зовсім вже непробивний органічний полімер, що склеює волокна целюлози в міцну структуру, яка нагадує залізобетон. Але целюлози та її похідних значно більше за масою¹⁵.

Фермент для перетравлення целюлози - целюлаза - зустрічається у бактерій. Майже всі відомі травоїдні виживають за рахунок наявності у них цих бактеріальних симбіонтів, які розщеплюють за них рослини. Тобто харчуються вони, строго кажучи, не рослинами, а продуктами бродіння цих рослин у себе в шлунку, що не дуже ефективно: істотна частина продуктів бродіння випаровується у вигляді газів.

ДО РЕЧІ

У жуйних, сучасних експертів у травоїдній справі, все влаштовано ще більш дивно. Корови харчуються навіть не просто бактеріальним супом, а інфузоріями, складними волохатими одноклітинними, що населяють рубець, відділ коров'ячого шлунка. Ці інфузорії, як це не смішно, теж не вміють перетравлювати целюлозу і користуються для харчування все тими ж бактеріальними симбіонтами, яких носять усередині своєї клітини. Таке багаторазове перетворення енергії означає багаторазові ж втрати енергії, що набагато менш ефективно, ніж якби у корови просто була власна целюлаза.

Взагалі то, це дивно. Принципово корова могла б розщеплювати целюлозу без жодних бактерій і зайвих газів, як ми перетравлюємо крохмаль (хімічно ці речовини дуже схожі). Здавалося б, ось типовий приклад складної, але проте очевидно розв'язуваної проблеми. Рішення дасть будь-якій тварині колосальну перевагу. Яка тварина, крім людини на дієті, відмовиться від засвоєння калорій у найпоширенішому харчовому продукті світу? Травоїдність в існуючому вигляді, з бактеріями і повільним бродінням, пов'язана з безліччю труднощів: вона вимагає особливих

зубів, особливого кишківника, гігантського шлунка, здатного вмістити велику кількість їжі, і постійного, безперервного, монотонного поглинання їжі.

. "Що робив слон, коли прийшов Наполеон?" - запитує дитяча загадка. Слон щипав траву, тому що суто статистично будь-яка травоядна тварина проводить більшу частину свого життя щось жує. А все через нездатність нормально розщеплювати целюлозу. Проте навіть сьогодні практично всі травоядні в цьому принциповому аспекті своєї життєдіяльності покладаються виключно на бактерії. Чому ж еволюція не вирішила цю проблему раз і назавжди?



Я затримуюся на цьому моменті, бо, на мій погляд, він укроті ілюструє ціну еволюційних інвестицій - плату за рішення предків, яка лежить на кожній живій істоті. Винаходи у сфері обміну речовин - як розкрити молекулу, як добути енергію, як знешкодити кисень - потребують саме бактеріальної еволюції, можливості перебрати за добу тисячу поколінь і випробувати тисячу випадкових варіантів. Тварини, особливо хребетні, такі складні істоти, що вони не можуть собі дозволити експериментувати з чимось настільки малоймовірним, як винахід нового ферменту. Їхня еволюція майже завжди спрямована на нові форми та комбінації вже наявних молекул і клітин. Щоб створити щось нове на молекулярному рівні, їм набагато простіше вдатися до допомоги бактерій, встановлюючи їх у свій організм як готові метаболічні блоки, що перетравлюють целюлозу, виготовляють вітаміни, знешкоджують токсини тощо.

Чому у корови немає целюлази? Мабуть, тому що предки всіх тварин - губки - харчувалися бактеріями, у яких немає целюлази. А до того моменту, як тварини стали поїдати рослини, вони вже були занадто складними, щоб винаходити нові ферменти.

Загалом, синапсиди - вони ж Мономашичі, наша власна гілка амніот, - ще наприкінці палеозойської ери створили модель того, що надалі отримає назву "мегафауни". Це світ гігантів та їхніх складних взаємовідносин. Якщо раніше великі хребетні були захоплені тим, що поїдали дрібних комах, то тепер на перший план стали виходити внутрішні чвари серед цих величезних тварин. Мегатравоядні, ходячі фабрики бродіння трави, досягають гігантських розмірів: величезний, кремезний естемменозух, наприклад, і зовнішнім виглядом, і способом життя нагадував бегемота, тільки з масивним хвостом і ріжками, як у Шрека. Паралельно виникають мегахижаки, які переключаються з гусениць і жуків на цю нову, надпоживну здобич - жирного Шрека, що сидить у річці. Наприклад, горгонопси нагадували шаблезубих кішок зі злегка зміїними обрисами зубастої голови. Загалом, виникають усі елементи знайомої нам живої природи, власне піраміда з кількох рівнів схожих істот, що поїдають одна одну, - і верхні яруси цієї піраміди посідають не динозаври, а синапсиди, наші близькі родичі.

Подорожуючи на туристичній машині часу, свою другу, після епохи гігантських бабок, зупинку я зробив би саме в цьому світі. На жаль, ця перша, палеозойська, версія мегафауни проіснує недовго. Мономашичів чекають важкі часи.

ДО РЕЧІ

Особливість усього викопного полягає в тому, що воно, на відміну від невикопного, не має традиційних назв (типу "кішка" або, скажімо, "Велика Вітчизняна війна"). Це дає палеонтологам масу приводів відзначитися. Якщо вченому випадає шанс виявити й назвати, припустімо, цілого великого зубастого звіра, це створює і спокуси, і креативні можливості (з подібним стикаються ще дослідники мікроорганізмів і комах, серед яких нового завжди вистачає). У підсумку виникають такі чудові казуси, як шаблезубий горгонопс православлевія (названий на честь

професора П.А. Православлева, який його описав), який, зазначимо, входить до Соколковського комплексу пізньонататарської епохи северодвінської фауни разом з іншим горгонопсом: іноземцевією. Цю саму іноземцевію, звісно, названо на честь російського геолога А. А. Иностранцева, а геологічні періоди зазвичай названо за місцем розкопок, але, погодьтеся, складно не побачити драми народів у суперництві іноземцевії та православлевії в пізньонататарську епоху.

П'ятсот Помпей

Плато Путорана на північному заході Середньосибірського плоскогір'я - серед найвіддаленіших і диких місць у світі. Дороги туди не ведуть, мобільного зв'язку немає, з людей туди їздять лічені сотні туристів на рік. Як завжди в таких випадках, з одного боку, радує, що таке місце залишається загубленим і недоторканим, але, з іншого боку, страшенно прикро, що про приголомшливу красу такого масштабу майже ніхто не знає. Путорана - це сибірський Великий Каньйон, одними своїми пейзажами гідний такої ж світової слави. Але це не просто мальовниче місце, а наріжний камінь епох, що відіграв центральну роль в історії життя на Землі^{19, 20}.

З космосу видно, що Путорана - засніжене нагір'я, в яке, як коріння рослини, густо розгалуженими тріщинами проростають численні долини. Це розломи базальту, затверділої вулканічної магми, з якої складається плато. Путорана належить до геологічної формації під назвою Сибірські траппи. Трапп - це "провінція вулканів", результат масштабного, катастрофічного виливу лави протягом дуже довгого часу. У даному випадку лава протягом мільйона років розливалася територією розміром із Західну Європу, утворивши в підсумку одне з найбільших базальтових відкладень у світі.

Уявити таку подію непросто. Я подумки вимірюю виверження вулканів в "Останніх днях Помпеї". На цьому великому і, безсумнівно, науково достовірному полотні Карла Брюллова античні білі статуї падають до білих стін античних палаців, а античного вигляду біляві немовлята і вершники на білих конях гинуть у чорно червоній заграві палаючого Везувію. Дуже страшно. Можна піти до Російського музею і, стоячи перед цією картиною, уявити, що весь цей жах (що трапився у 79 р. від Різдва Христового) триває й досі, причому на території, скажімо, всієї Італії, і триватиме ще стільки ж, і так ще 500 разів.

Сибірські траппи - надгробний камінь палеозойської ери. Колосальне виверження цієї вулканічної провінції призвело до вимирання істотної частини життя на землі. Саме це вивело на світову сцену доти малопомітну групу амніотів під назвою архозаври, до яких належать більшість знаменитих мезозойських "заврів". Серед них і та сама гілка, відома кожному школяреві: динозаври.

Усім відомо, що історія динозаврів закінчується їхнім вимиранням. Далеко не так широко відомо, що починається вона теж із вимирання, причому значно більшого. У нього кілька назв: пермська катастрофа, пермо-тріасова межа (за назвами граничних періодів палеозойської та мезозойської ери) або просто Велике вимирання.

Помста Ольговичів

Пермська катастрофа - подія таких масштабів, що простих і зрозумілих причин і наслідків у неї немає і бути не може. Невдачливі тварини і рослини, що опинилися поблизу від виверження вулканів, звісно, загинули швидко. Але решта життя на планеті не стільки звалилася, скільки зів'яла - поступово, повільно і трагічно. Про те, як саме відбувався цей процес, досі точаться суперечки. Зрозуміло, що вулкани виверглися і що в підсумку палеозойське життя загинуло. Що ж стосується послідовності подій, що пов'язують Сибірські траппи з Великим вимиранням, тут ясності мало. Можливо, всьому виною глобальне потепління, викликане підземними газами, почорнілим небом і нескінченними пожежами, сліди яких видно в геологічному літописі²¹. Можливо, закислення океану вулканічними газами²². Можливо, різкий викид в атмосферу метану, чи то з суто фізичних причин²³, чи то через чергового мікроба, який зіпсував повітря²⁴.

ДО РЕЧІ

Крім зв'язку вулкана з подальшим масовим вимиранням, є питання і до самих вулканів. Здавалося б, виверження відбуваються випадково і непередбачувано, тому ніяких таємних сил за виверженням Сибірських траппів бути не може. Однак є низка фахівців, які доводять, що в усьому винен метеорит, який вдарив у південну півкулю планети - майбутню Австралію або Антарктику^{25, 26}. Від потужного зіткнення земна кора нібито лопнула з протилежного боку, що й призвело до вулканічної катастрофи. У це вірять далеко не всі, бо однозначних слідів такого метеорита у викопних пермського періоду не виявлено. Деякі вчені, втім, стверджують, що сліди існують: в антарктичних відкладеннях відповідного часу знайдено сліди благородних газів, за деякими ознаками схожих на інопланетні²⁵. Тож не виключено, що в кінцевому підсумку Велике вимирання має космічні витоки.

Як війна між двома народами відбувається не з волі одних правителів, а з огляду на весь історичний процес загалом, так і будь-яке масове вимирання не відбувається з однієї причини. Палеозой рано чи пізно повинен був

закінчитися, чудовий студент рано чи пізно докурить свої цигарки, і якби не виверглися Сибірські траппи, то врешті-решт їхню роль зіграло б щось інше.

Це ясно хоча б тому, що ознаки кінця світу за бажання можна було помітити задовго до виверження вулканів. Першим був колапс кам'яновугільних джунглів, осушення і дроблення єдиного вологого лісу. З падіння цього райського саду почалося царювання повністю наземних хребетних, амніот. Другим було різке зниження концентрації кисню в атмосфері. До кінця карбону вміст кисню в повітрі впав більш ніж наполовину порівняно з розкішним карбоновим періодом: у ті часи кисень становив до 30 % атмосфери, а наприкінці палеозою всього 13 %²⁷. Величезні ділянки суші - все, що хоч трохи піднесено над рівнем моря, - ставали незаселеними тому, що там не було чим дихати.

Причини цієї кисневої кризи пов'язують зі зниженням відкладень кам'яного вугілля, що дали назву кам'яновугільному періоду. Рясні дні карбону були чимось на зразок кисневої фінансової піраміди. У звичайних умовах рослини перетворюють вуглекислий газ на біомасу, виділяючи при цьому кисень, а тварини, гриби і бактерії потім перетворюють біомасу назад на вуглекислий газ, кисень при цьому споживаючи. Якщо все збалансовано, то вміст кисню і вуглекислого газу в атмосфері не змінюється. Але в болотах карбону напрацьована фотосинтезом біомаса, замість того щоб поїдатися тваринами або перероблятися грибами, відкладалася у формі вугілля у величезних, планетарних масштабах. Це було викликано, по-перше, відповідними кліматичними умовами, а по-друге, появою у рослин деревини, яку ще складніше перетравити, ніж просто целюлозу. Зрештою гриби, наприклад, винайшли відповідні ферменти і навчилися розкладати дерево, але в кам'яновугільний період вони цього робити ще не вміли, тож рослини залишалися неперетравленими²⁸.

Оскільки на кожну молекулу нез'їденої біомаси в атмосфері залишалось кілька молекул невитраченого кисню, це призвело до його поступового накопичення. Цим і пояснюється кисневе багатство карбону, а з ним - нечувана різноманітність і розміри тварин цього періоду. Коли клімат змінився і болота осушилися, біомаса перестала в них відкладатися і натомість почала поступово окислюватися, що призвело до падіння рівня кисню і зникнення гігантських комах. Цікаво, що сьогодні, спалюючи кам'яне вугілля на електростанціях, ми ніби доводимо цей процес до його логічного кінця.

Усі ці передвістя катастрофи сталися задовго до того, як виверження Сибірських траппів поставило крапку в літописі палеозою. Причина Великого вимирання - не вулкани і не метеорити, а просто кінцівка всього матеріального. У протистоянні цій кінцівці - вся суть життя на Землі.

Через мільйони років пожежі згаснуть, а небо проясниться. Сонце засяє, як раніше, моря знову наповняться рибою, а на сушу повернуться ліси і нові види тварин. Знайомий доісторичний пейзаж із диплодоками в тропічному лісі належить до цього далекого майбутнього юрського періоду. Але коліска великих ящерів, грізних динозаврів мезозойської ери, - це не Едемський сад, а чорно червона безвихідь карбонової катастрофи. Саме Велике вимирання дозволило зауропсидам Ольговичам восторжествувати над синапсидами Мономашичами.

Бридкі лебеді

Про динозаврів, порівняно з більшістю тварин, які колись населяли нашу планету, ми знаємо дуже багато: по-перше, кістки добре зберігаються в скам'янілій формі, а по-друге, це всім цікаво. Проте наше уявлення про те, який вигляд вони мали, досить умовне.

На картині "Останній день Помпеї" античні статуї, повалені Везувієм на землю, зображені невинно білими. Ми в принципі уявляємо стародавніх римлян і греків здебільшого в білих декораціях - так для нас виглядає їхній античний світ. Насправді, це уявлення хибне: просто фарби за тисячі років стираються і блякнуть, тому до нас часто доходить тільки білий камінь. У давньогрецькому та давньоримському мистецтві сміливо використовували яскраві фарби - деякі більш достовірні сучасні репродукції цих творів узагалі мають вигляд дитячої розмальовки^{29, 30}. Здебільшого наша асоціація білизни з "чистотою" античної скульптури сформована епохою Ренесансу, яка, наслідуючи це хибне уявлення про давніх римлян, кодифікувала квазіантичну естетику у формі голого мармуру Мікеланджело.

Свою чудову книгу "Все вчора" (All Yesterdays) палеозоолог Даррен Нейш і палеохудожники Джон Конвей і Севдет Мехмет Козмен ділять на дві частини: "Все вчора" і "Все сьогодні"³¹. У першій вони уявляють динозаврів, якими ті могли б бути - не тому що є докази, що протоцератопси вміли лазити по деревах, качкодзьобий динозавр був товстим, як поросся, а плезіозаври маскувалися під корали, а тому що таке в принципі можна уявити на основі наявних скам'янілостей - адже ані поведінка, ані жирова тканина, ані забарвлення не зберігаються у скам'янілостях. Немає жодних причин, чому в динозаврів не могло бути химерних орнаментів, неочікуваних шлюбних ритуалів, різнокольорового пір'я або просто частин тіла, які до нас не дійшли. Наприклад, якби ми відкопували не динозаврів, а носорогів чи оленів, ми б нічого не знали про їхні роги, бо ті складаються не з кісток, а з кератину, як волосся і нігті. Друга частина книжки - "Все сьогодні" - якраз про це: вона складається з реконструкції сучасних тварин, наче б їх відновлювали археологи майбутнього. Найстрашнішим звіром на підставі одного скелета

виявляється гіпопотам, корова перетворюється на граціозну антилопу, а огидні лебеді своїми довгими, загостреними передніми лапами протикають дрібну здобич.

Загалом, реконструкції динозаврів (як і античного світу) завжди були і залишаються частково фантазією художника. Що, втім, не заважає нам поступово підвищувати в них частку достовірності.

Динозаври набули популярності в середині XIX ст. Традиційно їх вважали повільними, неповороткими, тупими, холоднокровними створіннями. Скульптури Бенджаміна Вотерхауса Хокінса в лондонському Кристал Палас парку, наприклад, зображують динозаврів великими, товстими ящірками на слоноподібних ногах². Власне, і слово "динозавр" означає "жахлива ящірка".

Цей вікторіанський образ різко змінився в другій половині XX ст. багато в чому завдяки одному динозавру, дейноніху, і одній людині, американському палеонтологу Джону Острому. Скелет дейноніха на початку 1960-х рр. йому показав інший палеонтолог, Барнум Браун. Вдивившись у тонкі, витончені обриси динозавра розміром із дорослого чоловіка, Остром замислився над тим, що взагалі являла собою ця група тварин. Дейноніх був зовсім не схожий на повільну ящірку або сонного крокодила. Він виглядав легким, рухливим, спритним, майже стрибучим, з гострими зубами і величезними пазурами, готовим швидко мчати за жертвою, що тікала. Острома осінило: перед ним зовсім не "жахлива ящірка", а щось зовсім інше - жахливий птах.

Сьогоднішній образ динозавра - це багато в чому наслідок культурного шоку, спричиненого в 1993 р. фільмом "Парк Юрського періоду". За сюжетом учені воскрешають динозаврів, виділивши їхню кров із комара, застиглого в бурштині, і клонувавши звідти ДНК. Насправді таке неможливо з цілої низки причин: по-перше, комахи в бурштині не стільки застигають, як у льоду, скільки розчиняються, як у кислоті, залишаючи тільки тверді частини (щоправда, ті доходять до нас у чудовій формі, тож бурштин - все одно безцінне вікно в минуле). По-друге, ДНК як макромолекула в принципі не зберігається стільки часу. Сьогодні вчені регулярно б'ють рекорди стародавності ДНК, виділеної з якихось неандертальських кісток, але йдеться максимум про кілька сотень тисяч років. Тимчасову межу збереження ДНК оцінюють у 0,4-1,5 млн років³², а від заходу динозаврів нас відділяє 65-66 млн років. Тож якщо клонування мамонта уявити цілком реально³³ (він жив лише кілька тисяч років тому), то відтворити сюжет фільму навряд чи можливо.

Для автора "Парку Юрського періоду" Майкла Крайтона саме дейноніх, той самий динозавр, що надихнув Джона Острома, став прототипом одного з персонажів майбутнього блокбастера, що найбільше запам'ятовується: велоцираптора³⁴. Справжні велоцираптори були дрібнішими і мали б не дуже страшний вигляд, але в іншому ці види схожі, через що у фільмі сталася плутанина в назвах, і в народній свідомості дейноніхи стали велоцирапторами. Так чи інакше, від "пташиного" осяяння Джона Острома до фільму 1993 р. можна провести пряму лінію.

На підставі своїх спостережень Остром висловив революційне для свого часу припущення, що птахи - це і є динозаври. Зоологи до того моменту знали, що птахи походять від якихось плазунів (рептилій). Але мало хто бачив у них прямих нащадків знаменитих мезозойських ящерів. Саме це доводив Остром, посилаючись на масу подібностей між сучасними птахами і викопними динозаврами.

Остром виявився правий. Сьогодні спорідненість птахів і динозаврів - встановлений факт. За останні десятиліття з'ясувалося, що багато динозаврів були швидкими, спритними¹, різнокольоровими³⁵, можливо, розумними³⁶, можливо, навіть теплокровними, як птахи³⁷. Деякі дбали про потомство³⁸, ³⁹ і один про одного (судячи зі слідів загоєння важких травм)⁴⁰, вили гнізда⁴¹, спілкувалися звуками (а може, і чимось на кшталт пісень)⁴², лазили по деревах⁴³. Більшість динозаврів, згідно з сучасними уявленнями, були вкриті не гладкою зміїною шкірою, а пір'ям або, принаймні, пухом⁴⁴. У багатьох були дзьоби⁴⁵. Власне сучасні птахи - це одна з груп динозаврів, яка пережила вимирання більшості своїх родичів. Птахів від решти динозаврів відрізняє всього кілька просунутих особливостей⁴⁶, головна з яких очевидна: птахи вміють літати.

Джон Остром не просто зробив динозаврів рухомішими й ефектнішими. Він скасував їхнє вимирання. Динозаври не вимерли - вони досі повноправні й вельми успішні представники земної фауни. Якщо виключити людину і домашню худобу, то біомаса наземних хребетних приблизно порівну поділена між ссавцями і птахами⁴⁷. Мономашичі й Ольговичі продовжують ділити між собою планету, нехай і не зовсім на рівних умовах: усі сьогоднішні гіганти належать до ссавців, а динозаври після мезозою, як і комахи після палеозою, задовольняються зазвичай вельми скромними, пташиними розмірами.

"Пташина гіпотеза" Острома стала фактично повторним відкриттям динозаврів, яке спричинило бурхливу палеонтологічну активність, що її навіть називають "динозавровим ренесансом": учені кинулися з новим ентузіазмом відкопувати цих прискорених, птахоподібних ящерів. Особисто для мене цікавіший навіть не стільки той факт, що динозаври - це птахи, скільки той факт, що птахи - це динозаври. Відтоді, як я це остаточно засвоїв, я став інакше дивитися на орлів, папуг, шпаків, ворон. Мені приємно думати, що барвистий, чудернацький, музичний, повітряний світ цих надзвичайних істот дає нам можливість вдихнути мезозойське повітря, одним оком

поглянути на загублене, але, безсумнівно, настільки ж барвисте і безмежно різноманітне минуле. За це я вдячний тому тісному сплетінню науки і фантазії, яке являє собою мистецтво палеорекоконструкції.

Ну а що ж "Парк Юрського періоду"? Кумедно, що в 1993 р. фільм ішов у ногу з прогресивною наукою і саме тим підкорив серця цілого покоління. Але до 2019 р. "Парк" розрісся до франшизи індустріальних масштабів, і стандарти видовищності взяли гору над науковістю. "Наукові" динозаври з кожним роком дедалі більше нагадують гігантських злісних птахів. Але тиранозавр трясогузка і зубасті страуси виглядають, на жаль, не так брутално, як змієшкірий ящір, тож продюсери фільму залишаються вірними цьому застарілому образу двоногої ящірки. Хоча, на мою думку, з пір'ям було б куди цікавіше.

Мономах іде в тінь

Отже, у згарищах Великого вимирання гине палеозойська мегафауна. Серед жертв - споріднені нам синапсиди Мономашичі, перші справжні великі хижаки і травоїдні суші. Крихкий природний баланс, що підтримує амбітне існування цих величезних, енергетично дорогих тварин, порушується найлегше. Їм не вистачає їжі, води, кисню. Вони поступаються місцем видам дрібним, невибагливим, простим, всеїдним.

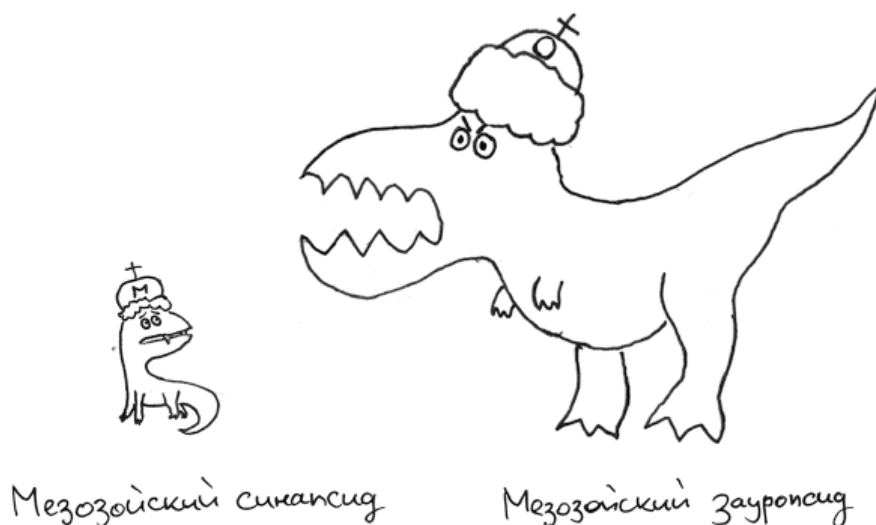
Серед жменьки Мономашичів, що вижили, опиняються лістрозаври, схожі на інопланетних свиней^{48, 49}. Вони набувають несподіваного поширення на перших етапах постапокаліпсису. Як миші на занедбаному горіщі, ці тупорилі істоти снують випаленою землею, вдихаючи рідке вулканічне повітря в легені, що розрослися. Судячи з незвичайної форми їхнього черепа ("лістрозавр" означає "лопатоящір"), вони добре рили землю і, можливо, навіть жили в тунелях, як кроти⁵⁰. Цікаво, що якщо в карбоні лістрозаври були розміром приблизно з велику свиню і важили близько 200 кг, то в тріасовий період, після Вимирання, вони зменшилися до розмірів середнього собаки і стали розмножуватися в більш юному віці⁵¹.

Така мініатюризація, або "ліліпут ефект", відображає загальну стратегію видів, яким вдалося пережити пермську катастрофу. Це стратегія скорочення витрат. В умовах кінця світу, коли ресурсів мало, а шанси раптово померти великі, велике тіло, що довго живе, - занадто велика розкіш для генів, які подорожують з ним крізь покоління. Вживають ті, хто знижує вартість організму і прискорює процес його відтворення.

Для нас цей "ліліпут ефект" має значення, тому що, крім лістрозаврів, схожим чином змінилася ще одна група Мономашичів, що вижила, - циноданти⁵². А це - наші прямі предки⁵³.

Циноданти, або "собакозубі", що нагадують страшнуватих великих щурів, теж істотно зменшилися в розмірах у результаті Великого вимирання. Як ми незабаром побачимо, цей від початку вимушений захід зрештою виявиться однією з принципів умов, що визначили наше походження. Серед цинодонтів ближче до кінця мезозою виникнуть ссавці (також відомі під простою, красивою і давньою назвою "звірі"). Після вимирання великих динозаврів вони зійдуть на вершину харчової піраміди і залишаться там до наших днів.

Але поки щуроподібні циноданти разом із всюдисущими лопатомордами лістрозаврами залишаються жалюгідною тінню колишньої величч синапсид, Мономашичів. На тлі згарища оживає інша гілка еволюційного древа амніотів - зауропсиди, Ольговичів, і головну роль серед них отримує досі малопомітна група архозаврів. До них належать і небесні птерозаври, і наземні динозаври.



Чому зауропсиди, і зокрема архозаври, досягли успіху саме після пермської катастрофи - одне з найнеоднозначніших питань зоології. Більшість підручників і статей здаються, обмежившись загальними фразами на кшталт "їм благоволили умови". Але що саме в цих умовах благоволило саме зауропсидам, а не синапсидам?

Чому зауропсиди вирости в розмірах і розплодилися в незліченних варіаціях, а синапсиди з шаблезубих гігантів перетворилися на щуроподібних ліліпутів?

Наздогнати і перегнати

Мабуть, найцікавіше в дихотомії зауропсид і синапсид - це те, що, незважаючи на давність цього розколу, обидві гілки протягом сотень мільйонів років залишаються разюче схожими одна на одну. Завдяки цьому то одна, то інша виходять вперед. Зазвичай великі еволюційні перемоги остаточні. У комах, наприклад, через суто фізичні причини просто не було шансів зайняти місце хребетних після того, як ті з'явилися на суші. Точно так само складно уявити, наприклад, щоб амфібії раптом здолали амніот. Але зауропсиди з синапсидами вічно дихають один одному в спину, і від цього їхня боротьба така захоплива.

Під час цього протистояння обидва клани за багатьма статтями ніби наслідують один одного. Синапсиди називаються синапсидами, тому що в них у черепі є дірка з дугою, куди кріпляться жувальні м'язи. На ранніх етапах розколу саме це їх і відрізняло від зауропсид, але незабаром і ті, ніби схаменувшись, стали прикрашати череп різноманітними дугами і дірками. Дійшло до того, що сьогодні в зауропсид змії увесь череп - одні суцільні дуги з дірками, а в синапсид людей цю нашу славнозвісну споконвічну дугу ще треба пошукати.

ДО РЕЧІ

Ті чи інші форми отворів у черепі позаду очей сьогодні є у всіх плазунів і птахів, за одним винятком: черепахи. Причому за сучасними уявленнями такий суцільний черепаший череп - це вторинне надбання, тобто походить він від дірявого черепа більш давніх зауропсид, а не навпаки (як вважалося раніше). Це кумедно: у черепахи, виходить, тяга до суцільної броні поширюється навіть на голову, нехай і на шкоду жувальним м'язам. Навіщо кусатися, коли ти - танк?

Інший приклад "наслідування" синапсид і зауропсид одна одній - це наші серця. У примітивніших у цьому сенсі видів, наприклад жаб, серце трикамерне: у ньому два передсердя, але всього один шлуночок. У людей (синапсид) і птахів (зауропсид) серце чотирикамерне. У чотирикамерному серці, на відміну від трикамерного, єдиний шлуночок розділений на два, завдяки чому артеріальна і венозна кров не змішуються. Це дає змогу повністю розділити так зване мале коло кровообігу (коло, в якому кров тече від серця до легень і назад, насичуючись киснем) і велике коло кровообігу (в якому кров тече від серця до решти тканин і назад, роздаючи кисень). У результаті досягається більш висока концентрація кисню в крові, а отже, підвищується ефективність дихання. Як і дуги в черепі, що підвищують ефективність жування, цю видозміну серця синапсиди і зауропсиди здійснили незалежно один від одного.



Таке явище називається конвергентною еволюцією. Дельфіни, наприклад, походять від наземних звірів, а іхтіозаври - від наземних ящерів, і ці їхні пращури не були схожі один на одного. Увійшовши у воду, і ті й інші за зовнішніми ознаками стали схожими на типових риб, причому майже однакових. Вони незалежно зійшлися на одній і тій самій ознаці: гідродинамічно обтічному тілі з плавниками. Це і є конвергентна ("збіжна") еволюція.

З майбутнього паралельні шляхи синапсид і зауропсид виглядають як протистояння двох держав, що наслідують одна одну в нескінченній гонці озброєнь. У цій гонці раніше попереду були синапсиди, але після Великого вимирання вперед вирвалися зауропсиди. Чим же пояснюється такий поворот подій у мезозойську еру? Чому Ольговичі після сибірської напасти поборили Мономашичів?

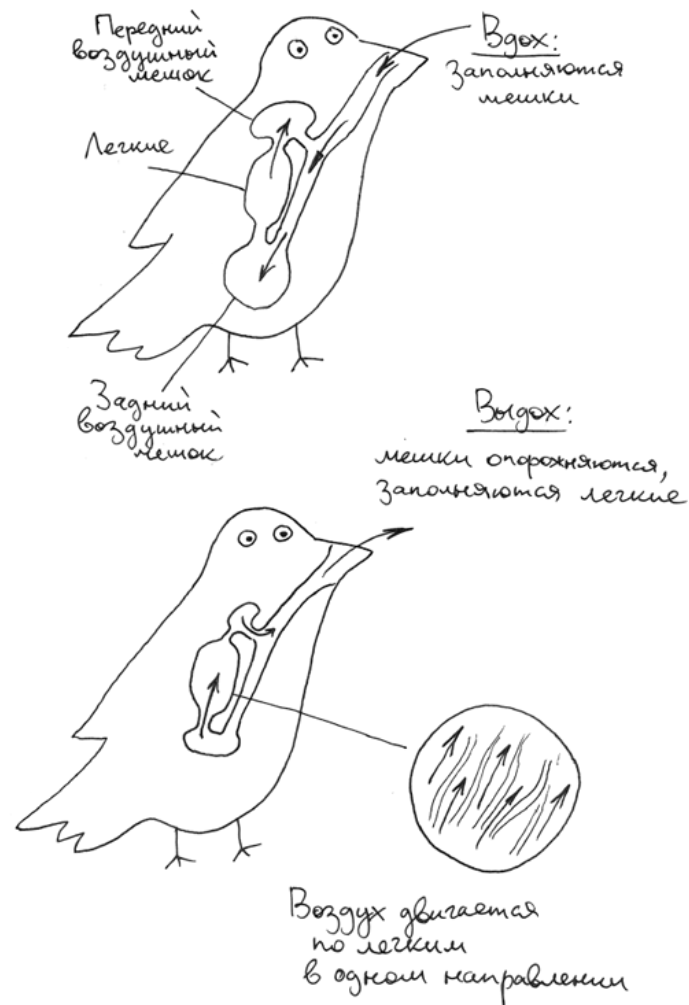
Відповідь залишається невідомою, але дещо зауропсидам вдалося реалізувати краще, ніж синапсидам, і в цьому може критися пояснення торжества динозаврів.

Повітряні зябра

Коли людина вдихає, повітря спрямовується всередину легень, тобто мішка, обплутаного кровоносними судинами. Кров відводить від легень кисень, і за секунду іншу людина видихає збіднене повітря у зворотному напрямку. Такий зворотний потік абсолютно марний у плані подальшого насичення крові киснем: видих потрібен тільки для того, щоб зробити новий вдих. Це прикра трата часу, що знижує сумарну ефективність дихання⁵⁴.

Дихання птахів працює дещо інакше. Замість того, щоб рухатися туди сюди, повітря тече в одному напрямку, з кожним вдихом і видихом поступово просуваючись по легенях. Фактично легеня перетворюється з мішка на замкнуту трубку, по якій повітря циркулює в одному напрямку, що досягається вбудованими повітряними мішками, які працюють як міхи. Завдяки цьому кисень всмоктується не тільки під час вдиху, а й під час видиху, безперервно. Такий удосконалений тип дихання називається подвійним.

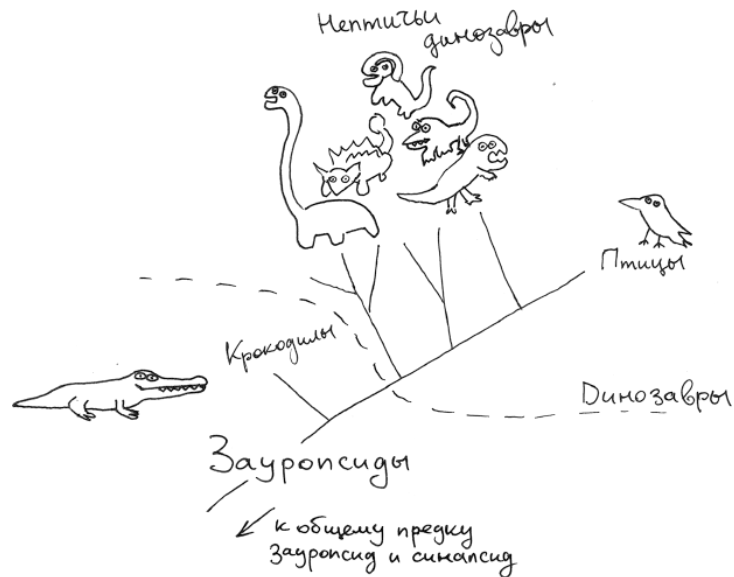
Легені птахів поєднують у собі переваги звичайних легень зі зябрами. У воді зябра хороші тим, що вони безперервно омиваються свіжою водою, тоді як легені потрібно накачувати і спорожнювати⁵⁴. У наземних тварин, як обговорювалося в минулому розділі, переважають легені, тому що в них краще утримується волога. Легені птахів дозволяють і по риб'ячому безперервно дихати, і по наземному боротися з висиханням. У результаті птах здатен за одиницю часу увібрати в себе більше кисню, ніж ссавець того ж розміру. Це легко продемонструвати, якщо помістити мишу (яка дихає звичайним способом) і горобця (який дихає подвійним способом) у гіпобаричну камеру, що імітує розріджене повітря на високій горі. При зниженні тиску до рівня, відповідного висоті 6100 м над рівнем моря, миша насилу повзає на череві, а горобець не просто добре почувається, а літає, як ні в чому не бувало⁵⁵.



Традиційно вважалося, що в цьому і є сенс повітряних мішків у пташиних легенях: вони допомагають літати. Політ - надзвичайно енерговитратний спосіб пересування, особливо важкий на великій висоті, тож цілком логічно, що він потребує суттєвих фізіологічних інновацій. Подвійне дихання в усіх підручниках описується як класичний приклад пташиної адаптації до польоту⁵⁶.

Але нещодавно подвійне дихання було виявлено у видів, які явно не роблять спроб злетіти: крокодилів. Виявляється, у них теж є повітряні мішки, які також качають повітря крізь легені в одному напрямку⁵⁷.

Саме по собі це, звісно, цікаво, але насправді справа тут не стільки в крокодилах, скільки в динозаврах. На еволюційному дереві крокодили і птахи - дві гілки, що вижили, які з двох боків примикають до вимерлих гілок мезозойських ящерів. Птахи - це останні динозаври, що вижили, а крокодили з усіх нині живих видів - найближчі до динозаврів не динозаври. Тому риси схожості між крокодилами і птахами становлять для еволюційних біологів особливий інтерес: якщо щось особливе є і в тих, і в інших, то, майже напевно, воно було і в гілках посередині, тобто і в диплодоків, і в велоцирапторів, і в усіх інших динозаврів.



Виходить, подвійне дихання - властивість не тільки птахів, а взагалі динозаврів⁵⁶⁻⁵⁸, а то й усіх зауропсид: після крокодилів воно було виявлено й у ящірок, ще більш далеких пташиних родичів^{58, 59}. Це означає, що легені з повітряними мішками повинні були з'явитися задовго до того, як пернаті навчилися літати. Доводиться зробити висновок, що так дихали і перші динозаври, які застовпили за цією групою домінуючу роль у мезозойську еру⁶⁰. Така здатність стала б дуже доречною в умовах катастрофічної нестачі кисню після Великого вимирання. Напрошується припущення, що подвійне дихання і було адаптацією до цих важких умов, що забезпечила динозаврам їхній мезозойський успіх.

Тобто, згідно з цією версією подій, причина висування Ольговичів на історичну сцену в момент, коли династія Мономашичів зазнала свого пермського краху, - це поліпшені стосунки з киснем, тим самим їдким газом, що вже не вперше вершить історію планети.

Культ Кисню

Життя зліплене з вуглецю, але править ним кисень, Шива руйнівник. У далекій, мікроскопічній, одноклітинній давнині бактерії, що фотосинтезують, уперше вилучили його з молекули води і тим самим переписали правила життя на Землі, спричинивши "кисневий голокост" (а може, як обговорювалося в главі 3, щось повільніше, на кшталт "великого кисневого заміщення"). Противники кисню були витіснені його адептами, серед яких найфанатичнішим за всіх був наш домен еукаріотів, взагалі нездатний існувати без дихання. Щоб підтримувати еукаріотичний організм, потрібно палити багато палива, а щоб щось спалити, потрібен Він.

Через сотні мільйонів років, що минули від походження перших еукаріотів, найзапекліші послідовники культу Кисню, тварини, були підняті своїм газоподібним покровителем на вершини еволюційної розкоші. Змагаючись одна з одною в майстерності видобутку і спалювання палива, вони відросли собі величезні, важкі, дорогі тіла, вічно спрагли до харчування і вогню.

Ніби розсердившись на них за цю жадібність, Шива Кисень відвернувся від життя, і життя знову підкорилося його волі.

Першими від нестачі кисню загинули гігантські комахи, бо вони зі своїм пасивним диханням найбільше залежали від настроїв атмосфери. Хребетні теж опинилися в ситуації збанкрутілих багатіїв: і старих звичок не позбутися, і новий бюджет не дозволяє розгулятися. Пермська катастрофа стала логічним кінцем природи, яка не обачно вважала свій запас кисню невичерпним. Ті, що залишилися в живих, боролися за кожну крихту енергії: як би побільше і краще вдихнути, звідки б викопати хоч якусь їжу. У цьому новому середовищі перевагу отримали зауропсиди - досі скромна група хребетних, що вміла дихати хитрим подвійним способом і отримувати в такий спосіб більше кисню.

Пермське вимирання однаково вразило всіх великих хребетних, тож на перших порах після катастрофи і зауропсиди, і синапсиди могли мати шанси піднятися на звільнену вершину екологічної піраміди. Чому ж тоді збільшилися в розмірах саме зауропсиди, а синапсиди зменшилися? Очевидно, для того щоб збільшитися, треба багато харчуватися. Щоб багато харчуватися, треба бути швидшим за всіх. Щоб бути швидшим за всіх, потрібні найпотужніші м'язи. До цього мали прагнути і синапсиди, і зауропсиди, тож у довгостроковій перспективі питання могло вирішитися різницею в частки відсотків швидкості чи сили. Подвійне дихання, що давало м'язам більше кисню, якраз і могло виявитися таким вирішальним фактором, через який синапсиди елементарно не могли наздогнати зауропсид. Це невелике прискорення відкрило зауропсидам шлях до престолу мезозойської ери. Для синапсид же настали темні віки.

Як і про комах, про динозаврів написано тисячі книжок, тож ми не будемо затримуватися на них надто довго. Для нас великі ящери важливі як головний фактор повсякденного життя наших предків протягом майже 200 млн років. У наступну, кайнозойську, еру, що триває до наших днів, ссавці вийдуть з тіні і триумфально займуть місце, звільнене вимерлими динозаврами. Але для цього їм знадобиться провести весь мезозой у боротьбі за виживання в чужому і нещадному світі.

У темряві

У мультфільмах про динозаврів нікого з наших предків немає, бо всю складність їхньої ситуації двома словами не поясниш. Про синапсид треба знімати повнометражне кіно, краще - кілька серій. Перша серія - про те, як жадібні багатії, палеозойські синапсиди, залишаються біля розбитого корита. Друга серія - про те, як бідні нащадки цих багатіїв, цинодonti, виживають у ворожому світі динозаврів. Третя - про те, як діти цих бідняків, ссавці, знову стають багатими, але не забувають свого минулого. Це не "Земля до початку часів", це "Хрещений батько".

Перша серія, тобто карбонова катастрофа і становлення динозаврів, проходить у декораціях вулканічного апокаліпсису. Друга серія - спокійніша, але не менш похмура тому, що вона майже цілком відбувається вночі. Тільки в третій серії ніч змінюється днем, і світ набуває знайомих нам, людям, кайнозойських обрисів.

Цинодonti, щуроподібні синапсиди, які пережили Велике вимирання і нездатні конкурувати з могутніми ящерами, вижили, уникаючи з ними прямого контакту. Частково цьому сприяла "ліліпутизація" - різке зменшення в розмірах. Як колись комахи розійшлися з хребетними за різними ваговими категоріями, так і цинодonti уникли конкуренції, стиснувшись до несуттєвих, з точки зору динозавра, габаритів. До того моменту в історії хребетних великим хижакам було вже не до комашок завбільшки із землерийку: їм була потрібна здобич настільки ж велика, як і вони самі. Так що частково нашим предкам допомогла їхня скромність.

Але головною стратегією мезозойських синапсид під гнітом мезозойських зауропсид вважається освоєння нічного способу життя⁶². Навіть сьогодні ссавці - це переважно нічна група, на відміну від плазунів і птахів⁶³. У денних же звірів, що з'явилися після вимирання динозаврів, маса ознак вказує на нічне минуле, насамперед - у зоровій системі та інших органах чуття⁶⁴. Загалом в умовах яскравої освітленості птахи (тобто динозаври) бачать далі, чіткіше та краще розрізняють кольори, тоді як ссавці краще бачать у темряві, а також краще розрізняють запахи, звуки та текстури.

Наприклад, у сітківці очей типового ссавця, порівняно з іншими хребетними, велика кількість паличок (клітин антен, що вирізняються високою чутливістю, але не розрізняють кольору), та невелика - колбочок (клітин із меншою чутливістю, які незалежно вловлюють світло різних кольорів). Відрізняються і самі колбочки. Кольори в них реєструються фоторецепторами - спеціальними білками, що реагують на певні частоти світлових хвиль. Що більше різних фоторецепторів, то більше кольорів може розрізнити мозок. Для риб, амфібій, птахів і плазунів типові чотири "колбочкові", тобто "кольорові", фоторецептори на додачу до одного "паличкового", "чорно білого". У більшості ссавців "кольорових" фоторецепторів усього два. Складно зрозуміти, навіщо предкам ссавців знадобилося позбуватися кольорового зору, окрім як для того, щоб розчистити місце під високочутливий, "паличковий" зір.

Головний виняток із загального "нічного" плану зору ссавців - це людина та інші людиноподібні примати, чий зір за низкою статей знову набуває "денних" ознак. У людини в сітківці три "кольорові" фоторецептори, що дає нам змогу розрізнити більше кольорів, ніж розрізняють, наприклад, собаки або кішки, які, на нашу думку, всі страждають на дальтонізм. Людський зір - це ніби повернення до кольорів, у які був забарвлений світ палеозойських амніотів. Але більшість ссавців досі носять в очах та інших органах чуття чорно білий відбиток нічного минулого.

Отже, судячи з низки ознак, наші предки провели мезозой у темряві. У цьому полягає чудово названа гіпотеза "нічного пляшкового горлечка". Ця безглузда назва (ніби про нічну бійку з биттям пляшок) - кумедний казус перекладу загалом дуже точного терміна. В англійській мові слово "bottleneck" - "пляшкове горлечко" - має образний сенс вузького проходу, що обмежує вільну течію (те, що скоріше можна виразити словом "перетяжка"), тоді як у російській мові "бутылочное горлышко" означає просто пляшкове горлечко. Важливим є те, що на тлі тисяч видів і колосального розмаїття як динозаврів, так і майбутніх ссавців, мезозойських цинодонтів, відома лише невеличка жменька - лише 10-20 пологів, і всі вони більш-менш схожі один на одного: це маленькі комахоїдні звірята, що ведуть нічний або сутінковий спосіб життя. Від когось із цих рідкісних звірків і походить все різноманіття сучасних звірів, великих і маленьких, нічних і денних.

Досі хребетні вважали за краще рухатися вдень, а спати вночі (про те, чому тваринам взагалі потрібно спати, розмова попереду). Переваги денного способу життя для денного звіра людини очевидні: по-перше, вдень краще видно, по-друге, вдень тепліше. Але в умовах, коли вдень усім заправляють динозаври, ніч стає єдиним можливим часом існування.

Цинодonti, змушені задовольнятися темною порою доби, розвинули нічний зір і альтернативні органи чуття, щоб впоратися з першою проблемою ночі: низькою освітленістю. (Так, принаймні, свідчить загалом

загальноприйнята сьогодні гіпотеза "нічної пляшки".) Як ми побачимо в наступних розділах, кульмінацією цих еволюційних інвестицій у нові способи пізнання світу стало виникнення кори великих півкуль. Цей верховний відділ мозку ссавців пов'язує органи чуття між собою, витягуючи з їхніх сигналів абстрактний сенс. Саме кора визначає більшість властивостей нашого мислення і свідомості. Тож нам є за що подякувати динозаврам, як дякують суворим учителям після закінчення школи.

Але якщо різноманітних органів чуття в природі незліченна безліч, то ось другу проблему нічного способу життя - низьку температуру - ще ніхто не намагався вирішити так, як її вирішили ми.

Швидкість усього

Є такі сили природи, на які життя ніколи не намагалося вплинути: гравітація, наприклад. Аж до XX ст. жодна жива істота (принаймні, з народжених на нашій планеті) не знала іншої гравітації, крім тієї, що діє на поверхні Землі. У живих істот можуть бути пристосування до цієї гравітації (кістки, стебла), але немає органів, що впливають на гравітаційне поле.

Ситуація з температурою, звісно, менш радикальна, але загалом схожа. Температура більшості живих організмів у природі в переважній більшості випадків дорівнює температурі середовища, в якому ці організми перебувають. Аж до недавнього - в еволюційних масштабах - часу нікому й на думку не спадало, що температура тіла може відрізнятись від температури середовища.

До виходу тварин на сушу таке було практично неможливо. Вода краще проводить тепло, ніж повітря. Тому, наприклад, вода кімнатної температури здається холоднішою, ніж повітря кімнатної температури. Наше тіло однаково гарячіше і за те й за інше, але якщо опустити руку у воду, то тепло втрачається швидше. (З тієї ж, тільки зворотної, причини вода при температурі 100 °C - це окріп, а повітря при температурі 100 °C - це гаряча, але цілком комфортна сауна). Через те, що вода так швидко відводить тепло, у воді підтримувати температуру тіла іншу, ніж сама вода, дуже важко. Вихід же на сушу створює передумови для загравань із температурами тіла, що перевищують температуру повітря.

У чому сенс цих експериментів? Навіщо тварині може знадобитися бути гарячішою, ніж диктує середовище? Комп'ютери, наприклад, витрачають масу енергії, щоб навпаки, охолодитися до температури навколишнього повітря. Навіщо ж розігрівати власне тіло?

Температура тіла впливає на масу речей в організмі - можна сказати, що вона впливає на всі речі. Але все, що температура з цими речами робить, зводиться до однієї ідеї - швидкості. Температура по суті і є швидкість, з якою молекули носяться туди сюди і б'ються одна об одну (це те, що ми відчуваємо як тепло). Разом зі швидкістю молекул змінюється швидкість хімічних реакцій. Разом зі швидкістю хімічних реакцій змінюється швидкість розщеплення їжі, швидкість просування заряду по нервових клітинах, швидкість скорочення м'язів і все інше, що робить організм. Тому гарячіший організм - значить швидший організм.

Традиційна назва цієї нової ідеї - що тіло може бути гарячішим, ніж середовище, - це теплокровність. Протилежність її, тобто вихідний, найпоширеніший варіант, за якого температура тіла дорівнює температурі навколишнього середовища, традиційно називається холоднокровністю. Сьогоднішні зоологи віддають перевагу більш детальним термінам, що відображають стабільність / нестабільність температури тіла або джерело тепла в організмі, але я постараюся для простоти обмежитися "теплокровністю" і "холоднокровністю".

Сам факт життєдіяльності вже підвищує температуру тіла, тому що життя складається з перетворень енергії з однієї форми в іншу, а під час кожного перетворення енергії частина її завжди розхлюпується у формі тепла. Через це розігріваються процесори, атомні реактори, і точно так само від цього розігріваються м'язи і мізки. Так що живий організм за визначенням виробляє тепло. Просто для більшості тварин кількість цього тепла настільки незначна, що воно всередині тіла не затримується.

Тепло втрачається шляхом випромінювання або випаровування з поверхні тіла, а що тіло крупніше, то менша в нього площа поверхні з розрахунку на масу. Тому що більша тварина, то повільніше вона вистигає, як розігріта чавунна сковорідка порівняно з дрібною тефлоновою (через це, до речі, двоє людей можуть зігрітись, тісно притулившись одна до одної). Велика тварина на суші просто завдяки своїм розмірам і базовій життєдіяльності може накопичити в собі достатньо тепла, щоб бути стабільно гарячішою за навколишнє повітря. Що вона гарячіша, то швидше в ній протікає та ж сама життєдіяльність, яка це ж тепло і виробляє. Хімічні реакції розігрівають одна одну і тим самим розганяють весь метаболізм. Це дає тварині дві принципові переваги: по-перше, роздуває її фізичні здібності, по-друге, дає змогу жити там, де раніше було занадто холодно.

Приблизно так могла виглядати проміжна форма між холоднокровністю і теплокровністю⁶⁵. Сам факт, що нашим хребетним предкам вдалося дорости до гігантських розмірів, свідчить про те, що їм вдалося розігріти свої організми, а отже, прискорити біохімічні реакції, які в них відбуваються, порівняно з дрібними жабами, чия температура тіла збігається з температурою середовища. Вікторіанський образ "жахливої ящірки", холоднокровної і повільної, не враховував теплової інерційності великого тіла. Сьогодні відомі й інші ознаки часткової теплокровності динозаврів⁶⁶. Судячи і з оперення, і з механіки руху, і з поширення динозаврів у помірних широтах,

ці тварини у своїй еволюції прагнули зберегти внутрішнє тепло й успішно його зберігали, що давало їм змогу бути могутніми, швидкими і майже напевно гарячими на дотик.

Швидше за все, для наших предків синапсид до Великого вимирання теж була характерна подібна форма проміжної теплокровності. Такий висновок можна зробити на підставі аналізу форми носових пазух, які служать непоганим індикатором інтенсивності метаболізму. Під час дихання через ніс повітря стикається з нюховим епітелієм, який уловлює запахи. Що активніший обмін речовин, то частіше тварина дихає і, отже, то сильніше в неї цей епітелій висихає. У результаті у тварин з інтенсивнішим метаболізмом носові пазухи більш складні та розгалужені. Це пов'язано з наявністю додаткової, не нюхової поверхні, що зволожує повітря і захищає тим самим нюх⁶⁷. За цією ознакою в пізньому карбоні в синапсид, зокрема у великих (20-100 кг) хижаків, уже видно зачатки теплокровності⁶⁸.

Таким чином, наші предки, після Великого вимирання заганні динозаврами в "нічне пляшкове горлечко", опинилися в становищі, в якому до них ще ніхто не опинявся. Походивши від чи не найбільших тварин в історії планети на той момент, вони були змушені знову зменшитися до розмірів жаб, якщо не великих жуків. Логічно припустити, що всі їхні хімічні реакції, ферменти, клітини та нервові шляхи були пристосовані до великого і хоча б частково теплокровного організму. Але, як мали невдовзі з'ясувати наші зменшені предки, підтримувати всі ці метаболічні звички на незмінному рівні традиційними способами просто неможливо.

Якщо великій тварині для збереження тепла не потрібно винаходити нічого складного, то дрібній тварині утримувати свою температуру тіла вищою за температуру довкілля набагато важче. Кілограм слона за кімнатної температури віддає за годину набагато менше тепла, ніж кілограм мишей. У слонів із мишами може бути однакова температура тіла, але в мишей набагато більша сумарна поверхня тіла. Оскільки тепло середовищу віддає саме поверхня, мишам потрібно виробляти більше тепла, щоб підтримувати ту ж саму температуру тіла, що і слон.

Які варіанти розвитку були у зменшених синапсид? Можна змиритися і охолонути. Ящірки, наприклад, теж не накопичують достатньо власного тепла через свої розміри. Натомість ящірки чудово вмюють грітися на сонці і завдяки такій постійній температурній підзарядці можуть мати цілком "теплу кров" увесь активний час доби. Ящірки бігають досить спритно, щоправда, порівняно зі справжніми теплокровними швидко видихаються⁶⁹.

Однак можливості погрітися на сонечку в синапсид за часів динозаврів не було, бо ті примусили їх до нічного способу життя. Тож залишалось або геть позбутися вже таких звичних переваг розігрітого організму і, повільно перебираючи ватяними лапами, шарахатися від нічних жаб, або придумати щось зовсім інше, божевільне і немислиме. Який із варіантів обрали наші предки, читач, безсумнівно, вже здогадався.

Зламати метаболізм

Теплокровність ссавців - це високовольтний дріт, який розрізали і сунули у відро з водою. Раніше все тепло в організмі вироблялося само собою, як побічний продукт корисних процесів - наприклад, травлення і руху м'язів. Ссавці ж від нестачі тепла йдуть на, здавалося б, божевільну міру: вони ламають собі метаболізм таким чином, щоб витратити більше енергії. Просто так, майже без жодної користі, тільки щоб згорали поживні речовини і ставало тепліше^{70, 71}.

Тепло - це форма, на яку енергія перетворюється за замовчуванням, можна сказати, її найулюбленіший стан, до якого вона постійно прагне. Тому зазвичай завдання живого організму полягає в тому, щоб, навпаки, запобігти перетворенню енергії на тепло і спрямувати її в корисне русло.

Наприклад, у мітохондріях енергія, запасена в їжі, перетворюється спочатку на високу концентрацію протонів, що закачуються в простір між двома мембранами цієї органели. Далі протони, як з накачаної кульки (тільки в цьому випадку навпаки, з накачаної оболонки кульки всередину кульки), спрямовуються струменем назад у порожнину мітохондрії. Цей струмінь протонів розкручує ротор вставленої у внутрішню мембрану турбіни - АТФ синтази. Та перетворює енергію струменя на АТФ - розмінну монету, яку приймають усі корисні ферменти клітини. Коротше кажучи, щоб успішно перетворити їжу на корисні функції, потрібно, щоб протони пройшли крізь АТФ синтазу. Так ось, ссавці винаходять спеціальний білок, UCP1, який, як і АТФ синтаза, вставлений у внутрішню мембрану мітохондрії та який, як і АТФ синтаза, пропускає протони, але, на відміну від неї, не робить нічого корисного. Протони витікають крізь UCP1, а АТФ синтазу ніхто не розкручує⁷². Куди при цьому йде енергія? Втрачається, тобто розсіюється у вигляді тепла.



Це все одно як якби матроси намагалися зігрітися, роблячи пробоїни в бортах корабля. Мітохондрія просто витрачає енергію вхолосту. Саме "холостими" мітохондріями, багатими на UCP1, і забиті клітини такої типовой звіриної тканини, як бурий жир. "Жиром" ця тканина називається через велику кількість у цих клітинах найенергоємнішої поживної речовини, а "бурим" - через велику кількість мітохондрій, що плавають у її клітинах. На відміну від звичайного, білого жиру, чий девіз - "потім знадобиться", девіз бурого жиру - "гори все вогнем". Його мітохондрії постійно спалюють жир із виробництвом тепла.

ДО РЕЧІ

Мрія всієї медичної науки - цілеспрямоване перетворення білого жиру на бурий. От би так, щоб з'їв таблетку, а боки самі себе спалили! У принципі, є добре відомі способи "забурити" собі білий жир (отриманий самоспалювальний жир називають бежевим) і, відповідно, підвищити рівень "холостого" спалювання калорій. Проблема такого схуднення за методом цинодонтів у тому, що один зі способів викликати "побуріння" - хронічний холод, а другий - активна фізична робота⁷³⁻⁷⁵. Тож доведеться вибирати, що вам більше до вподоби: тренажер чи життя в холодильнику.

Хоча майже напевно скоро приспіє і таблетка⁷⁶ - надворі все ж таки не мезозой.

Є й інші процеси, які витрачають енергію без очевидної користі, крім тепла.

Наприклад, клітини ссавців із більшим завзяттям, ніж у холоднокровних хребетних, викачують назовні натрій і закачують усередину калій⁷¹. Ці позитивно заряджені атоми, або іони, по різному розподілені всередині і зовні наших клітин. Натрію багато зовні, і він завжди прагне всередину, а калій, навпаки, багатий усередині і прагне назовні. Клітина постійно працює над тим, щоб розсортувати ці іони у зворотному напрямку - загнати калій у клітину, а натрію позбутися, - і витрачає на це багато енергії. Але калій і натрій вперто продовжують текти туди, куди їм хочеться, тому витрачена енергія випаровується у вигляді тепла. Підтримка балансу калію і натрію потрібна, наприклад, для проведення нервового сигналу нейроном або для викиду інсуліну клітиною підшлункової залози, але заодно це зручний спосіб пустити енергію на вітер. Ще один приклад даремної дії, чий сенс виключно в піднятті температури тіла, - це тремтіння, тобто "холосте" скорочення м'язів. Цікаво, що багатьма з цих процесів централізовано керують гормони щитовидної залози, які у звірів нібито диригують марними витратами енергії в організмі⁷⁰.

З людського погляду все це спалювання калорій звучить чудово, бо для середньостатистичної сучасної людини проблема видобутку поживної енергії просто не стоїть. Якесь морозиво або, припустимо, смажена картопля забезпечують організм такою концентрованою кількістю енергії, якої в природних продуктах не може бути в принципі. Для більшості з нас набагато гостріше стоїть проблема того, куди цю поживну енергію подіти, щоб вона не навантажувала нам тіло гіпертрофованими жировими відкладеннями.

Але в природі так не буває. Якщо їжі багато, значить, незабаром стане багато їдців і їжі стане мало. Так розкидатися калоріями, як це робить людина, може собі дозволити тільки сільськогосподарська цивілізація, яка штучно виробляє ці калорії в планетарних масштабах. Тому на перший погляд теплокровність ссавців - це божевільня. Організм типового звіра споживає разів у п'ять більше енергії, ніж організм типового плазуна⁵⁴. Виправдати такі витрати непросто.

Насправді в цьому то навіженому рішенні і полягає революційність нашої теплокровності. Ми не просто виробляємо тепло, не просто його зберігаємо, не просто підтримуємо постійну температуру в тілі і не просто розігріваємо його сильніше, ніж середовище. Усе це тією чи іншою мірою різними способами роблять і інші тварини. Ми, ссавці, витрачаємо колосальну кількість енергії виключно для того, щоб нагріти тіло до неприродної температури. Цей гамбіт дорого коштує, але він робить нас найшвидшими тваринами на планеті. Ми - як гоночні автомобілі, які плюють на витрату палива з однією метою: вичавити з мотора максимум швидкості.

Під час роботи процесора головне - охолодження, тому що процесор отримує живлення з розетки. Він обмежений не енергією, а загрозою плавлення тонких деталей. Для більшості тварин проблема таким чином не стоїть: інтенсивність їхньої життєдіяльності не досягає таких потужностей, щоб вироблене ними тепло хоч скільки завгодно на них позначилося. З розвитком часткової теплокровності тепло організму починає прискорювати його роботу. Але тільки серед повноцінно теплокровних тварин проблема охолодження постає нарівні з проблемою нагрівання, тому що температура їхнього тіла, як і температура процесора, починає наближатися до критичного значення, за якого ось-ось почнуть ламатися клітини і молекули. Через це їм доводиться розробляти не просто "грубку", а термостат, що чуйно реагує на коливання температури і здатний швидко віддати надлишки енергії, наприклад випаровуванням поту. Звірі, як процесори в комп'ютерах, наблизилися до меж безпечних температур.

"Нічне пляшкове горлечко" з важкого вимушеного заходу стало джерелом майбутньої могутності ссавців. Можна сказати, що вже на самому початку століття динозаврів предки звірів заклали фундамент для їхнього подальшого тріумфу: вони розвинули цілий спектр органів почуттів, під'єднали їх до нового, універсального мозку і розігнали його та все інше тіло до максимально можливої швидкості. Залишилося тільки чекати падіння метеорита.

Далі смерті поглянути

Мезозойська ера почалася в Сибіру, а закінчилася на Юкатані. Мексиканський півострів, той самий, де ми з товаришами спостерігали черепаху, яка народжувала, знаменитий своїми сенотами - глибокими підземними колодязями з блакитною водою, порізаною променями тропічного сонця крізь провали в землі. Індіанці майя вважали сеноти священними воротами в царство мертвих. Корінні американські народи взагалі обожнюють мертвих і мають схильність бачити магічні портали в будь-якому предметі з діркою, але в даному випадку індіанці влучили в точку.



На карті Юкатана видно, що сеноти утворюють півколо діаметром 180 км. Якщо подумки замкнути його в коло, то його центр припаде на морське дно за кілька кілометрів від узбережжя. Перші натяки на значення цього кола почали з'являтися лише півстоліття тому - у 1970-х роках, а остаточно його роль підтвердилася тільки в 2016 р., коли вчені пробурили центр кола і витягли звідти каміння, розплавлене ударом одного з найбільших метеоритів, які будь-коли падали на планету Земля^{77, 78}.

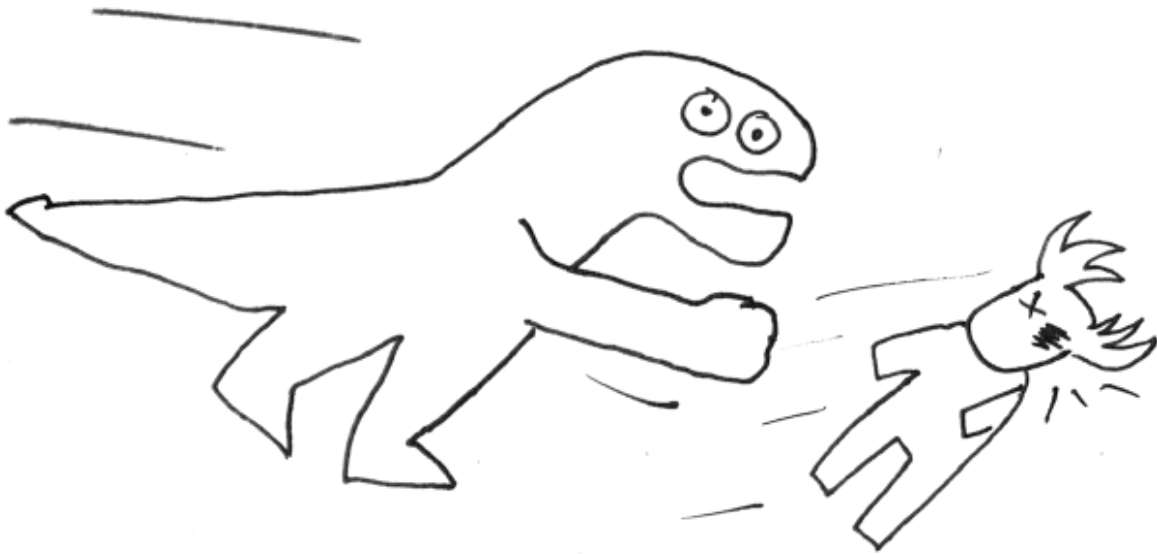
Якщо сибірське плато Путорана - це надгробний камінь палеозою, то кільце юкатанських сенотів - це усипальниця мезозойських динозаврів. Воно являє собою облямівку Чикшулубського кратера, залишеного ударом космічного валуна розміром з велике місто. "Чикшулуб" мовою майя означає "диявольська блоха", що якнайкраще описує метеорит, який прокусив шкіру планети на десятки кілометрів у глибину і викликав на ній чергову зміну епох, що супроводжується масовим вимиранням.

Вимирання великих динозаврів ставить крапку на мезозої та сповіщає початок нової ери, яка триває й досі: кайнозойської. Офіційно це вимирання називається крейда палеогенова, крейда третинна або крейда кайнозойська. Крейдяний період - останній із трьох мезозойських періодів (тріас, юра, крейда). Третинний період і палеогеновий період - це варіанти визначення першого періоду кайнозою за різними класифікаціями.

Як і у випадку з попереднім, Великим вимиранням, відома ключова подія, що спричинила новий природний катаклізм, але не дуже зрозуміло, як саме ця ключова подія призвела до вимирання динозаврів. У першому випадку це було виверження вулканів, тепер - удар метеорита (хоча "метеоритні" версії висловлюються і про пермську катастрофу). Що сталося далі, не зовсім зрозуміло - скільки людей, стільки й думок. Метеорит упав у гіпсові відкладення. Гіпс складається з кальцію, сірки і кисню, і удар метеорита миттєво випарував в атмосферу мегатонни сірчаного газу, який, з'єднуючись із парами води, перетворився на сірчану кислоту⁷⁹. Тож результатом мав стати глобальний кислотний дощ, який деякі вчені вважають основною причиною вимирання. Крім кислоти, падіння великого метеорита мало підняти в стратосферу купи осколків, які в перші години кайнозою сипалися назад на всю поверхню планети дощем із розпечених болідів⁸⁰. За версіями деяких експертів, основною причиною вимирання були саме ці вторинні метеорити. Інші грішать глобальним похолоданням ("метеоритною зимою") через затінення сонячного світла, спричинене пилом і газами⁸¹. Ще одна група вчених звинувачує у всьому пожежі - точніше, одну глобальну пожежу, яка вкрила весь світ шаром сажі⁸². У розрізі осадових порід дату бб млн років тому зазвичай легко впізнати за тонкою чорною смугою, що відокремлює мезозой від кайнозою. Цим зловісним фактом вимирання динозаврів знову таки нагадує Велике вимирання.

Загалом, яка б із причин не була головною, крейда кайнозойського вимирання - це разуче повторення вже, здавалося б, пройденого етапу в історії життя на Землі: Великого пермо-тріасового вимирання.

Наприкінці палеозою життям на суші заправляли великі синапсиди, а зауропсиди були їхньою маловідомою тінню. Пермське вимирання торкнулося насамперед найбільших синапсид, зрівнявши в правах дві ці гілки хребетних. Але зауропсиди незабаром вийшли вперед, можливо, завдяки своїй швидкості, зумовленій більш ефективними легенями. До кінця мезозою маловідомою тінню були маленькі та нічні синапсиди, а лідерство належало величезним зауропсидам.



Нарешті настав час для, мабуть, найбільшого рондо всієї історії планети. Нове вимирання, нібито поставлене за мотивами Великого, знову зачепило насамперед усіх найбільших тварин. Тільки цього разу ними були вже не синапсиди, а зауропсиди. Вкотре два вічно конкуруючі клани зрівнялися в правах. Але тепер на історичній сцені стояли вже не просто синапсиди, а ссавці: найшвидші, найсильніші та найрозумніші істоти на планеті, викувані мільйонами років важкого життя. Повернувши собі колишні розміри, вони переможно вступили в розорене царство динозаврів і залишаються там донині.

А що ж динозаври? Як і синапсиди після карбону, вони не припинили своє існування. Просто з усього розмаїття цих мезозойських чудовиськ у живих залишилися тільки найменші, які замість тупої сили зробили ставку на уникнення непереможного ворога. Як і синапсиди, вони знайшли нішу, в якій великим хижакам їх не дістати. Для нас цією нішею була ніч. Для птахів - динозаврів нашого часу, які вижили, - небо.

Взагалі, між ссавцями і птахами разуче багато подібностей, які ідеально увінчують драму протистояння синапсид і зауропсид. Аж до людських часів їхня кількість на суші була цілком порівнянною. І ті й інші поширені на всіх континентах. І ті й інші - найрозвиненіші в нейробіологічному сенсі тварини у світі. Мозок птаха влаштований інакше, ніж мозок ссавця, але абстрактне мислення ворони не поступається інтелекту собаки.

Такому інтелектуальному розвитку допомогла ще одна наша схожість: висока температура тіла. Я описав теплокровність як унікальний винахід ссавців, що було б правдою, якби птахи незалежно від нас не винайшли те саме. Якщо згадати приклади з черепами та серцями, подібне між зауропсидами та синапсидами відбувається регулярно: до гарної ідеї ведуть різні стежки. Попри їхній переважно денний спосіб життя, температура тіла в птахів ще вища, ніж у ссавців, що допомагає їм так само швидко рухатися і навіть літати. Цим же визначається географічне поширення наших груп: на відміну від мезозойських динозаврів та інших хребетних, птахи та ссавці можуть жити не просто в прохолодному середовищі, а в снігах і на айсбергах.

Нарешті, обидві наші групи роблять дещо, досі невідоме в природі: і птахи, і звірі витрачають суттєву частину свого життя на те, щоб прогодувати, виростити і виховати потомство. Деякі фахівці навіть вважають, що саме перевагами насиджування яєць пояснюється поява теплокровності (адже яйця колись відкладали й предки ссавців)^{83, 84}. Як ми побачимо в наступному розділі, турбота про потомство - прообраз будь-якої соціальності, без якої не було б мови, а отже, і сучасної людини.

Якщо в людського розуму і був колись шанс з'явитися за межами класу ссавців, то я б зробив ставку на птахів. Хто знає, може, у зауропсид ще залишилися козири на наступний кінець світу.

8. Дзеркало

Роби мене точно, мамо, -
Я хочу вирости красивим.
Роби мене вночі, мамо, -
Я не буду агресивним.

Мумій Троль

Щури, як і люди, люблять шоколад. Якщо шматочок шоколаду помістити в прозору шухляду, щур швидко розбереться, як шухляда відкривається, і залюбки з'їсть свою нагороду. Але якщо поруч у такій самій тісній шухляді замкнута іншого щура, то перший щур визволить і товариша, і нагороду, і поділиться з урятованим щуром шоколадом¹.

Чому щур так чинить? Якщо виходити з того, що живі істоти діють завжди у власних інтересах, то незрозуміло, навіщо звільняти з в'язниці конкурента за ласощі, тим більше з ним ділитися. Чому б не з'їсти все самому, а вже потім за бажання звільняти другого щура? Та й узагалі, чому щура обов'язково мають хвилювати страждання незнайомої тварини? Мух, наприклад, такі дурниці не хвилюють.

Це явище, за якого один організм добровільно робить щось корисне для іншого організму, але водночас непотрібне або шкідливе для себе, називається альтруїзмом. На перший погляд у ньому можна побачити протиріччя теорії Дарвіна, і сам класик за своїм звичаєм з цього приводу сильно переживав і багато виправдовувався. Альтруїзм - за визначенням щось, що не приносить користь, а, навпаки, забирає ресурси. Чому ж тоді природний відбір не присікає будь-які подібні ніжності? Хіба не буде щур, що з'їдає всю шоколадку, сильнішим за щурів, що з'їдають кожен по половині?



Насправді альтруїзм не суперечить дарвінізму, а прекрасно в нього вписується. У цьому, до речі, полягає головна думка вже згаданого опусу Річарда Докінза "Егоїстичний ген" (The Selfish Gene). Усе пояснюється, якщо дивитися на життя не з точки зору організмів, як ми зазвичай робимо, а з точки зору інформації. Життя справді завжди діє у

власних інтересах. Просто власні інтереси генів - живої інформації - необов'язково збігаються з власними інтересами організмів - машин для виживання цієї інформації.

Гени - це не просто шматки ДНК, а їхня послідовність, тобто конфігурація, тобто абстрактна інформація, закладена в матеріальному носії. Одні й ті самі гени одночасно існують у багатьох організмах, як файл може одночасно міститися на кількох пристроях. Тобто під контролем одного й того самого гена одночасно перебуває не одна тварина, а всі тварини, у яких є цей ген.

У більшості випадків генам вигідно, щоб усі їм підконтрольні організми думали тільки про себе: полювали на свою їжу, захищали себе від небезпек, продукували максимум свого потомства. У типових умовах це забезпечує гену максимум розмноження. Але бувають ситуації, коли гену вигідніше по різному розподілити ролі між своїми "машинами для виживання".

Складні спільноти мурашок і бджіл - це якраз приклад такого перерозподілу: з одного й того самого геному походять солдати і робітники, які піклуються про потомство, а також статеві особини, які це потомство виробляють. Якщо розглядати кожну мураку окремо, можна подумати, що робітники і солдати провалили іспит з теорії Дарвіна і безглуздо витратили ресурси на виробництво власних тіл. Але з погляду генів вони просто допоміжні органи в цілому вкрай успішної машини.

Подібним чином можна розглядати й альтруїстичні нахили інших тварин. Щур, який з'їдає всю шоколадку сам, виграє з точки зору щура. У короткостроковій перспективі це може допомогти і його генам: егоїстичний щур залишить більше потомства, ніж інші, які залишилися без шоколаду. Але рано чи пізно настануть важкі часи, і в цій ситуації єдиним способом виживання виявиться співпраця. У таких умовах швидше виживуть ті щури, які один одному допомагають. Той, хто рятує товариша зі скриньки і ділиться з ним шоколадом, з більшою ймовірністю сам опиняється врятований в аналогічній ситуації, тому "гени альтруїзму" виявляються ефективнішими в довгостроковій перспективі, ніж "гени егоїзму". Альтруїстичний щур може програвати егоїстичному щуру з щурячого погляду, але при цьому перемагати з генетичного погляду. У загальних рисах саме так звучить сучасне пояснення альтруїзму.

Найголовніша проблема цього пояснення полягає в тому, що воно добре працює тільки щодо близьких родичів. Гену альтруїзму потрібні гарантії, що в оточуючих теж є гени альтруїзму, інакше альтруїзм буде занадто небезпечним у довгостроковій перспективі: ти всім допомагаєш, а тобі - ніхто. Якщо у двох організмів схожі гени, значить, ними керує частково єдина сила. Якщо альтруїзм вигідний одному, то з великою ймовірністю він вигідний і іншому. У результаті виникає взаємодопомога, і гени альтруїзму перемагають. Альтруїзм щодо братів і сестер пояснити таким чином просто.

Набагато складніше пояснити, чому тварин може нервувати факт страждання чужих, неспоріднених особин. Навіщо генам рятувати інші гени, якщо в них немає гарантій взаємності? Щур, навчений добувати шоколад, без жодного шоколаду побіжить до ящика з незнайомим щуром і звільнить його. Макака, навчена отримувати нагороду при натисканні кнопки, перестане це робити, якщо одночасно бити струмом іншу макаку².

Про те, як бути з таким неспорідненим альтруїзмом, серед еволюційних біологів досі точаться суперечки. Можливо, почасти річ у тім, що альтруїстична поведінка, яку ми намагаємося безпосередньо пояснити тими чи іншими силами еволюції, насправді лише побічний наслідок чогось більшого. Річ не в тому, що добір благовольт щуру, який сліпо допомагає кожному зустрічному. Благовольт він тому, який розуміє, що таке ящик; що, якщо тебе туди засунуть, буде дуже неприємно; і найголовніше - що пацюк, який там замкнений на цей момент, почуватися саме так.

За що капуцини не люблять огірки

Живі організми в усі часи реагували один на одного. Хижакові потрібно впізнати жертву, жертві - хижака. Бджолі потрібно розгледіти квітку, а рослині - знайти гриб для мікоризи. Світлячки приваблюють одне одного спалахами світла, а одноклітинні водорості тим самим методом відлякують усіх, хто до них торкається³.

Такі способи взаємодії іноді називають "рефлекторними", від слова "рефлекс". Є стимул: інша особина. Є відповідь: реакція організму. Цієї реакції не потрібно вчитися, вона вже відточена еволюцією. Про неї не потрібно думати, тобто комбінувати з іншими знаннями, накопиченими за час життя. Вроджений рефлекс - це прямий контроль генів над поведінкою.

Але нам, людям, знайомий й інший спосіб взаємодії з оточуючими, який іноді називають "рефлексивним", від слова "рефлексія". Ми не просто реагуємо на інших людей, як ми реагуємо на яскраве світло або на удар по колінній чашечці. Ми приміряємо людей на себе - і саме це допомагає нам їх розуміти. Людське спілкування - це не просто низка рефлексів, а активний розумовий процес, у якому чужий організм, з його відчуттями, емоціями та висновками, моделюється всередині нашої власної свідомості⁴.

Якщо рефлекторна взаємодія - це стандарт поведінки в царстві тварин, то рефлексивна взаємодія - унікальний випадок. Питання в тому, які межі цієї унікальності. Кілька століть тому подібні речі вважали винятково людською здатністю, продуктом біологічної та культурної переваги нашого виду над іншими тваринами. Сьогодні зрозуміло,

що межі "рефлексивності" мають охоплювати щонайменше інших приматів, а як показує приклад із щурами та шоколадом - мабуть, і інших ссавців.

Приматолог Франс де Вааль у своїх лекціях показує чудове відео про мавп капучинів (його можна знайти, заглибивши "Capuchin monkeys reject unequal pay"). Поруч стоять дві клітки з капучинами, перед ними - учений. Мавпи знають, що якщо вони дадуть вченому камінь, то отримають їстівну нагороду. Але вченого припасено дві різні нагороди: огірок (що за відсутності альтернативи мавпу цілком влаштовує) і виноград (тобто нагорода набагато смачніша). Обидві мавпи простягають вченому камені, але одна отримує огірок, а інша виноград. Спочатку перша мавпа із задоволенням їсть свій огірок і не вередує. Але побачивши, що другій мавпі за ту саму роботу дають виноград, вона в обуренні жбурляє огірок назад у вченого, висовує руки з клітки, безуспішно намагаючись вихопити їжу, потім підбирає ще один камінь, перевіряє його на міцність (можливо, у мене неправильне каміння?), знову віддає вченому, але все одно отримує огірок. Мавпа приходиться у цілковиту лють, б'є клітку, смикає ґрати і верещить на несправедливого вченого як ужалена⁵.

Для людини ці емоції гранично зрозумілі. Саме так ми реагуємо на будь-яку кричущу несправедливість: гарячково намагаємося знайти з неї вихід, а якщо виходу немає, приходиться люті. Але в цьому й суть експерименту: мавпам капучинам ніхто не пояснював, що таке справедливість. Це почуття в них закладено від природи, генами, як тяга бджоли до квітки або тяга світлячка до спалаху світла. Різниця в тому, що якщо реакція комахи на світло - це рефлекс, то реакція мавпи на несправедливість - це рефлексія.

Справа ж не в тому, що мавпа так ненавидить огірки. Зовнішній вигляд огірка сам по собі не викликає в неї рефлексу відторгнення. Якби не було другої мавпи, то поїдання огірка було б для першої мавпи цілком приємним заняттям. Справа в зіставленні власного досвіду з досвідом іншої тварини. Капучин уявляє себе на місці капучина сусіда і, виконавши таку уявну операцію, усвідомлює, що його власний досвід не настільки хороший.

Саме так ми в принципі розуміємо інших людей. Коли ми дивимося на людину, яка відчуває біль, ми частково сприймаємо цей біль як свій власний, що видно, наприклад, за активацією тих самих відділів мозку, що й за справжнього болю. Коли ми слухаємо чийсь промову, ми повторюємо чужі слова в себе в голові, ніби самі їх формулюємо. Це добре помітно на прикладі пацієнтів, які страждають на афазію Верніке, за якої утруднено зв'язок слів зі змістом. Щоб зрозуміти, що їм говорять, ці пацієнти намагаються якомога швидше повторити почуте - і якщо їм це, хоч і з великими труднощами, вдається, то думка до пацієнта доходить, а якщо ні, то він не розуміє сказаного^{6, 7}.

У 1990-ті рр. у науковій літературі користувалися популярністю так звані дзеркальні нейрони, у яких частина нейробіологів вбачала основу людської емпатії та соціальності⁸. Деякі нейрони, як з'ясувалося, активуються, коли відбувається якась дія, причому неважливо, чи здійснює її сам володар нейронів або хтось інший, за ким він спостерігає. Наприклад, макака тягнеться до іграшки на столі, і в неї в моторній корі активується певний набір клітин. Якщо до цієї ж іграшки потягнеться вчений, то в макаки активуються ті ж самі клітини, ніби "відображаючи" дію іншої особини. Подібні "дзеркальні нейрони" в моторній корі є й у людини. Якщо їх тимчасово інактивувати (це можна зробити без хірургічного втручання, за допомогою безпечної електричної стимуляції), то в людини погіршується розуміння того, що роблять інші люди⁹.

Сьогодні "дзеркальні нейрони" вже не вважаються чимось особливим і магічним, оскільки зрозуміло, що вони всього лише один із прикладів загального принципу, за яким працює людська соціальність^{10, 11}. У цьому разі ми моделюємо у своїй моторній, "руховій" корі рухи інших. Але так само ми моделюємо чужі емоції у своїй емоційній корі, чужі слова у своїй мовній корі, чужий біль у своїй больовій корі тощо. Весь наш мозок - це одне велике дзеркало.

"Рефлексія" - це ж і означає "відображення". Цим словом виражається ідея, на якій стоїть соціальність ссавців. Для людини ця ідея інтуїтивна, а для більшості тварин - немислима.

Воно - те ж саме, що я.

Мільярд років самотності

Типова тварина проводить доросле життя на самоті, замислюючись про компанію, тільки коли настає час розмножуватися. Іноді навіть і це необов'язково. Риба, наприклад, може теоретично вилупитися з яйця, вирости, відкласти деінде ікру і померти, не зустрівши за своє життя жодної іншої риби того самого виду (хоча на практиці таке, звісно, малоімовірно). Але у ссавців є принаймні один момент у житті, коли ми гарантовано взаємодіємо зі спорідненою істотою: народження.

Інститут материнства існував серед нашої гілки синапсид ще до динозаврів. Найбільш ранні, палеозойські викопні, що свідчать про турботу про потомство, були виявлені в Південній Африці: скелет синапсида матері та чотирьох її дитинчат¹². Схожі сімейні групи були характерні і для цинодонтів, пізніших мезозойських синапсид, від яких походять ссавці¹³. Але цих наших предків від нас відрізняла важлива деталь: вони були яйцекладучими.

Колись у палеозої амніотичні яйця з їхньою водонепроникною оболонкою здавалися вершиною еволюційної біотехнології. Завдяки їм амніоти перемогли амфібій і поширилися в усі куточки планети. Але у важкі часи мезозою

"сухопутні яйця" застаріли. Не через свою сухопутність, а через зсув еволюційних пріоритетів. Якщо в середині палеозою всі дбали про вологу і висихання, а до кінця думали тільки про кисень, то тепер світ зійшовся клином на температурі.

Вимушені зменшитися і перейти на нічний спосіб життя, предки ссавців зіткнулися з проблемою надмірного охолодження, яку вони вирішили, різко збільшивши інтенсивність обміну речовин. Але зменшені яйця так само охолоджуються з підвищеною швидкістю, а сам зародок ще занадто маленький, щоб виробляти власне тепло. Тож теплокровній тварині, яка зігріла саму себе, потрібно ще зігріти потомство. Для цього треба або весь час сидіти на яйцях, або просто засунути їх всередину тіла і так ходити^{14, 15}.



Першим варіантом користуються птахи. Через політ вони не можуть носити на собі зайву вагу, тож замість цього відкладають величезні яйця, які лежать у гнізді. Це небезпечно, тому що, поки птах літає, яйця охолоджуються. Ще гірше те, що пташині яйця - головний фастфуд природи, купа калорій без жодних зусиль, улюблений усіма, хто може до них дотягнутися. Але літають птахи переважно вдень, коли яйцям не так холодно, і залишають їх зазвичай у недоступному місці, куди без крил не дістатися. Тож для птахів періодичне насиджування яєць, що зберігаються в гнізді, - цілком прийнятний варіант.

Для предків же ссавців такий номер би не спрацював, тому що вони жили на землі і вели нічний спосіб життя. Залишені яйця неминуче або з'їдалися б, або швидко охолоджувалися. Тому звірі, на відміну від птахів, навпаки, зменшують яйця до мінімального розміру, не запасаючи в них тепло чи поживні речовини, а просто підключаючи їх до материнського організму зсередини, на весь період розвитку. Це називається вагітністю.

Внутрішньоутробний розвиток дає змогу ссавцям довго розвиватися в постійно теплих умовах, що істотно розширює можливості організму і підвищує готовність до дорослого життя. Але, крім тепличних умов, у внутрішньоутробного розвитку є і менш очевидний еволюційний наслідок: живонародження забезпечує нам гарантовану зустріч із матір'ю. У цій зустрічі й потрібно шукати витоки розуміння людьми одне одного¹⁶.

У вогні твоїх розширених зіниць

Ссавці - це професійні матері. Навіть назва цієї нашої групи відображає не що інше, як материнську турботу про потомство, годування своїх дітей власним тілом. У більшості сучасних ссавців жіночої статі, крім молочних залоз, є й інший орган зі схожою функцією - плацента, тобто інтерфейс підключення зародка до матері на час вагітності. Ссавці настільки піклуються про потомство, що перетворюють своє тіло на ходячий дитячий садок.

ДО РЕЧІ

Раніше вважалося, що молоко - унікальна ознака ссавців, але останніми роками з'ясувалося, що дуже схожі речовини є, наприклад, у павуків¹⁷ і комах¹⁸. Тож назва нашої групи децю втратила унікальність.

З часів винаходу нашими одноклітинними предками анізогамії, тобто поділу праці між жіночою та чоловічою гаметами, турбота про потомство була майже за визначенням материнською справою. Сам факт наявності в яйці поживних речовин - це вже турбота, а все інше - просто нові версії тієї ж самої ідеї.

Проте більшість ссавців-матерів зовсім не рвуться піклуватися про потомство спонтанно. Для цього їм потрібна хімічна підготовка вагітністю¹⁹. Плацента протягом виношування плоду вивергає в материнський кровотік масу гормонів, без яких миша, наприклад, до своїх дітей абсолютно байдужа (на відміну від мавпи, у якої материнський інстинкт може прокинутися і без вагітності). З цього погляду стосунки більшості матерів і дітей серед ссавців можна вважати типово "рефлекторними" - адже вони цілковито контролюються вродженими механізмами, не потребують навчання чи мислення і легко відключаються блокуванням гормонів¹⁶.



Принаймні частина з цих "рефлекторних" механізмів материнства під час еволюції ссавців були ускладнені, переведені в розряд "рефлексивних" і пристосовані під інші форми соціальних взаємовідносин. Я маю на увазі насамперед окситоцин, вазопресинову систему.

Окситоцин (головний у жінок) і вазопресин (головний у чоловіків) - схожі гормони, що регулюють масу функцій організму і мислення. Наприклад, окситоцин посилює скорочення матки і послаблює біль під час пологів - можливо, в регуляції вагітності і полягає його початкова функція. Найцікавіші ж його психологічні ефекти. Тривалий час окситоцин вважали "гормоном кохання": позитивною молекулою, яка забезпечує прив'язаність матері до дитини і навпаки, а статевих партнерів "закохує" одне в одного. Але це занадто "рефлекторні" інтерпретації людських стосунків: секс викликав викид гормону, людина закохалася.

Насправді окситоцин, якщо можна так висловитися, сидить на межі між рефлексом і рефлексією. Він викликається і тим, і іншим, викликає і те, і інше і таким чином еволюційно пов'язує їх між собою^{20, 21}.

У людини, справді, є цілком конкретні стимули, що викликають виділення окситоцину, і пологи серед них - головний і "найрефлекторніший". Але в інших випадках викид окситоцину - не просто рефлекс, а продукт мислення, тобто рефлексії. Що, крім пологів, викликає у людини викид окситоцину? Секс^{22, 23}. Дотик²⁴. Зоровий контакт²¹. Задумана розмова²⁵. Але тільки в тому разі, якщо людина, з якою ви проробляєте ці операції, вам симпатична. А це величезне але, тому що рефlekсами "симпатичність" пояснити дуже складно. Щоб закохатися, недостатньо почути людську мову або відчувти людський дотик - потрібно, щоб ваш мозок проаналізував усе, що він знає про людину, яка говорить або доторкається, і тільки в разі загальної прихильності до цієї людини виділив вам у кров дозу окситоцину.

Що відбувається, коли окситоцин опиняється в крові? З одного боку, речі цілком "рефлекторні", на кшталт зниження стресу і розслаблення мускулатури. Але окситоцин - це не героїн, який викликає ейфорію незалежно від контексту та ситуації. Головні психологічні ефекти окситоцину теж "рефлексивні". Окситоцин не перетворюється безпосередньо на любов, а ніби посилює сприйняття інших людей²⁶. Підвищуються щедрість²⁷, довіра²⁸ і взаєморозуміння²⁹. Покращується розпізнавання емоцій у виразах обличчя³⁰. Знижується страх зустрітися очима³¹. Тобто окситоцин діє на нашу здатність "відобразити". Під його впливом ми впускаємо людей до себе в душу, промацуємо їхню особистість власними відчуттями, обмірковуємо їхні думки своїми словами. А це, як неважко здогадатися, призводить до душевних розмов, дотиків і сексу, тобто рівно до того, що і викликало викид окситоцину.

Це система приголомшливої елегантності. Що об'єднує розмову, секс, дотик, зоровий контакт і пологи? Усе це дії, в яких гарантовано беруть участь дві людини. Якщо ви дивитесь комусь в очі - це означає, що вам в очі теж хтось дивиться: обидва учасники отримують окситоциновий заряд. Якщо ви з кимось розмовляєте, то цей хтось одночасно розмовляє і з вами. Елегантність полягає в тому, що окситоцин, який одночасно виділився в кожному з двох організмів, ніби підсилює їхню симетрію. Під час пологів окситоцин виділяється одночасно в матері та дитини і прив'язує їх один до одного. Що більше дві людини, які відчувають взаємну симпатію, дивляться одна одній в очі, то більше вони хочуть продовжувати це робити. Що довше люди розмовляють, то охочіше розмовляють надалі. Окситоцин - це реакція на взаємність, що викликає взаємність.

Завдяки цьому окситоцин у крові на якомусь етапі сексу або розмов стає самоздійснюваним пророцтвом. Окситоцин подібний до вогню, який починається з невеликої тріски і спочатку легко загасає, але, розпалюючись, перетворюється на могутнє багаття, яке вже не згасає без зовнішнього втручання. Так працюють усі міцні, довгострокові людські взаємини, такі як дружба і любов.

Споріднені окситоцину молекули є навіть у безхребетних. Але у синапсид із розвитком материнства цей гормон, мабуть, став використовуватися для рефлекторного прив'язування матері до своєї дитини, а дитини - до матері^{16, 20}. З розвитком мозку наших предків до цієї системи природним чином підключалося все більше і більше потужностей, і "рефлекторне" прив'язування стало "рефлексивним"⁴. Матері стали не просто виконувати механічні ритуали, а вдивлятися у власних дітей і замислюватися над тим, що їм може бути потрібно. А слідом за матерями і всі ми стали вдивлятися один в одного, та так один одним захопилися, що врешті-решт заговорили. Рефлекс материнства перетворився на рефлексію материнства, надбудовану над цим рефлексом, а та зрештою лягла в основу рефлексії як загального підходу до соціальності.

Окситоцинова система - не обов'язково причина цього перетворення, але принаймні один із механізмів, що розширив свою фізіологічну роль з рефлексу на рефлексію. На цьому прикладі видно еволюційну логіку подій.

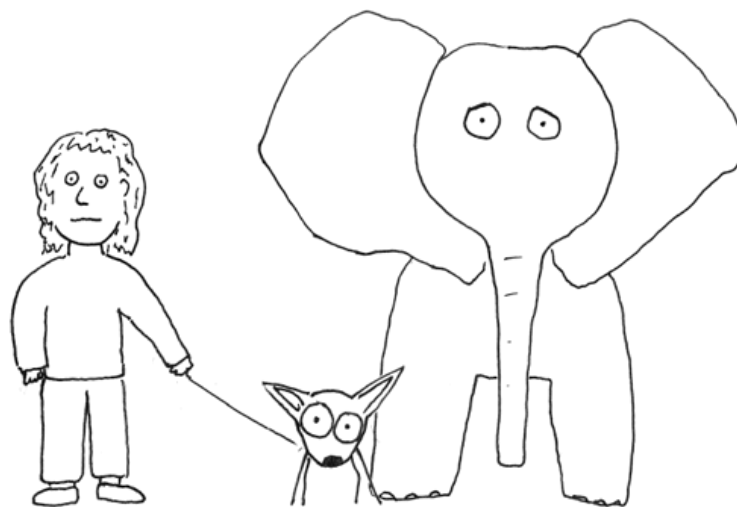
Здатність "відображати" інших і до них прив'язуватися підвищила стародавнім ссавцям виживаність потомства завдяки поліпшеному материнству, але, крім цього, подарувала їм цілий новий спосіб взаємодії один з одним. Надалі цей спосіб взаємодії розрісся за межі відносин між матір'ю і дитиною. Фактично соціальність ссавців - це форма материнського інстинкту, поширена і на інших особин. Материнство плюс.

Чому не чихуа хуа

Очевидно, що людина чимось унікальна, і ця унікальність якось пов'язана з культурою і цивілізацією, тобто продуктами роботи людського мозку. Ми, люди, не найбільші, не найшвидші, не найсильніші, але навіть найзавзятіші ентузіасти равликів і одноклітинних (це я про себе) не візьмуться сперечатися з тим, що ми найрозумніші.

Але що це означає - бути найрозумнішим? Звідки береться цей розум і чим саме він у нас настільки вже різко відрізняється? Якщо не вдивлятися в інших тварин, то здається, що між нами прірва. Ми літаємо в космос, а вони кидаються какашками. Але варто спробувати знайти цю прірву на карті, описати її в більш конкретних виразах, розгледіти її в нервовій системі людини порівняно, скажімо, з шимпанзе або з дельфіном, як прірва зникає і стає абсолютно незрозуміло, що взагалі такого особливого в цій кайнозойській тварині, *Homo sapiens*.

Мозок людини виділяється серед ссавців і за загальною масою, і за площею поверхні, але головним чином - відносно розмірів нашого тіла, а не в абсолютному вимірі³². Мозок слона або кита істотно більший, ніж людський. Хто сказав, що розум має вимірюватися відносно розмірів тіла? Швидкість комп'ютера з розрахунку на кілограм його ваги ми не заміряємо. Якщо співвідношення розміру мозку і розміру тіла - секрет людського успіху, то стає незрозуміло, чому світом не правлять чихуа хуа: мініатюрні собаки за цим показником не поступаються людині, щоправда не через збільшений мозок, а через зменшене тіло. Насамперед людина виділяється за сумарною кількістю нейронів, хоча й у цьому дещо поступається слонам. Щоправда, у тих нервові клітини інакше розподілені по мозку, що ускладнює прямі порівняння³³. Загалом, хоч людський мозок і особливий, прірви між нами та іншими тваринами на фізичному рівні немає^{34, 35}.



	Человек	Чихуа-хуа	Слон
МОЗГ, г	1400	53	5000
ТЕЛО, кг	70	2,6	3500
МОЗГ: ТЕЛО	1:50	1:49*	1:700**

* Bronson, 1979

** Shoshani et al., 2006

Міряючись мозком зі слонами чи собаками, важко уникнути підспудного антропоцентризму: у цьому разі аксіоми, що чим мозок більший, тим він кращий. З людського погляду важко уявити, що комусь може не знадобитися бути розумним. Хижакам потрібно бути розумнішими, щоб краще полювати на жертву. Жертві потрібно бути розумнішою, щоб краще ховатися від хижака. Інтелект, здавалося б, допомагає взагалі в будь-якій діяльності, на яку здатний тваринний організм. Чому ж тоді всі інші ссавці не розвинули собі мозок із такими ж можливостями, як у нас? У чому такому особливому ми досягли успіху на своєму еволюційному шляху? Якщо так ставити питання, то божественні пояснення нашої винятковості спливають самі по собі.

Насправді з еволюційної точки зору бути розумнішим - необов'язково корисно. Мозок споживає колосальну кількість енергії в тілі, яке і без того витрачає немислимі кіловати: у людини грам мозку спалює в 10 разів більше

поживних речовин, ніж усереднений грам її організму. До того ж що більший мозок, то він важчий і тим легше його пошкодити. Тож у збільшеного мозку є своя ціна. Але головне в тому, що на якомусь етапі збільшення мозку просто перестає приносити користь більшості ссавців, як середньому користувачеві - нарощування оперативної пам'яті комп'ютера. Якби мозок, збільшений удвічі, допомагав виживати носорогам, то за мільйони років він у них обов'язково збільшився б удвічі. Наш мозок більший, ніж у більшості ссавців, не тому, що ми краще вміємо еволюціонувати, а тому, що нам це під час еволюції навіщоось знадобилося, а їм - ні.

Навіщо тоді взагалі потрібен великий мозок? Що може виправдати підвищені енергетичні витрати і ризики, пов'язані з роздутою нервовою системою? Щоб це зрозуміти, вчені зіставляють розміри мозку різних ссавців, намагаючись знайти закономірності, що об'єднують усіх, у кого мозок непропорційно великий порівняно з іншими близькими групами. З'ясовується, що збільшення мозку серед ссавців жодним чином не пов'язане, наприклад, з положенням тварини в харчовому ланцюзі. Ні хижаки, ні травояди в цілому не виділяються якимись особливими мізками. Розміри мозку не пов'язані скільки-небудь очевидною закономірністю ні з нічним або денним способом життя, ні з морським або наземним середовищем, ні з розмірами тіла, ні зі швидкістю рухів. З розмірами мозку у ссавців стабільно пов'язаний тільки один параметр їхнього способу життя: складність соціальної організації³⁶.

Такий зв'язок спостерігається, наприклад, у парнокопитних і хижих. Серед них є безліч різноманітних підгруп, що розрізняються розмірами мозку і способом життя. У підгрупах, де мозок збільшений відносно розмірів тіла, одночасно спостерігається підвищена кількість соціальних видів. Висновок, який роблять із цього прихильники так званої гіпотези "соціального мозку", полягає в тому, що життя в групах для ссавців є завданням безпрецедентної складності, і саме його "системними вимогами" зумовлений зв'язок між соціальністю та розмірами мозку. Обчислювальні запити соціальності - єдине, заради чого може знадобитися збільшувати мозок до неприродних розмірів³⁷.

Але навіть на тлі інших ссавців, схильних до групового життя, цей спільний розвиток мозку і соціальності ні в кого не досягає таких масштабів, як у приматів. У них розміри мозку пов'язані не просто з наявністю, а зі складністю соціальних відносин. Чим більше особин входить у соціальну групу того чи іншого виду, тим більший у цього виду мозок. Найбільші мізки у приматів, які вміють одне в одного вчитися, одне одного обманювати і одне з одним грати, тобто робити все те, що ми звикли вважати унікальними властивостями людського спілкування.

Традиційно вважалося, що людина розумніша за всіх, і тому вона так здорово спілкується з оточуючими. Насправді, якщо вірити в гіпотезу "соціального мозку", все навпаки: ми почали зі спілкування і саме заради нього стали найрозумнішими. Гігантський мозок - дороге і сумнівне задоволення, яке можна виправдати тільки колосальним ментальним навантаженням, потрібним для конкретного завдання: підтримання складних суспільних відносин.

Наш мозок був сформований суспільством. Завдяки йому ми, примати, були розумнішими за всіх задовго до того, як стали людьми. Тож перед тим, як підійти до особливостей саме людського виду, варто придивитися до інших мавп - наших найближчих сусідів по еволюційному дереву.

Дерев'яна посудина

Вимирання непташиних динозаврів звільнило величезну кількість ніш, у які негайно кинулися ссавці. Кожна із сучасних підгруп цих тварин виникла в результаті реалізації однієї з можливостей, що відкрилися в кайнозойській природі. Усі ці підгрупи - експерти в чомусь своєму.

Експерти в галузі полювання - загін хижі: собаки, кішки, ведмеді. Експерти в галузі втечі від хижаків - копитні: газелі, антилопи, коні. Китоподібні представляють ссавців у морі, кроти - під землею, а кажани, тобто кажани, - у повітрі, щоправда, майже виключно вночі. Мабуть, єдина доступна хребетним ніша, яку ссавці за рідкісними винятками обходять стороною, - денний політ. Ця ніша зайнята птахами, неперевершеними майстрами своєї справи.

З цього погляду поява різноманіття ссавців здається майже зумовленою. Вони заповнили ніші, що звільнилися, як вода заповнює судини, і набули форми цих судин, що відповідає вимогам тієї чи іншої можливості. Дельфіни стали схожі на риб, кішки відростили гострі ікла і кігті, а кажани - перетинки між пальцями. Ніхто не міг припускати, що крило кажана буде влаштоване саме таким чином - і в птахів, і в птеродактилів крила влаштовані по іншому. Але поява крилатих ссавців у принципі була закономірністю, яку можна було очікувати.



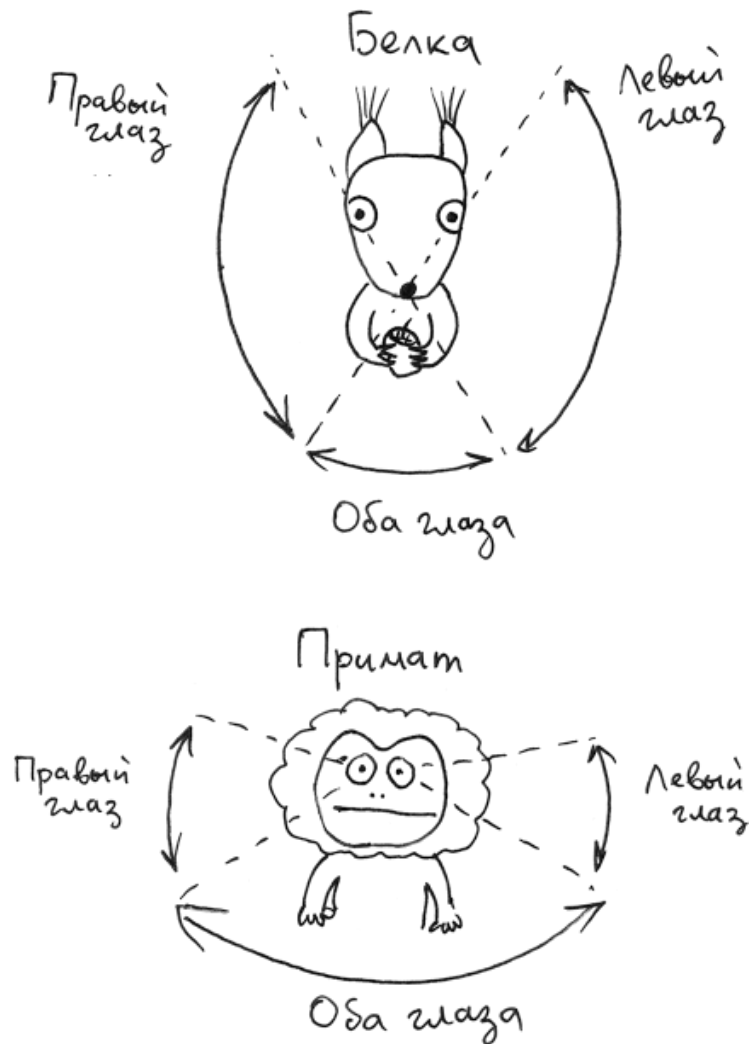
Загін приматів уперше з'являється в геологічному літописі близько 55 млн років тому, через 10 млн років після падіння Чикшубського метеорита, що знищив мезозойських динозаврів. Як і інші загони ссавців, примати сформовані своєю нішею. Ця ніша - дерева^{39, 40}.

Приматів відрізняють довгі, гнучкі, рухливі лапи з великим пальцем, протиставленим решті чотирьох. Ці лапи ідеально пристосовані під хапання гілок. Лазити по деревах, у принципі, вміють і інші тварини - білки, наприклад. Судячи зі скам'янілостей, примати на перших порах своєї еволюції просто дуже добре хапалися за гілки, але з часом розвинули цю здатність в унікальний спосіб тривимірного пересування.

Зазвичай цей спосіб пересування називають "стрибком", але це погано його описує. Стрибок у людському розумінні - це рух, створюваний ногами, які відштовхують тіло від поверхні. Таким способом стрибати з гілки на гілку і білки теж непогано вміють. Але мавпячий стрибок зазвичай робиться руками - передніми кінцівками, на яких можна розгойдуватися всім тілом під час руху по деревах. Власне, руки як щось відмінне від ніг і є пристосуванням до такого стрибка - у більшості ссавців, зокрема й у найдавніших приматів, передні кінцівки обрисами схожі на задні.

Ця здатність пересуватися в трьох вимірах для приматів схожа на політ, тільки на висоті, обмеженій верхівками дерев. Але якщо для звичайного польоту потрібно просто махати крилами, то, щоб літати між деревами, дерева потрібно бачити. Мабуть, тому більшість приматів залишили нічний спосіб життя в минулому.

Історично склалося так, що головний орган чуття нічних ссавців - нюх. Денні примати покладаються на нюх менше, ніж, наприклад, гризуни або хижі, і замість цього розвивають собі зір⁴²⁻⁴⁴. У попередньому розділі я згадував, що людиноподібні мавпи розрізняють більше кольорів, ніж більшість ссавців. У зору приматів є і ще одна перевага: наші очі на обличчі розташовані спереду і дивляться одночасно на одне й те саме. Це відрізняє нас, наприклад, від усе тієї ж білки, чиї очі розташовані з боків голови.



На перший погляд може здатися, що білячий зір кращий, тому що у білки набагато ширший кут зору - вона бачить навіть те, що знаходиться позаду. Навіщо направляти два ока на один і той самий предмет? Насправді питання в тому, для чого цей зір використовується. Бічні очі характерні для типових жертв, коли головне завдання - помічати небезпеку з будь-якого боку. У такому разі кут зору дійсно вкрай важливий. Але в типових хижаків, котів чи сов наприклад, очі розташовані спереду, як і в нас. Це зменшує кут зору, але зате надає йому підвищеної тривимірності.

Зіставляючи злегка відмінні зображення, що надходять із двох очей, мозок обчислює віддаленість предметів, на які обидва ці очі спрямовані, тобто глибину. У це складно повірити, тому що, закриваючи одне око, ми не одразу помічаємо, що картинка стала "пласкою". Це питання звички: оскільки зазвичай у нас відкриті два ока, ми просто пам'ятаємо пропорції предметів. Якщо по піратськи прикрити одне око пов'язкою і так походити незнайомими місцями, то рано чи пізно ви обов'язково об щось спіткнетеся або з чимось зіткнетеся.

Хижакі користуються стереоскопічним зором, щоб, наприклад, точно розрахувати атаку із засідки. Не зовсім зрозуміло, для чого ця тривимірність була потрібна першим приматам (можливо, якраз для полювання на комах, а можливо, для видобутку важкодоступних плодів), але в остаточному підсумку саме вона дала їм змогу "літати" з дерева на дерево в трьох вимірах⁴⁵.

Я описую це пересування в подробицях тому, що виникнення рук у приматів - це майже така ж значуща віха в нашій історії, як виникнення мови. Руки в них з'являються за життя на деревах, але скоро дерева зникнуть, і це запустить послідовність подій, закономірним результатом яких стане поява людини.

Любов для розлуки, шлюб назавжди

Як ми встановили вище, соціальність - здатність розуміти чужу особину, як себе саму, - якоюсь мірою характерна для багатьох ссавців, включно з, наприклад, щурами. Найімовірніше, прообразом цієї соціальності стали стосунки матері та дитини, що сформувалися в мезозойські часи завдяки малим розмірам, теплокровності та живонародженню.

Але загін приматів, що виник у кайнозойі, - просто ярмарок соціальних організацій. Сьогодні в цьому загоні зустрічаються всі можливі варіанти суспільного устрою, які взагалі можна уявити. Для горил характерні патріархальні гареми з одним брутальним самцем і кількома дружинами. Гіббони, навпаки - зразок сімейної ідилії,

за якої батько з матір'ю разом піклуються про потомство. Бонобо віддають перевагу комунам з кількома самцями і кількома самками.

Мабуть, цей останній комунальний варіант був споконвічним: він з'являється серед приматів на ранніх етапах їхньої історії, одночасно з переходом до денного способу життя. Вийшовши з тіні, примати стали збиватися в групи зі спільними інтересами, які з розвитком мозку поступово ставали стабільнішими і складнішими³⁶. Гаремі і моногамні пари, за такою версією, походять з комун, а не навпаки.

Як пояснити, що примати стали збиватися в кооперативні групи, які явно не зводяться до стосунків матері і дитини? Щоб тварини захотіли співпрацювати одна з одною, їм має бути дуже туго поодинці. Чому важко живеться одиночним приматам? Саме тому, що вони вийшли з-під захисту ночі.

Піднявшись на дерева, примати отримали доступ до нової ніші, не зайнятої іншими великими тваринами. Але в такій ніші набагато зручніше існувати за хорошого освітлення, що закономірно витіснило приматів у денний час доби. Своєю чергою, це поставило їх перед проблемою, яка колись стояла перед усіма синапсидами: вдень складніше захищатися від хижаків. Ця проблема настільки небезпечна для самотньої тварини, що заради її розв'язання гени мавп пішли на кооперацію, а отже - на альтруїзм. Саме перевагами колективної оборони сьогодні пояснюють споконвічне виникнення соціальних груп у загоні приматів, а разом із тим - і тенденцію до збільшення мозку.

Серед інших ссавців соціальність, мабуть, зазвичай пов'язана безпосередньо з турботою про потомство. Для кажанів, хижих і парнокопитних (а також для птахів) характерні різкі відмінності між видами, що живуть у моногамних парах, і рештою тих, що живуть поодинці: у "парних" видів мозок стабільно більший. Виходить, що загалом серед ссавців моногамія - це найскладніша форма соціальності. Що може бути складного в моногамії? Потрібно якимось чином змусити чоловіка, який за своєю еволюційною природою абсолютно не схильний ні про кого дбати, кинути все і протягом багатьох років допомагати жінці. З точки зору самки, це означає, що потрібно з розумом підходити до вибору надійного самця, а також вміти ділити з ним ролі. З точки зору самця, це означає повну перебудову мотивацій і пріоритетів, що теж не так просто здійснити без ускладнення мозку.

Але у приматів такої залежності розмірів мозку від моногамії не спостерігається. Для них характерні великі мізки незалежно від типу шлюбних стосунків. Що простежується у приматів, так це зв'язок між мозком і розмірами групи. Інші ссавці тим розумніші, чим краще вони піклуються про потомство, а примати тим розумніші, чим більше у них друзів.

Трохи вище ми зробили висновок, що соціальність ссавців може бути "материнством плюс". Почалося все з матерів, яким за визначенням вигідно вкладати ресурси в потомство, а далі до "рефлексії материнства" підключилися інші суб'єкти й об'єкти. Але "плюс" у різних груп різний. У багатьох ссавців "материнство плюс" - це материнство плюс батьківство, тобто парна турбота про потомство і моногамія. Інша справа примати. Ті історично були стурбовані не стільки турботою про потомство, скільки захистом від денних хижаків. Тому їхнє "материнство плюс" поширюється на ціле суспільство. Примати здатні сприймати всіх своїх одноплемінників з тією самою глибиною та інтенсивністю, з якою батьки сприймають дітей, а статеві партнери - одне одного.



Семейные гоббонот хранят память о толпе народа

Що ж стосується моногамії, то у приматів вона теж зустрічається, але не як початковий варіант, а як наступний етап еволюції комуни. "Сімейні" примати (гібони, наприклад) походять від групових приматів, а не навпаки. Тому на відміну від, скажімо, моногамних гризунів, моногамні мавпи зберігають у собі еволюційну пам'ять про великий натовп народу. Історія людини - це якраз і є приклад переходу від комунальності до моногамії при збереженні здатності до групового спілкування. Ми любимо і дітей, і подружжя, і друзів.

Тут можна знову згадати окситоцин - гормон материнства (він же "гормон взаємності"), що підвищує довіру, взаєморозуміння тощо. Цікаво, що в людей цей ефект, викликаний конкретно людиною, поширюється і на інших оточуючих. У велелюбному настрої здається, що ви любите всіх і всі люблять вас. Насправді експерименти показують, що це не зовсім так. Окситоцин справді викликає м'які "плюшеві" почуття по відношенню до всіх "своїх", а не тільки до тієї людини, з якою ви розмовляєте або, скажімо, цілуєтеся. Але одночасно окситоцин підвищує агресію і недовіру до всіх "чужих". Просто в гарному настрої ви про це не замислюєтеся⁴⁶⁻⁴⁸.

Загалом, окситоцин і тут розповідає еволюційну історію. Наша соціальність - це не просто сліпа любов. Це стадне почуття. Те, що ми сприймаємо як велелюбність, насправді є підвищеним контрастом між "своїми" і "чужими", або, як сказали б біологи, - між інгрупою та аутгрупою. Наше суспільство засноване на захисті від ворогів. Тому з походженням перших приматів пов'язано майже все погане, що є в людських стосунках: ненависть, забобони, шовінізм, війни. Усе це результати "рефлекторної" недовіри до тих, кого ми "рефлексивно" впізнаємо як "чужих", у сукупності з настільки ж "рефлекторною" довірою до "своїх".

На зорі життя на Землі співтовариства генів, що плавають по гідротермальних джерелах, формалізували свої суспільні відносини, ізолювавши "свої" гени від "чужих" у межах замкнутої капсули, тобто клітини. Мільярди років потому вже самі клітини формалізували свої суспільні відносини, ізолювавши "свій" простір від "чужого" замкненим епітелієм, що поклато початок багатоклітинним тваринам. У кайнозойську ж еру тварини, а саме примати, так само формалізували свої суспільні відносини штучним кордоном, ізолювавши "своїх" від "чужих" у власній свідомості.

Емерджентність, емерджентність і ще раз емерджентність.

Навіщо потрібні руки

Приблизно з цього етапу починається більшість книжок про еволюцію людини, тож я лише побіжно згадаю заключні еволюційні штрихи, що перетворили наших людиноподібних предків на власне людину. Близько 3 млн років тому зсув континентальних плит в Африці призвів до зміни клімату в східній частині континенту^{49, 50}. Вологіший захід залишався вкритим тропічними лісами, але на осушеній території сучасної Ефіопії ліси змінилися саваною, тобто високою травою. Примати, які опинилися на цій території, були змушені спуститися з дерев. Оскільки рух по гілках уже частково пристосував їх до вертикальної орієнтації тіла, логічним розвитком подій на землі стало виникнення прямоходіння⁵¹.

Чим пересування на двох ногах краще за стандартний, чотирилапий варіант? Бігати не допомагає. Народжувати - сильно заважає. Але у двоногої тварини є величезна перевага: вільні руки. Ще Дарвін зазначав, що без вільних рук, а отже, без прямоходіння, людина не могла б навчитися жбурляти каміння або виточувати сокири⁵².

З подальшим розвитком біології стало, втім, зрозуміло, що людина не єдина тварина, яка ходить на двох ногах. Навіть не беручи до уваги динозаврів (у тому числі орлів і курок), для яких це норма, на двох ногах іноді ходять інші мавпи, а також, наприклад, ведмеді. У геологічному ж літописі прямоходячі примати з'являються на мільйони років раніше, ніж кам'яні знаряддя, з якими Дарвін пов'язував двоногість.

Дарвінівська гіпотеза "вільних рук" повернулася до життя вже в наш час, щоправда акцент робиться вже не на знаряддях, а на сім'ї. Цю впливову гіпотезу, що пояснює походження людини взаємовідносинами матерів і батьків, запропонував Оуен Лавджой, людина з прізвищем, яке майже карикатурно промовляє ("Lovejoy" - значить "Щастя любові")⁵³.

Згідно з гіпотезою Лавджоя, головна функція рук не в тому, що вони допомагають створювати і жбурляти знаряддя, а в тому, що вони допомагають носити цінні речі, а саме їжу і дітей. Завдяки рукам їжу необов'язково з'їдати там, де її видобули, її можна віднести в збережене місце і залишити на потім або передати родині. Крім того, використовуючи руки, мати може одночасно збирати їжу і нести дитину, що сидить у неї на спині. В умовах савани всі ці можливості стали особливо актуальними, тому що кількість їжі зменшилася, а відстані, які потрібно долати в пошуках фруктів або горіхів, збільшилися. Лавджой припустив, що все це призвело до людської прямохожості, сімейної структури суспільства та вільних рук, які, своєю чергою, відкрили нові можливості для полювання та виготовлення знарядь. Зрештою, такий новий спосіб життя з розширеними можливостями підштовхнув мозок людських предків до подальшого збільшення навіть порівняно з іншими приматами. Частково це збільшення могло бути пов'язане і з переходом на м'ясну дієту, який деякі вчені теж вважають одним із ключових етапів перетворення мавпи на людину^{54, 55}.

Отже, головне в цій версії подій те, що руки допомагають приматам носити цінні речі. До недавнього часу вважалося, що людина в цьому сенсі унікальна, тож перевірити цю гіпотезу було неможливо. Але сьогодні відомо, що навіть шимпанзе використовують свою часткову прямохожість саме в таких цілях⁵⁶. Наприклад, за наявності двох різних видів горіхів, один з яких зустрічається всюди, а інший рідкісний і смачний, мавпи частіше встають на дві ноги, коли несуть цінні горіхи. Тобто інстинкт узяти щось у руки, щоб не загубити, мав існувати в наших спільних предків ще до того, як людина спустилася з дерев. Прямоходіння просто вивело цю ідею на новий рівень. Це не те щоб доводить гіпотезу Лавджоя, але робить її більш правдоподібною.

Є й інші версії причин прямоходіння, частина з яких, утім, не виключає компромісу з гіпотезою Лавджоя. Деякі антропологи, наприклад, ставлять у центр подій необхідність охолодження організму, яке нібито досягалося завдяки голому вертикальному тілу, яке обдували вітри савани^{57, 58}. За цією версією мозок на той момент був уже таким величезним, що перегрівався і міг продовжувати збільшуватися тільки за умови посиленої тепловіддачі. Ще існує цікава, але сьогодні вже забута більшістю фахівців гіпотеза "водної мавпи", яку сприймають скоріше як курйозну, за якої людську двоногість, лисе тіло та особливі властивості теплообміну пояснюють етапом еволюції, на якому наші предки вели напівводний спосіб життя, населяючи прибережне мілководдя⁵⁹.



Так чи інакше, останній мільйон інший років усі основні тенденції в еволюції людини очевидні. Ми виділяємося з приматів безліччю характеристик - відносно великим мозком, відносно рідкісною сімейною структурою, прямохожістю, раціоном харчування, - але жодна з цих ознак не робить нас унікальними. Усі вони більшою чи меншою мірою простежуються і серед інших представників приматів. Прірва між людиною і мавпою при найближчому розгляді виявляється не прірвою, а всього лише вузькою ущелиною між камінням.

І все таки прірва існує. Просто шукати її потрібно не в розмірах мозку, не в температурі тіла і не в гормональних сигналах, а в чомусь емерджентному, що складається з усіх цих компонентів, але рішуче до них не зводиться.

Якщо відкинути гіпотезу про богообраність, то існує тільки одна людська властивість, яка годиться на роль такої емерджентної прірви. Ми винайшли цю властивість, за різними оцінками, приблизно 70 000-200 000 років тому. Вона виділяє нас не просто з приматів, а взагалі з усього живого, що коли-небудь населяло цю планету. Ця властивість перетворює людину з мавпи на нову форму життя. Це новий підхід до існування, перебудова принципів еволюції, яку за раптовістю і масштабами наслідків можна порівняти хіба що з кембрійським вибухом. Ця властивість, що зародилася в останні миті нашої еволюційної історії, нерозривно пов'язана з походженням виду, який антропологи називають "анатомічно сучасна людина"⁶⁰. Саме на цій нашій властивості стоять цивілізація, культура, наука, історія, мистецтво, та й узагалі людська особистість, до виникнення якої ми будемо підбиратися всю решту книги.

Ця властивість називається мовою.

ЧАСТИНА III

Звідки взявся я

9. Думка як абстракція

Є думки у телят?
Я бачив, як телята
Хвостами ворущать
І вдалину дивляться кудись.

Агнія Барто

Чи відчуває равлик біль?

Я використовую у своїй науковій роботі молюсків, і на це запитання мені доводиться відповідати регулярно. Як і будь-які експерименти на тваринах, особливо ті, що стосуються їхнього мозку, досліди над морським зайцем *Aplysia californica* - справа часом брутальна. Аплізія - черевонігий молюск, що виростає за рік з невеликого равлика в товстого слимака розміром з кошеня. Звісно, ми присипляємо своїх аплізій розчином магнієвої солі перед тим, як проводити над ними будь-які експерименти, але людині в принципі складно дивитися на розтин тварини за межами власної тарілки і не бачити, що шматують її саму.

Що насправді хоче зрозуміти людина, коли запитує, чи боляче равлику? Їй хочеться знати, що б вона відчувала, якби сама в цей момент була равликом. Вона уявляє себе такою, що прокинулася в тілі цієї тварини, як герой повісті "Перетворення" Франца Кафки, у повній свідомості, але без дару мови. Він намагається побачити в рухах равлика крик про допомогу. Йому ввижається страшний експериментатор зі шприцом і ножицями, який зловтішно регоче над його нещасним слизьким тілом. Людський біль - це складне суб'єктивне відчуття, і цікавить нас не те, як равлик фізично реагує на біль, а те, що він при цьому відчуває всередині.



Новий кошмар Грегора Замзи

Немає жодних сумнівів, що равлик не відчуває відчуттів, подібних до наших. Він не може намагатися видати крик про допомогу, тому що у нього немає голосових зв'язок, лінгвістичних центрів у мозку і уявлення про те, що таке допомога. Вона не може лякатися експериментатора, тому що вона його не бачить, не чує і не відчуває інакше як у формі набору дотикових стимулів. Її очі - дві дрібні цятки, здатні максимум відрізнити світло від темряви. Вона не в курсі, який вигляд має людський світ. Вона не розуміє, де перебуває, у звичних людині просторових або часових категоріях. Наше поняття болю до нього незастосовне, як незастосовне поняття оперативної пам'яті до праски.

Але що той же равлик відчуває? Він реагує на те, що з ним роблять, саме так, ніби йому боляче. Тікає, якщо його ткнути, звивається, якщо його тримати в руці, випускає хмару фіолетового слизу, якщо його довго смикати або

втягнути з води. Отже, всі ці небезпечні стимули так чи інакше в неї проникають. Що б я відчував, якби відчував усі ці стимули?

Фундаментальне обмеження сприйняття людиною будь-яких інших істот полягає в тому, що ми прагнемо за допомогою спостережень зрозуміти про них те, що спостереженню недоступно. Ми можемо судити про інших тільки з того, що вони роблять. Але цікавлять нас не закономірності руху ("якщо зіштовхнути Серьогу в канаву, він видасть гучний звук"), а прихований від нас розумовий процес ("якщо зіштовхнути Серьогу в канаву, він сильно розсердиться"). Ми не можемо спостерігати внутрішній стан інших людей, зате можемо спостерігати внутрішній стан себе. Тому ми уявляємо, що буде, якщо в канаві опиниться не Серьога, а ми самі, і які при цьому ми будемо видавати звуки. Проробивши таку уявну операцію, ми усвідомлюємо, що Серьогу, напевно, не треба штовхати в канаву.

Але як бути, коли інша жива істота - не Серьога, який за всіма статтями схожий на мене і, ймовірно, розмірковує подібним чином, а морський заєць?

Інтуїтивно людині здається, що тіло - оболонка, всередині якої сидить незалежна від неї свідомі істота. Ми дивимося зі своїх очей, як із перископа, слухаємо своїми вухами, як мікрофонами, спостерігаємо за сигналами власних нервових клітин, наче сидимо в театрі та дивимося на сцену. Уявляючи себе Серьогою, людина уявляє свою особистість у його тілі. Так само, уявляючи себе равликом, людина уявляє, що свідомі істота з її мозку переїхала в нову оболонку і дивиться іншу виставу, але водночас залишається самою собою. Відчуває ті самі відчуття, думає ті самі думки, тільки нічого не може з цього приводу сказати або зробити. Зрозуміло, від цього людині стає страшно.

Але якщо тіло равлика - оболонка, в яку принципово можна встановити людську свідомість, то чому тоді нас не нервує вбивство бактерій? Ті, як і равлики, реагують на те, що з ними роблять: уникають небезпечних речовин і температур, рухаються в бік світла або, навпаки, від нього ховаються тощо. Але якщо равлик, який тікає від уколу, наводить нас на думку про те, що він відчуває біль, то тікання бактерії від кислоти ми пояснюємо просто особливостями її будови. На якій саме підставі ми вирішуємо, у кого є погляд зсередини, а у кого ні?

Раніше люди цей гордіїв вузол рубали з плеча: людина має душу, тому що вона подоба Богу, а всі інші живі істоти - просто механічні пристрої. Але мені складно уявити сучасну розсудливу людину, яка може подивитися на шимпанзе або навіть собаку і вирішити, що це роботи, які не відчувають хоча б частково тих самих відчуттів, емоцій і мотивацій, що й ми. У масштабах усього живого світу ці ссавці за своєю внутрішньою будовою від нас майже не відрізняються. Немає жодних причин вважати, що вони не можуть боятися або радіти, страждати або веселитися, що їм не може бути боляче або приємно, і що ці почуття вони відчувають якимось принципово інакше, ніж людина.

Але де саме пролягає еволюційна межа, на якій механічні реакції стають суб'єктивними відчуттями? Яких тварин ми можемо зрозуміти за допомогою свого мислення, а які нашій уяві принципово недоступні? У кого з тварин є "перше обличчя", точка зору, зрозуміла людині, яка сидить у нас у голові?

Коли студенти запитують, чи боляче равлику, якого я на лекції тикаю в зябра, я зазвичай відповідаю, що ні, бо інакше він би випустив своє фіолетове чорнило. Але це просто відмовка. Насправді, щоб зрозуміти, чи боляче равлику, потрібно уявляти, звідки береться свідомість і з чого вона складається - а це, можливо, найнеоднозначніше питання, яке взагалі стоїть перед людством.

Із чого зроблена свідомість

Історично вважалося, що свідомість, вона ж суб'єктивність, вона ж душа, є особлива матерія, незалежна від матеріального тіла. Така філософська позиція називається "дуалізм", тобто подвійність: є матеріальне, а є свідоме. Головною фігурою в історії дуалізму вважається Рене Декарт з його знаменитим твердженням: "Мислю, отже, існую". Вищезгадану метафору "сцени", на якій свідомість спостерігає "спектакль", що відбувається в мозку, придумав шалений критик дуалізму Деніел Деннет і назвав саме на честь Декарта "картезіанським театром" (Картезій - латинізоване ім'я Декарта).



Картезианський театр Картезія

Типовий аргумент проти дуалізму доволі простий. Якщо свідомість незалежна від матерії, то як вона може на цю матерію впливати, змушуючи нас щось робити? Якщо вона все ж таки впливає на матерію, то чи не означає це, що на матерію при цьому мають діяти матеріальні сили? А якщо на матерію з боку свідомості діє матеріальна сила, то хіба не робить це матеріальним і саму свідомість? Якщо ж свідомість ніяк не впливає на тіло, то навіщо вона взагалі потрібна? Якщо немає впливу, то свідомість ніяк не відбивається на роботі мозку, ніяк не змінює перебігу думок, не впливає на пам'ять, емоції, мотивації та рухи - адже сьогодні ми добре розуміємо, що всі ці речі мають матеріальну природу. Якщо свідомість ні на чому не відбивається, кажуть дуалістам їхні опоненти, то як узагалі вона могла виникнути в процесі еволюції?

Протилежність дуалізму - фізикалізм, який заявляє, що ніякої подвійності немає. Усе матеріально і все складається з фізичних об'єктів, які рухаються і взаємодіють один з одним фізичними силами за фізичними законами. Свідомість, на думку типового фізикаліста, - це особлива, конкретна, фізична ознака мозку, верховний головнокомандувач, який у різних тварин може там бути або не бути, і завдяки якому мозок цієї тварини може контролювати сам себе. Головна проблема фізикалізму - це пояснити, як із руху матеріальних об'єктів у мозку виникає суб'єктивне відчуття цього мозку. Багато філософів вважають цю проблему принципово нерозв'язною і називають її "важкою проблемою свідомості".

Я дотримуюся точки зору, прикордонної між дуалізмом і фізикалізмом, яка ближча за все до філософської школи епіфеноменалізму (в частині винаходу "ізмів" філософам немає рівних). Епіфеноменалісти вважають, що свідомість - це не окремо існуюча властивість живого, а побічний продукт якоїсь іншої властивості. Сама робота мозку за певних обставин породжує свідомість, яка ні для чого конкретного не потрібна, а просто є. Епіфеноменалістів зазвичай відносять до дуалістів¹, тому що для них свідомість і мозок - це різні речі, і в цьому я з ними згоден. Але, на мій погляд, "дуалізм" має полягати не в поділі матерії і свідомості, а в поділі матерії та інформації. Це ж стосується і всієї біології.

Шматок ДНК і нуклеотиди, з яких він складається, - це матерія. Ген, записаний у цьому шматку, - це інформація. На мій погляд, це те ж саме, що дуалізм мозку і свідомості. Але хіба скаже хто-небудь, що ген не впливає на ДНК? Тільки завдяки конкретній послідовності нуклеотидів ДНК може виконувати свою функцію, виробляти білки, копіюватися, розподілятися між клітинами. Тільки завдяки своїй конфігурації матерія набуває осмисленого напрямку руху. З погляду історії життя на землі конфігурація первинна, а матеріальна форма вторинна - адже до появи ДНК гени жили в іншому носії, РНК, але так само змушували цей носій рухатися і розмножуватися. Інформація визначає функцію.

Точно так само і мозок набуває осмисленості і напрямку руху за рахунок своєї конфігурації. Причому якщо конфігурація ДНК - це просто буква за буквою, то конфігурація мозку - це майже нескінченний простір можливостей. Як ми побачимо, на цю конфігурацію впливає кожна подія, що відбувається з мозком за час його існування. Конфігурація мозку, з моєї точки зору, і є свідомість у найзагальнішому сенсі, і за бажання це поняття можна застосовувати до кого завгодно. Питання в тому, що через відмінності в будові мозку, а отже, і в його конфігурації, у різних тварин свідомість, очевидно, відчуває себе по-різному. Це і потребує пояснення. Пояснювати потрібно не що таке свідомість, звідки вона взялася і де вона живе (вона живе скрізь і ніде конкретно), а чому саме наша конфігурація мозку відчуває себе так, як вона відчуває, і що взагалі означає, що якась система "відчуває себе".

Я згоден з дуалістами в тому, що свідомість, тобто конфігурацію мозку, можна розглядати окремо від самого мозку. Теоретично її можна навіть перенести в інший носій, якщо тільки створити штучний мозок адекватної

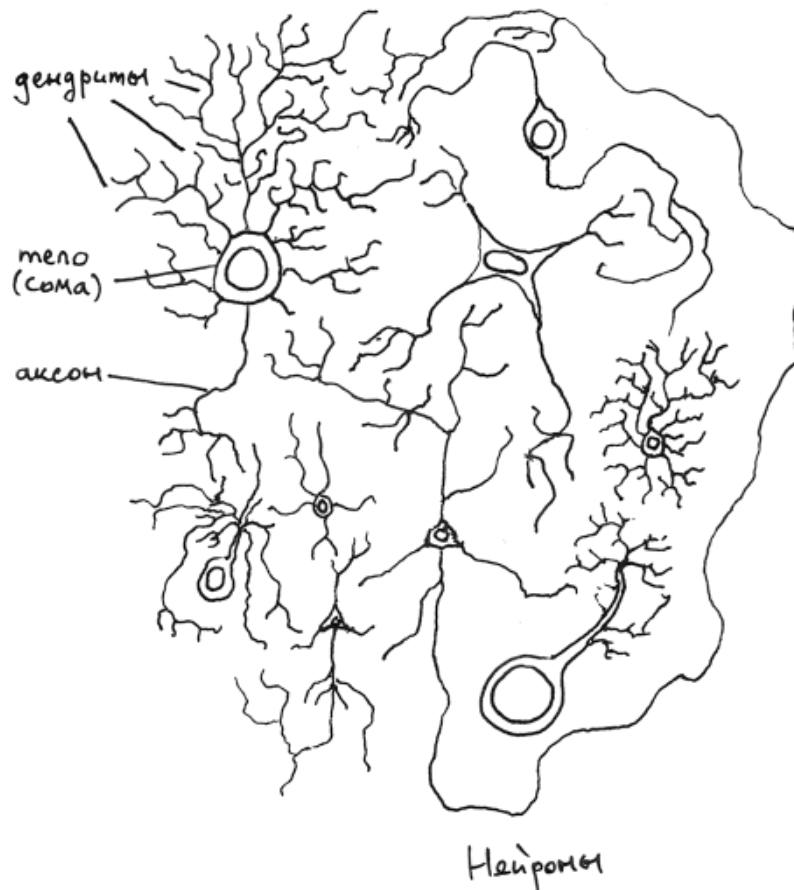
складності. Я згоден із фізикалістами в тому, що, крім матерії, у мозку немає ніяких "особливих субстанцій", як немає ніяких особливих "генних" субстанцій, що витають між нуклеотидами ДНК. З епіфеноменалістами я згоден у тому, що рішення мозку досягаються фізичними способами, а наші суб'єктивні відчуття природним чином "виростають" із цих рішень.

Але і "картезіанський театр" дуалістів, і "важка проблема свідомості" фізикалістів мені здаються надуманими, а в епіфеноменалізмі мені не подобається повне заперечення будь-якої ролі свідомості в матеріальному світі. На мою думку, якщо сприймати мозок як матерію, рухому інформацією крізь час, то змінюється саме поняття свідомості і всі питання відпадають. Взаємодіючи з навколишнім світом, мозок постійно засвоює інформацію, тобто змінює свою конфігурацію. Ця інформація не є сама матерія мозку, але нерозривно з нею пов'язана. Уся сукупність цієї інформації визначає те, що мозок робить надалі. Наша суб'єктивність теж продукт цієї інформації. Як інформація в ДНК - це те, що, строго кажучи, живе й еволюціонує, так і інформація в мозку - це те, що думає й усвідомлює.

Але, щоб зрозуміти, як саме із засвоєної інформації в мозку виростають людські відчуття, нам доведеться для початку прояснити, що таке мозок.

Дроти

У документальних фільмах про тварин трапляється цікавий рефрен. Повзе, припустімо, морська зірка дном морським, раптом чує якогось апетитного равлика і кидається за ним у погоню, наздоганяє, обплутує його своїми щупальцями і заживо жере. "Дивовижна вправність, - підсумовує ведучий. - Особливо для істоти, у якої немає мозку!" Таке в зоології безхребетних трапляється навіть серед спеціалістів: я регулярно чую від колег по аплізії, що в неї теж, виявляється, немає мозку. У аплізії, кажуть колеги, не мозок, а ганглії.



На мій погляд, відмінності між мозком і гангліями ніякої принципової ролі не відіграють. І людський мозок, і ганглії аплізії - це форми існування нервової системи, тобто системи з'єднаних одна з одною нервових клітин, або нейронів. Мозок - це величезна грудка нейронів, а ганглії - це грудки трохи менші. У нас усе зліплено в єдину масу, а в аплізії розподілено між незалежними острівцями нервових клітин, з'єднаних нервами. Те ж саме з морською зіркою: у неї, зрозуміло, теж є нервова система, просто трохи іншої будови, і їй абсолютно байдуже, називаємо ми цю систему мозком чи ні. Коротше кажучи, я роблю радикально і ставлю між поняттями "мозок" і "нервова система" знак рівності. Це один і той самий орган, який робить одне й те саме у всіх тварин. Мозок - це система нейронів. Тож саме в нейроні - ключ до розуміння мозку.

У нервову тканину - те, з чого складається мозок, - крім нейронів, входить ще маса інших клітин, об'єднаних терміном "глія". Раніше клітини глії обзивали в підручниках "допоміжними" (читай - нецікавими), що відображено і в самому слові: "глія" (γλία) - буквально "клей" грецькою.

Сьогодні модно глію поважати. Як з'ясувалося в останні роки, глія бере активну участь у роботі мозку. Наприклад, вона може регулювати роботу тих чи інших нейронних ансамблів, виділяючи в потрібний момент гормони і резервні поживні речовини, так що без участі глії, наприклад, не буде правильно працювати довгострокова пам'ять²⁻⁴.

Глія ж у людському мозку відповідає за зовнішню політику. Наш мозок частково ізольований від решти тіла, як у клітині ядро частково ізольоване від цитоплазми. У мозку, наприклад, своя імунна система, що складається з клітин мікроглії, чия назва звучить кумедно, якщо врахувати, що мікроглія ("маленька глія") - це ніби елітна гвардія макрофагів ("великих пожирачів"). Макрофаги - типові імунні клітини, які патрулюють кров на предмет непроханих бактерій у решті тіла, а мікроглія виконує подібну функцію на території нервової системи^{5, 6}.

У мозку навіть є власна, внутрішня альтернатива крові - спинномозкова рідина. Кровоносні ж судини, що проходять через мозок, щільно обплутані відростками клітин глії, тож усе, що потрапляє з крові в мозок, проходить через найсуворіший митний контроль. Ця стіна між мозком і тілом називається гематоенцефалічним бар'єром. Він захищає мозок від шкідливих речовин, інфекцій і в деяких випадках - навіть власних гормонів організму⁷.

На малюнках у підручниках нейрони нагадують дроти. Це клітини з довгими відростками, що несуть електричний розряд у певному напрямку. Одні відростки - дендрити - несуть вхідні сигнали, інші - аксони - несуть вихідні сигнали. Нейрони з'єднуються один з одним і передають один одному електричний сигнал. Виходить ніби кілька подовжувачів, увіткнутих один в інший.

Насправді нейрони відрізняються від дротів за кількома статтями. По-перше, у дроті електрика рухається по металевій сердцевині, а в нейроні вона рухається по мембрані, тобто ніби по оболонці дроту⁸. По-друге, у дроті струм тече безперервно в одному напрямку (за постійного струму) або хвилеподібно бовтається туди-сюди (за змінного струму), тоді як мембраною нейрона біжать окремі "розряди", через що нейронний потік електрики нагадує скоріше азбуку Морзе. Тільки замість крапок і тире - однакові крапки, що відстукуються з різною частотою (про те, як це виходить, поговоримо трохи пізніше).

Електрика - найпомітніша властивість нейрона. Але насправді в електричних розрядах, що біжать мембраною клітини, немає нічого незвичайного. Точно такі ж електричні імпульси використовуються, наприклад, клітинами підшлункової залози, які виробляють інсулін - гормон, що контролює цукор у крові. Коли ці клітини відчувають підвищення концентрації цукру, вони розряджаються так само, як нейрони, і в результаті викидають свій гормон у кров⁹. Електричні розряди є й у живих істот, які взагалі не мають нервової системи. Наприклад, інфузорія трубочка (прісноводна одноклітинна істота вражаючої складності та розмірів - вона істотно більша за багатьох багатоклітинних тварин) вміє різко скорочуватися від дотику. Це знову таки досягається розрядом, що пробігає по мембрані інфузорії, якщо її потривожити^{10, 11}. У губок, єдиної великої групи тварин без нервової системи, електричними хвилями здійснюється координація потоку води та міжклітинного обміну їжею¹². Навіть рослини відправляють розрядами струму повідомлення в межах організму, наприклад, реагуючи на атаку гусениці централізованим виробництвом отруйних речовин¹³. У будь-якій ситуації, коли сигнал потрібно швидко передати на велику відстань, живі істоти користуються мембранною електрикою. Тож унікальність нейрона в чомусь іншому.

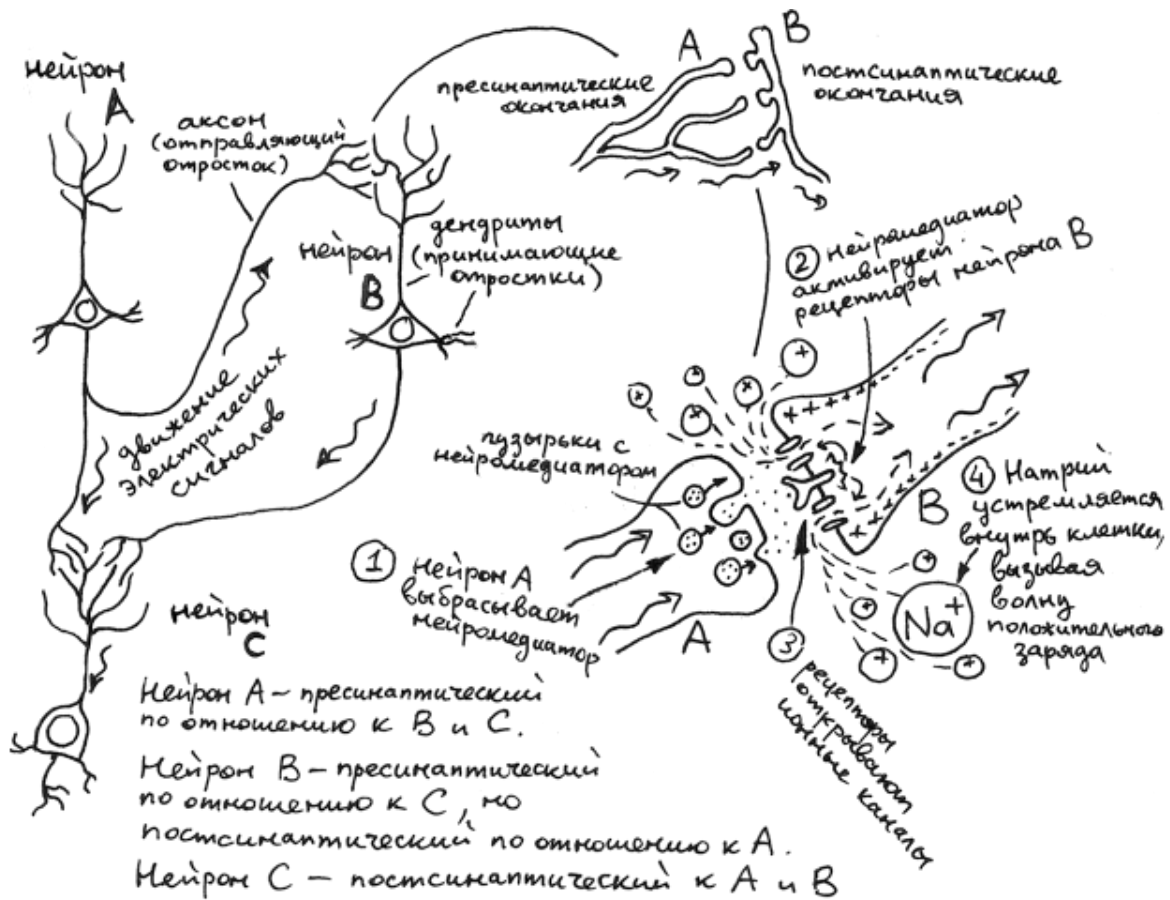
Мозок без електрики уявити в принципі можна, просто він буде дуже повільним. Без чого неможливо уявити мозок, так це без синапсів. Саме синапси, з'єднання між нейронами, визначають унікальні властивості нервової системи. Синапси бувають двох типів, але знаменитий з них тільки один, причому на перший погляд зовсім не очевидно чому. Більшість синапсів у нервовій системі називаються хімічними, меншість - електричними.

Електричний синапс - це якраз подовжувач, встромлений в інший подовжувач. Між двома мембранами двох нейронів встановлюється прямий фізичний контакт із білковими порами, що пронизують обидві мембрани. У результаті електричний сигнал безпосередньо перескакує з одного нейрона в наступний і продовжує рух.

У хімічному ж синапсі відростки двох нейронів зближуються, але не злипаються мембранами. Між ними залишається невелика відстань, яка називається синаптичною щілиною. Тому електричний імпульс не може просто "перескочити". Для цього потрібен посередник, який долає простір синаптичної щілини і доставляє сигнал від нейрона до нейрона. Як такий посередник виступають прості хімічні молекули, звані нейромедіаторами. Вони викидаються закінченням клітини, через яку розряд приходить у синапс (цей нейрон називається, відповідно, пресинаптичним), і приймаються закінченням наступного нейрона (він називається постсинаптичним). Майже будь-який нейрон виступає як постсинаптичний по відношенню до "вхідних" сигналів і одночасно пресинаптичний по відношенню до "вихідних".

На перший погляд, саме існування хімічних синапсів здається нелогічним. "Хімічно" спілкуються між собою клітини за межами нервової системи. Звичайна клітина, щоб послати сигнал, виділяє в розчин сигнальні молекули,

які ліниво пливуть цим розчином і врешті-решт допливають до інших клітин, що їх уловлюють (так працюють гормони та багато інших схожих речовин). Здавалося б, увесь сенс проведення електрики мембраною - це швидкість, якої таким "хімічним" способом не досягти. Навіщо ж тоді зупиняти цей надшвидкий сигнал на кожному перехресті, змушуючи його перетворюватися на звичайний, стандартний, повільний "хімічний" сигнал, який нічим принципово не відрізняється від виділення гормону? Чому б не з'єднати всі нейрони електричними синапсами?



Електричні синапси могли б бути ціннішими, якби сенс мозку полягав у швидкій передачі сигналів від органів чуття до м'язів. Ймовірно, в цьому і полягала початкова еволюційна функція нервової системи: багатоклітинній тварині в пошуках їжі необхідно швидко координувати роботу далеких одна від одної частин тіла. У найпростіших тварин, медуз наприклад, таке проведення сигналу і сьогодні можна назвати головною функцією мозку¹⁴. Але майже у всіх інших сучасних груп набагато важливішим стає не саме з'єднання органів чуття з м'язами, а те, що відбувається посередині. У такій ситуації хімічні синапси набувають сенсу, очевидного будь-якому фахівцеві з обчислювальних машин.

Цифрові комп'ютери, як і мозок, працюють за допомогою електричних сигналів. Але обчислення в них можливі не стільки завдяки металам - провідникам електрики, скільки завдяки кремнію, напівпровіднику, через який електрика проходить по різному, залежно від умов. Завдяки цій властивості кремнієві напівпровідники дозволяють процесорам здійснювати логічні операції. Основний елемент будови процесора - кремнієвий транзистор.

Існують різні типи транзисторів, але в найпростішому випадку це мікроскопічний пристрій, у який надходять два електричні сигнали, а виходить один. Перший із вхідних сигналів впливає на кремнієвий напівпровідник у транзисторі таким чином, що той починає проводити електрику, і це дає змогу пройти другому сигналу, який виходить із транзистора і продовжує рух електричним ланцюгом. За відсутності ж першого сигналу напівпровідник електрику не проводить і другий сигнал не викликає вихідного. Тобто для того, щоб транзистор почав транслювати сигнал, він повинен отримувати обидва сигнали одночасно. А це означає, що транзистор завдяки своїй кремнієвій начинці здійснює логічну операцію узагальнення двох сигналів в один. У комбінаціях із мільярдів таких логічних операцій і полягає робота цифрового комп'ютера.

З тієї ж причини, з якої кремній лежить в основі сучасних технологій, хімічні синапси становлять головний елемент будови мозку. Справа не в тому, що такі синапси краще проводять електрику, а в тому, що вони проводять її по-різному.

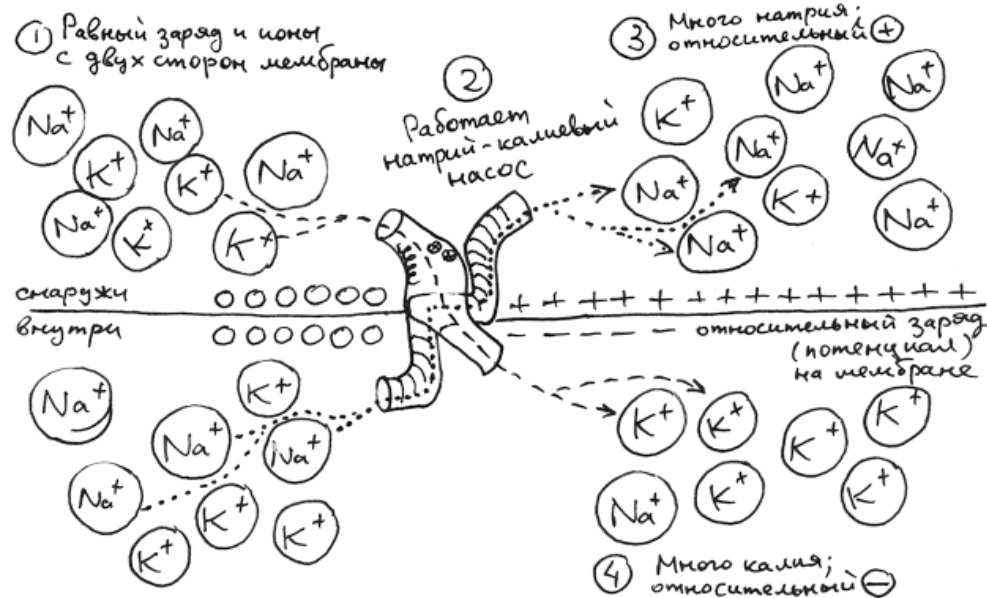
Найдороща деталь

У ссавців близько половини енергобюджету організму йде на роботу всього одного білка, наявного в мембрані кожної клітини¹⁵. Вдумайтеся: половина того, що ви їсте і вдихаєте, витрачається на один єдиний вид молекул, так званий натрій-калієвий насос. Його можна уявити собі як шлюз, який піднімає корабель від підніжжя водоспаду до його вершини, тобто в бік, протилежний природному руху. Звалитися з водоспаду донизу можна мимовільно, тобто без витрат енергії, але для роботи шлюзу енергію потрібно витратити. Натрій-калієвий насос так само рухає калій і натрій у неприродному напрямку, що коштує нам величезних витрат.



ДО РЕЧІ

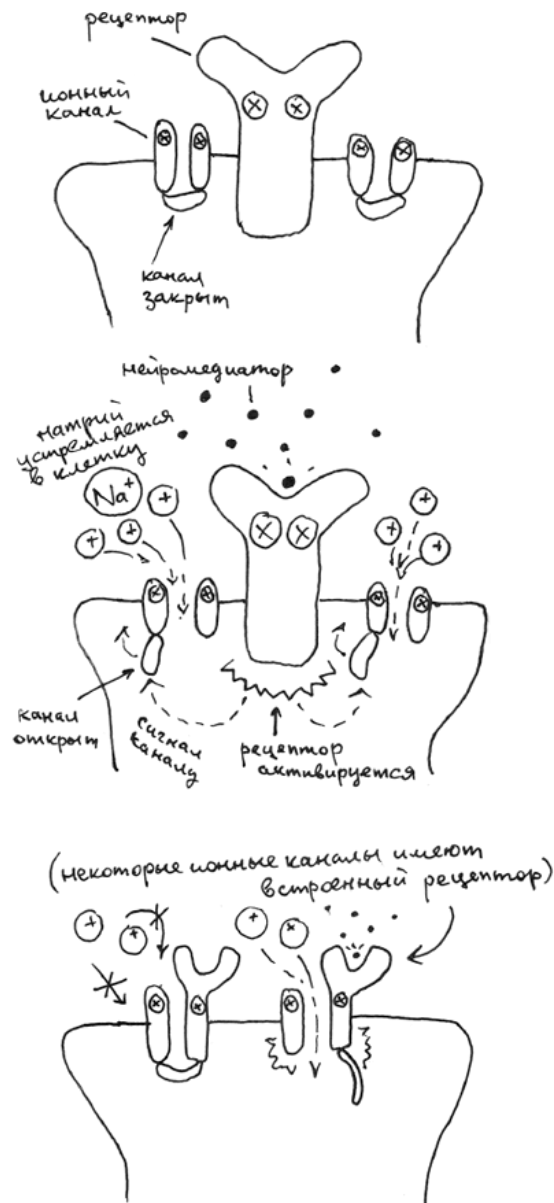
Метали, такі як калій, натрій і кальцій, у водному розчині зазвичай існують у вигляді позитивних іонів. Іони - це заряджені атоми, тобто атоми з перманентно відірваним або зайвим електроном. У разі металів електрон у атомів відірваний, через що їхній заряд стає позитивним, тобто натрій або калій можна уявити як вільно плаваючі "плюси". Але якщо електрони (вільно плаваючі "мінуси") завжди однакові, то різні йони з одним і тим самим зарядом можуть бути різними хімічними елементами, а отже, їх можна відрізнити один від одного. Цим займаються білки, звані іонними каналами та іонними насосами. Обидва ці типи білків "налаштовані" на певний іон і можуть переносити його через мембрану. Канали - це просто фільтри, які пасивно пропускають свій іон звідти, де його багато, туди, де його мало. Бувають канали, які відкриті постійно, бувають такі, що відкриваються за сигналом. На відміну від каналів, насоси активно качають іони, витрачаючи при цьому енергію, але зате можуть рухати іони туди, куди ті мимовільно рухатися не хочуть, тобто туди, де їх і так багато.



Кожен "цикл" шлюза насоса закачує всередину клітини два іони калію, викачує назовні три іони натрію і з'їдає одну молекулу АТФ - як пам'ятає читач, це наша головна молекулярна "енерговалюта". У результаті зовні клітини стає більше натрію, а всередині - більше калію. Але через різну кількість "плюсів", що хитаються в різні боки, зовнішній бік мембрани стає до того ж ще більш позитивно зарядженим, ніж внутрішній. Тобто зовні тепер багато натрію і відносний "плюс", а всередині багато калію і відносний "мінус" - такі відносні заряди ще називають потенціалами. На мембрані завдяки натрій калієвому насосу виникає напруга, яка постійно тягне натрій всередину. А клітина його туди не пускає.

Така "натрієва напруга" - одна з найфундаментальніших якостей усіх живих організмів на Землі, яка корінням сягає, мабуть, до самого походження життя. Рідини, що омивають наші клітини, від крові до міжклітинної речовини, багаті натрієм, як морська вода. Цитопlasма ж будь-якої клітини, від бактеріальної до людської, переважно "калієва". Деякі вчені вважають, що клітини спочатку з'явилися десь там, де було більше калію, і під час виходу в "натрієву" морську воду були змушені штучно відтворювати в себе всередині звичне іонне середовище, викачуючи натрій назовні і закачуючи калій всередину¹⁶.

Так чи інакше, в сьогоденні клітинах постійна натрієва напруга потрібна не просто для комфортної клітинної життєдіяльності, а сама по собі. У нас вона відіграє роль натягнутої струни, на якій завдяки її натягнутості можна щось зіграти. Натрій постійно товпиться біля мембрани, намагаючись проникнути всередину клітини, тому, якщо на мить відкрити йому двері, крізь мембрану спрямовується потужний струмінь його позитивного заряду. Навіть якщо двері тут же зачинити, цей імпульс хвилиною поширюється внутрішньою поверхнею мембрани, швидко нейтралізуючи її "мінус" доти, доки натрій не розсіється клітиною і не буде викачаний назовні натрій калієвим насосом. Такі короткі імпульси, що викликають у мембрані спалахи заряду, що розбігаються, використовуються багатьма клітинами для передавання сигналів з однієї частини клітини в іншу. Але в деяких клітин, і зокрема в нейронів, є ще один трюк, який піднімає цю ідею на нову висоту: потенціал дії.



Постріл голосуванням

Типовий нейромедіатор, викинутий у синаптичну щілину, допливає до "приймаючого", або постсинаптичного, нейрона, і відкриває там натрієві канали. Ці канали якраз і нагадують зачинені двері, які нейромедіатор тимчасово відкриває. Всередину клітини спрямовується натрій, і хвиля позитивного заряду розтікається внутрішньою стороною її мембрани. Але нейромедіатор надходить у синаптичну щілину не постійним потоком, а невеликими хмарками, випущеними закінченням попереднього нейрона. Нейромедіатор швидко витікає з синапсу, часто всмоктуючись пресинаптичною клітиною, яка щойно випустила його, для повторного використання. Так що двері іонного каналу відчиняються лише на кілька мілісекунд, після чого вони знову зачиняються. У результаті струмінь натрію в клітину обривається і викликана ним хвиля позитивного заряду швидко загасає, не сильно просунувшись углиб нейрона. Старанно пихкаючий натрій калієвий насос повертає все на свої місце.

Але що буде, якщо нервова клітина приймає нейромедіатори від декількох нейронів одночасно? Що більше у неї "вхідних з'єднань", то сильніше її бомбардують нейромедіаторами, то більше в неї впускають натрію і то сильнішою є сумарна хвиля позитивного заряду, що розтікається клітиною. Того ж самого ефекту можна досягти, якщо лупити нейромедіатором по одному і тому ж синапсу, але з величезною частотою - так, що натрієва хвиля не встигатиме загасати, а продовжуватиме наростати.

І ось тут, з наростаючою натрієвою хвилею, у справу вступає той самий фірмовий трюк нейрона, який виконує одна з найважливіших молекул у нашій нервовій системі. Називається ця молекула, на жаль, гранично банально: потенціал залежний натрієвий канал.

ДО РЕЧІ

Отруйна риба фугу - знаменитий японський делікатес для любителів гострих відчуттів. Її можна їсти, якщо особливим чином обробити, але варто кухареві трохи промахнутися, і результат для їдця може виявитися смертельним. Приготування фугу жорстко контролюється: кухарям потрібно отримувати спеціальну

ліцензію, а вживання печінки (найотруйнішої частини, яку знавці, звісно, вважають найсмачнішою) взагалі заборонено.

Отрута риби фузу називається тетродотоксин. Ця речовина блокує потенціал залежні натрієві канали, тим самим запобігаючи нервовим і м'язовим імпульсам (скорочення м'язів багато в чому схоже на збудження нейронів). Помирає людина зазвичай від паралічу дихальних м'язів.

Історія з фузу і тетродотоксином цікава насамперед тим, що від нього не помирає сама риба, яка, звісно, теж не може жити без нервової системи і м'язів, а отже, без потенціал залежних натрієвих каналів. Розгадка в тому, що у фузу в генах цих каналів є мутація, яка робить їх нечутливими до отрути¹⁷. Сам же тетродотоксин виробляється не організмом риби, а бактеріями, яких риба поїдає. Тобто еволюційно предки фузу, мабуть, спочатку намагалися знешкодити якусь отруйну їжу, що містить тетродотоксині бактерії, і в підсумку отримали можливість пристосувати ці бактерії для самооборони.

Але найцікавіше в тому, що рівно так само чинять принаймні кілька тварин незалежно одна від одної. Дуже схожі мутації в генах натрієвих каналів виявлено, наприклад, у деяких молюсків і змії, які, як і фузу, користуються мікроорганізмами з тетродотоксином, щоб самим бути отруйними¹⁸. Оскільки всі ці мутації відбувалися незалежно і багаторазово, а в неотруйних тварин не зустрічаються, складається враження, що тетродотоксин - це універсальна протитваринна отрута, яку в принципі легко знайти серед мікроорганізмів, але якою серед тварин майже ніхто не може користуватися, окрім окремих мутантів натрієвого каналу. Ті ж отримують у результаті своєї мутації доступ до потужної бактеріальної зброї. Це чудовий приклад конвергентної еволюції, за якої різні стежки ведуть до однієї й тієї самої ідеї.

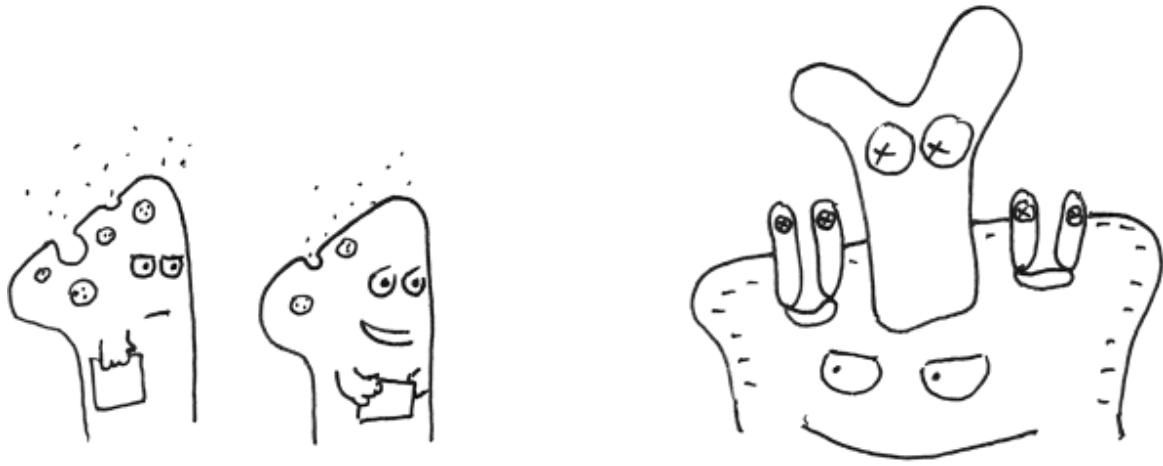
З "натрієвим каналом" у назві все зрозуміло: як і "двері", що відчиняються нейромедіаторами, цей білок впускає натрій всередину клітини. Але ключова властивість цього конкретного каналу - його потенціал залежність, тобто залежність від напруги на мембрані. Ці канали відкриваються не нейромедіатором, а самою мембраною, в якій вони сидять. Варто мембрані (в нормі негативно зарядженій зсередини) впустити в клітину достатню кількість натрію, як розкриваються потенціал залежні канали та впускають у клітину ще більше натрію, що розкриває ще більше потенціал залежних каналів - і так триває доти, доки ці канали не зачиняться мимоволі, обрубуючи натрієвий струм. Весь процес займає лічені мілісекунди, але в цю мить негативний заряд з внутрішньої сторони мембрани раптом різко стає позитивним.

Зазвичай потенціал залежні канали сконцентровані на деякій відстані від синапсів, що "приймають", тому натрієва хвиля, викликана нейромедіаторами, до них доходить не одразу, а тільки якщо достатня кількість синапсів працює одночасно з достатньою частотою. Але варто сумарній хвилі позитивного заряду розростися до розмірів, за яких вона досягає потенціал залежних натрієвих каналів, як ті разом і навстіж відчиняють свої натрієві двері й перетворюють хвилю на лавину. Цю лавину вже не зупинити. Натрій хльостає крізь мембрану, спричиняючи вибухову нейтралізацію, що майже миттєво охоплює всю клітину і всі її відростки. Цей вибуховий ефект і називається потенціалом дії. За мить потенціал залежні натрієві канали спонтанно зачиняються, і клітина швидко повернеться до свого початкового стану. Але "натрієвий вибух", потенціал дії, що пробіг по ній, призводить до головної - і, по суті, єдиної - дії, на яку здатний нейрон: викиду нейромедіаторів у всі його "вихідні" синапси.



Цикл замкнувся: ми простежили рух нервового імпульсу від синапсу до синапсу. Нейромедіатор, викинутий клітиною № 1, впустив у клітину № 2 трохи натрію. За достатньої кількості введеного натрію в клітині № 2 активуються потенціал залежні натрієві канали і впускають дуже багато натрію, тобто спричиняють потенціал дії. У результаті клітина № 2 теж стріляє нейромедіатором у наступну клітину № 3 і так далі. В англійській мові при потенціалі дії так і кажуть: *neuron fires*, "нейрон стріляє".

Синапс може бути будь-якої сили. Але потенціал дії завжди однаковий. Кожне синаптичне з'єднання між двома нейронами може посилюватися або послаблюватися, що відповідає більшій або меншій кількості натрію, що запускається в клітину В "пострілом" із клітини А. Досягатися такі зміни можуть різними способами. Наприклад, клітина А може регулювати кількість нейромедіатора, що міститься в кожному "пострілі". Клітина В, своєю чергою, може змінювати на мембрані, що "приймає", кількість білків рецепторів, "мішеней" нейромедіатора, і тим самим теж впливати на силу сигналу, що передається через окремо взятий синапс. Загалом, кожен нейрон отримує з різних сторін сигнали різної сили. Але варто всім різноманітним сигналам досягти в сукупності потрібного порога, як їх зминає однією і тією ж лавиною потенціалу дії. Цей однаковий потенціал дії - однакова команда до викиду всіх заготовлених нейромедіаторів з усіх закінчень. Це одна й та сама команда "Плі!", яка одночасно досягає всіх наявних у нейроні "гармат" незалежно від того, скільки в них "заряда". Нейрон не може спочатку викинути трошки нейромедіатора з однієї половини своїх закінчень, а потім ще трохи з іншої половини. Він або мовчить, або вистрілює всім, що заряджено, з усіх закінчень.



Входящие соединения пришли голосовать

У людини кожен нейрон постійно отримує сигнали від тисяч інших нейронів. Усі ці тисячі сигналів різної сили складаються, і при досягненні певного порога по всьому нейрону лунає команда "Пли!". Вхідні сполуки ніби "голосують" за потенціал дії, причому залежно від сили кожного синапсу змінюється його внесок у загальне рішення. Потенціал залежні натрієві канали вирішують результат голосування: це вони визначають поріг, за якого тиша перетворюється на постріл. Тобто сенс потенціалу дії - це перетворення маси аналогових сигналів на єдиний дискретний, або цифровий, сигнал.

ДО РЕЧІ

Електричні сигнали в клітинах хороші тим, що за ними відносно легко спостерігати в реальному часі: потрібно просто проткнути мембрану тонким електродом. У дослідженнях, що проводяться в нашій лабораторії, цьому особливо сприяють великі розміри нейронів аплізії (їх видно неозброєним оком). Коливання заряду під мембраною записуються у вигляді графіка, що нагадує кардіограму, але паралельно виводяться на динамік і перетворюються на звукову хвилю. Це складно пояснити, але з динаміком працювати простіше, ніж у тиші, - досвідчений електрофізіолог може на слух відрізнити здоровий нейрон від того, що неправильно шумить.

Активні нейрони зазвичай стріляють не поодинокими потенціалами дії, а цілими чергами - весь цикл "нейромедіатор - потенціал дії - нейромедіатор" триває мілісекунди, тож клітина швидко "перезаряджається" і стріляє знову, якщо її продовжувати стимулювати. Кожен потенціал дії на екрані має вигляд великого гострого піку: він різко злітає вгору і різко падає вниз, через що потенціали дії ще називають "спайками", тобто "шипамі". Але звучить потенціал дії як низький, глухий удар, що нагадує удар бас барабана. Що активніший нейрон, то швидше він гуркоче своїм карданним валом. Згодом різні частоти і навіть тембри ударів починають здаватися голосами - то ледачими, то енергійними, то кволими і хворобливими, то впевненими і обуреними. Як і в будь-якій окремо взятої тварини, у будь-якого окремо взятого нейрона свій характер.

У чому сенс нейрона? Якби він був проводом, то синапси взагалі були б не потрібні. Власне, у нервах їх і немає. Нерви - це якраз високошвидкісні траси передавання сигналу, і складаються вони з дуже довгих відростків одних і тих самих клітин, не переривчастих синапсами і нейромедіаторами. В одному і тому ж нерві можуть бути зведені відростки тисяч клітин, але сигнал по них біжить завжди в межах клітини, а не між ними. Такі відростки досягають величезної довжини: наприклад, у нейронів сідничного нерва, що живуть у спинному мозку, вони повинні доростати аж до кінчиків пальців на нозі.

Але основну частину мозку складають не нерви, а мережі нейронів, з'єднаних астрономічною кількістю синапсів, причому синапсів саме хімічних, "переривчастих", а не електричних, якими сигнал може бігти без зупинки. Завдання типового нейрона - не просто провести сигнал. Його головна функція - узагальнення. Кожен нейрон приймає тисячу різноманітних вхідних з'єднань, а сам відправляє одне й те саме повідомлення тисячею вихідних каналів. Кожне окремо взяте з'єднання і кожне окремо взяте повідомлення значать мало, але їхня сукупність, їхня частота, їхня сила, іншими словами, їхній патерн породжує щось, до чого не зводиться жодне з них. Сенс нейрона - в емерджентності інформації на виході по відношенню до інформації на вході.

Нейрони передають інформацію ланцюгом однією і тією самою азбукою Морзе, що складається з потенціалів дії, які "стріляють" з різною частотою. Але з просуванням ланцюгом синапсів ця інформація змінює значення. Кожен наступний нейрон відображає чергою своїх пострілів все більш і більш складні закономірності. Інформація, яку він

несе, стає більш загальною, більш відчуженою від деталей, більш абстрактною. У цій абстракції й полягає сенс нейрона, а як ми побачимо надалі, і всього мозку. Будь-яка дія, будь-який рефлекс, будь-яка думка зводяться до узагальнення.

Узагальнення як базова математична операція зближує нашу нервову систему з цифровим комп'ютером¹⁹. Схожу функцію, тільки сильно спрощену, в процесорах виконують транзистори - мікроскопічні деталі мікрочипа, яких там десятки мільйонів на квадратний міліметр. Типовий транзистор отримує два вхідні сигнали, а далі по ланцюгу відправляє один вихідний, здійснюючи тим самим елементарну операцію узагальнення. До цієї операції зводяться будь-які, навіть найскладніші обчислення, вироблені комп'ютерами. Але у нейронів, крім здатності узагальнювати, є ще одна властивість, якої у транзисторів немає: вони зберігають у собі пам'ять про минуле.

Ілюзія минулого

Один з епізодів телесеріалу "Чорне дзеркало" крутиться навколо технології, що дає змогу копатися в пам'яті іншої людини і навіть виводити сцени з її минулого на екран спеціального телевізора. Героїня епізоду, страховий агент, користується таким пристроєм для розслідування нещасного випадку і випадково натикається у спогадах другої героїні на щось жахливе. Це жахливе проектується з голови другої героїні на екран телевізора у вигляді каламутного відеоролика, і страхова агентка бачить те, чого не мала б побачити. Далі йде драма.

Ми уявляємо собі власну пам'ять як пам'ять комп'ютера. Пам'ять можна завантажити і закачати, її можна скопіювати, видалити, вивести на екран. Ми дивимося на пам'ять як на річ, що лежить у конкретному місці, і яку можна з цього місця взяти і перекласти в інше місце. Навіть якщо ми знаємо, що файл на екрані комп'ютера - це його віртуальна іконка, ми все одно розуміємо, що десь на жорсткому диску є місце, на яке можна вказати і сказати: "Ось цей файл". Цей файл не зміниться залежно від того, на якому пристрої його відкривати. Він існує сам по собі. Так ми уявляємо і власні спогади. Найкраще це відображено в науковій фантастиці: крім "Чорного дзеркала", можна, наприклад, згадати чудовий кіберпанк бойовик 1995 р. "Джонні мнемонік" за однойменним оповіданням Вільяма Гібсона, в якому герой Кіану Рівза виступає живою флешкою (весь сюжет ґрунтується на тому, що в Джонні мнемоніка в голові уміщається 80 гігабайт інформації, а йому - о жах! - намагаються туди закачати 320 гігабайт. За сучасними мірками все це смішні об'єми, що вміщаються на USB-накопичувачі розміром з монету). Подібне уявлення про пам'ять трапляється і в фентезі: у "Гаррі Поттері", наприклад, є магічний артефакт "Вир пам'яті", у якому можна зберігати потаємні спогади для подальшого перегляду цікавими школярами.

Комп'ютерна пам'ять набагато зрозуміліша за людську, тому велика спокуса дивитися і на нашу пам'ять як на файли, аудіозаписи та відеоролики. Але якщо задуматися про те, що ми пам'ятаємо, то стає зрозуміло, що наша пам'ять так не працює.

Спробуйте не дивитися вліво, а натомість пригадати якомога більше предметів з лівого боку. Якщо тільки ви не сидите біля білої стіни, я гарантую, що ви забудете принаймні половину з того, що могли б згадати. Цю гру, "не дивись ліворуч", вигадала одна моя студентка, яка таким чином спостерігала за собою протягом тижня. Головний її висновок: ми недооцінюємо забуте. Їй завжди здавалося, що вона знає, розуміє і пам'ятає все навколо, але це незмінно виявлялося ілюзією. Насправді вона пам'ятала тільки ті предмети, з якими раніше взаємодіяла і на які звертала увагу.

Цей феномен добре відомий і в науковій літературі: можна все життя на щось дивитися і при цьому абсолютно не пам'ятати, який воно має вигляд. Люди, наприклад, огидно пам'ятають, який вигляд мають дорожні знаки або гроші, хоча про це й не підозрюють. В експериментах на таку тему більшість добровольців спочатку думають, що без зусиль відтворять монету в один цент, але жахаються, коли їм потім показують оригінал²⁰. Нам завжди здається, що ми пам'ятаємо більше, ніж ми пам'ятаємо насправді. У цьому легко переконатися, якщо спробувати по пам'яті намалювати, скажімо, карту світу або качку. У голові вони можуть мати кришталево чіткий вигляд, але варто вам почати водити ручкою по папері, як з'ясується, що ви абсолютно не пам'ятаєте берегову лінію Південної Америки або пропорції качинового дзьоба.

Звичайно, якщо ви фахівець з аргентинського флоту або з харчування водоплавних птахів, ваші шанси згадати більше деталей збільшуються. Але в цьому то й суть: ми не просто запам'ятовуємо властивості навколишнього світу. Ми запам'ятовуємо свої взаємодії з цими властивостями. Спогади не записуються на носій-пустушку - вони проходять через призму нашої уваги і сприйняття, які, своєю чергою, сформовані освітою, вихованням, мовою - інакше кажучи, попередніми спогадами. Нові спогади завжди прив'язуються до інших, уже наявних. Стародавні греки про це знали і навіть користувалися спеціальною технікою запам'ятовування, яка називається "палацом пам'яті". Ідея в тому, що потрібно уявити палац із безліччю кімнат, стелажів і полиць, а потім уявити, що ви кладете те, що хочете запам'ятати, на ту чи іншу полицю в тій чи іншій кімнаті. Фактично це штучно створюваний "каркас", на який зручно кріпити нові спогади. Але тією чи іншою мірою всі ми носимо в голові власний "палац пам'яті", який постійно розширюємо. Біологу простіше запам'ятати інформацію про гени та білки, яка для неспеціаліста звучить тарабарщиною, а піаністу простіше запам'ятати фортепіанний концерт, з якого середня людина не відтворить навіть мелодію. Монета в один цент запам'ятовується погано саме тому, що вона ні з чим не пов'язана і не відіграє

в нашому житті жодної ролі - взаємне розташування різних елементів дизайну ні на що не впливає і ні про що не говорить. Пам'ять не абсолютна, а відносна.

Якби наша пам'ять працювала як відеокамера, то нам було б абсолютно все одно, що запам'ятовувати. Але обличчя, наприклад, запам'ятовуються незрівнянно краще, ніж сніжинки або абстрактні форми²¹. Початок і кінець запам'ятовуються краще, ніж середина²². Незвичайні або емоційно заряджені речі запам'ятовуються краще, ніж банальні²³. Ми запам'ятовуємо те, що сприймаємо, а сприймаємо ми далеко не все, що бачимо.

У своїй крайній формі цей феномен відомий як "сліпота неуваги". Є, наприклад, геніальна соціальна реклама лондонського громадського транспорту, що ґрунтується на психологічному дослідженні 1999 р.²⁴ У ній дві команди баскетболістів швидко пасують м'яч, і глядачеві пропонують порахувати кількість пасів між гравцями в білому. Якщо ви не знаєте, про що я розповідаю, то рекомендую просто зараз відкласти книжку і зауглити "Transport for London awareness test", бо далі будуть спойлери і дивитися стане не так цікаво. Так ось, спойлер: насправді сенс відео не в підрахунку пасів, а в тому, що, поки ви їх старанно рахуєте, серед баскетболістів з'являється людина в костюмі ведмедя і, пританцьовуючи, не поспішаючи прогулюється з одного кута екрана в інший. Я показую цей ролик сотням людей, і поки що ведмедя з першого разу не помітив жоден. "Якщо не звертати увагу, можна багато чого пропустити, - пояснює текст на екрані. - Слідкуйте за велосипедистами".

Коротше кажучи, спогад - не просто відображення реальності, а його заломлення нашим власним сприйняттям, збережене в координатах нашої власної свідомості. У відеоролику всі зображення мають однакову природу: і сніжинки, і обличчя, і автомобілі складаються з одних і тих самих пікселів, і більше ні з чого. Ми ж можемо бачити автомобіль, можемо - автомобіль марки "Тойота", а можемо - автомобіль марки "Тойота", що належить колишній дружині, і все це абсолютно різні уявні конструкції, які відображають не просто момент запам'ятовування, а все наше попереднє життя. Тому уявити собі реалізацію сюжету "Чорного дзеркала" на практиці дуже важко. "Переглянути" свою пам'ять я можу тільки у зв'язку з усім іншим, що є в мене в голові, а отже, для цього потрібна саме моя голова^{25, 26}.

Що таке пам'ять

Головне, що заважає нам правильно розуміти власну пам'ять, це те, що комп'ютерна пам'ять - річ, а наша - зв'язок між речами. Інформація, закладена в окремому файлі, має фізичні координати, межі та сенс у відриві від решти файлів. Інформація, закладена в окремому спогаді, без решти спогадів сенсу не має. Дзен нашої пам'яті полягає в тому, що жоден наш спогад не існує сам по собі, а завжди відображає зв'язок між попередніми спогадами.

Словом "спогад" зазвичай описують лише один із типів нашої пам'яті, званий у науці епізодичною або автобіографічною. Епізодична пам'ять - це пам'ять про епізод із минулого. Припустімо, ви пам'ятаєте, як сиділи з симпатичною молодою людиною в кафе і розмовляли про Рене Декарта. Поки ви там сиділи, ваш мозок отримував одночасно кілька паралельних потоків інформації ззовні: слухова кора аналізувала частоти повітря, що коливається, зорова кора реєструвала приглушене світло та дерев'яні столи, нюховим нервом транслювався запах кави, розбитий на молекулярні компоненти, а мовні центри засвоювали структуру речень вашої інтелектуальної бесіди. У чому полягає спогад про цю дивовижну зустріч? Саме в тому, що всі ці окремо взяті нитки досвіду пов'язані між собою в єдиний вузлик. Якщо потягнути за одну з ниток, то можна відновити всю зв'язку: так, запах кави може викликати в пам'яті сцену з минулого. Епізодична пам'ять працює шляхом реактивації тих самих ділянок мозку, які були активні під час її запису. Це не означає, що в інших ситуаціях ці ділянки нічого не роблять. Просто пам'ять полягає не в самій роботі ділянки, а в тому, що конкретно ці ділянки конкретно в цій ситуації працювали одночасно⁸.



Є й інші форми пам'яті, які "спогадами" ми зазвичай не називаємо, але які зводяться все до тієї ж ідеї посиленого зв'язку між наявними елементами. Наприклад, навички в науковій термінології вважаються формою пам'яті, адже це щось засвоєне організмом із зовнішнього середовища, а не закладене в ньому від природи. Як і епізодична пам'ять, навичка відображає зв'язок між речами, тільки в першому випадку це зв'язок між різними елементами досвіду, а в другому - зв'язок між дією та її результатом. Наприклад, навчаючись гри на фортепіано, ми запам'ятовуємо, які рухи пальців призводять до тих чи інших звуків, і поступово посилюємо зв'язок між шуканим звуком і правильним рухом. Так само працюють будь-які звички, прив'язаності та залежності - все це різні форми пам'яті, що полягають у зв'язку між потрібним результатом і відповідною дією.

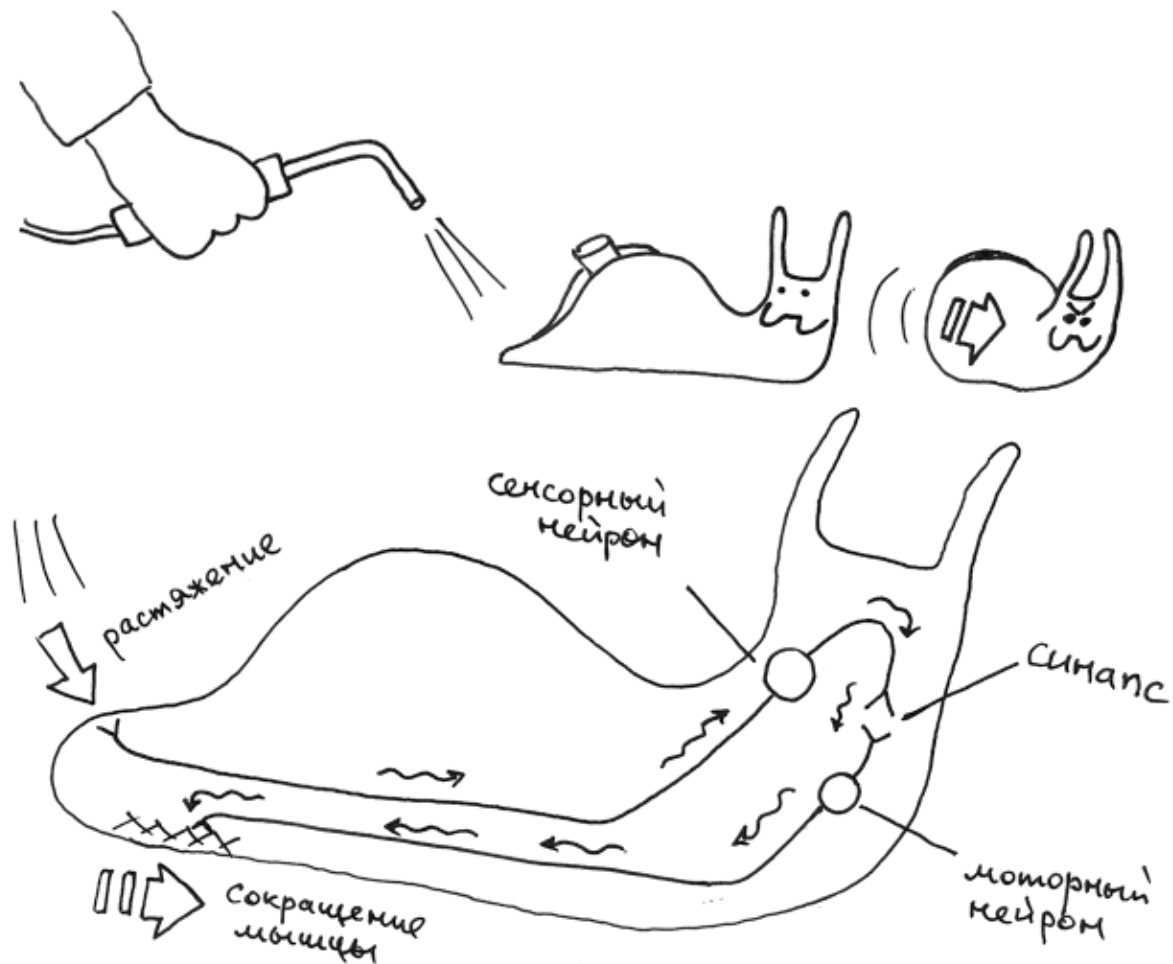
Мабуть, найкращою ілюстрацією того, що пам'ять не річ, а зв'язок між речами, слугує мова. Людина, яка виросла в лісі серед звірів, розмовляти не вміє, тож усе, що ми знаємо про свою мову, ми теж колись запам'ятали. На перший погляд, ця пам'ять полягає у зв'язку слів з їхнім змістом, і це справді частина знання мови. Ми запам'ятовуємо, що слово "мама" пов'язане з виглядом, звучанням і запахом конкретної мами. Але з чого в нас у голові складається слово "мама"? Із двох складів "ма". Тобто для запам'ятовування слова "мама" треба запам'ятати, що склад "ма" пов'язаний із таким самим складом "ма", а не з іншим складом "ра". А склад "ма" можна запам'ятати або як зв'язок між частотами й амплітудами коливань барабанної перетинки, або як зв'язок між двома чорними символами на білій поверхні (це якщо ми вчимо нову мову, вже знаючи її алфавіт).

Будь-яку пам'ять можна уявити як розгалужену систему гіперпосилань, яка в кінцевому підсумку веде до органів чуття. Відеокамера - це ніби око, що запам'ятовує зображення на власній сітківці. Ми ж запам'ятовуємо не те, що бачать органи чуття, а те, як мозок структурує цю інформацію, поєднуючи її в єдину систему.

Тому не дивно, що головний фізичний носій пам'яті в мозку - це синапс, який і являє собою не що інше, як з'єднання.

Мистецтво втягувати

З погляду нейробіології головне, що вміє робити морський заєць, - це втягувати частини тіла у відповідь на подразнення. У принципі, все, що ми, дослідники пам'яті, з ними робимо, зводиться до сили втягування хвостів або зябер. У нас у лабораторії навіть є спеціальний прилад для подразнення равликового хвоста струменем води. Теоретично це зуболікарський апарат для чищення зубів, тому техпідтримка виробника, мабуть, вважає нас божевільними стоматологами: один із моїх колег поставив на вуха всю контору, намагаючись з'ясувати, скільки сили в ньотонах видає струмінь їхнього приладу за 500 мілісекунд.



Плюс аплізії полягає в тому, що її рефлекс прості і настільки добре вивчені, що між подіями, що відбуваються всередині клітин, і подіями, що відбуваються в житті слимака, встановлено прямий взаємозв'язок. Втягування хвоста контролюється двома нейронами - сенсорним, що несе сигнал від хвоста в мозок, і моторним, що несе сигнал із мозку в хвіст. У мозку аплізії два ці нейрони з'єднані єдиним синапсом. Коли ми направляємо свій стоматологічний струмінь води аплізії на хвіст, це активує у відростку сенсорного нейрона іонні канали, чутливі до механічного розтягування мембрани. Хвиля натрію спрямовується в сенсорний нейрон і по його відростку добігає до мозку. Від цього сенсорний нейрон вистрілює свій нейромедіатор - у цьому разі амінокислоту глутамат - у відростки моторного нейрона, які "приймають". Одного пострілу може бути недостатньо, щоб моторний нейрон заворушився, але якщо струмінь води був достатньої сили, то сенсорний нейрон вистрілить одразу чергою, а моторний нейрон "узагальнить" цю чергу своїм власним потенціалом дії. Той пробіжить по його відростку назад у хвіст і викине там інший нейромедіатор - ацетилхолін - у м'яз, що призведе до його скорочення.

Усе це дуже нагадує колінний рефлекс: там теж один сенсорний нейрон, один моторний нейрон і їхні синапси в спинному мозку. Лікар б'є під колінну чашечку - нога смикається. Відмінність у тому, що колінний рефлекс не змінюється залежно від волі або навчання - у цьому весь його сенс для лікарів. Аплізія ж може втягувати хвіст сильніше або слабкіше.

Якщо аплізії набридати струменем води або схожим слабким стимулом кілька разів поспіль із невеликими проміжками, то вона почне реагувати слабше. Це найпростіша форма пам'яті, яку можна собі уявити: в ослабленій реакції на стимул відбивається історія попередніх подій. Аплізія пам'ятає, що струмінь води не завдає їй шкоди. Якщо, навпаки, вдарити аплізію струмом, то після цього вона якийсь час буде дратівливою, реагуючи на струмінь води сильніше, ніж зазвичай. Це теж пам'ять: аплізія пам'ятає, що з нею сталося щось погане.

Фізично ці форми пам'яті полягають у конфігурації синапсу між сенсорним і моторним нейроном. Усе, що моторний нейрон знає про те, що відбувається у хвості, він дізнається з цього синапсу. А синапси, як ми встановили, можуть бути сильними або слабкими. Якщо синапс слабкий, то вплив сенсорного нейрона на моторний теж слабкий. Щоб викликати слабким сигналом бодай один потенціал дії в моторному нейроні, сенсорному нейрону потрібно "стріляти" таким сигналом як із кулемета. Якщо ж синапс сильний (ця сила може різнитися в десятки разів), то одного "пострілу" сенсорного нейрона, навпаки, може вистачити на цілу "чергу" в моторному. Тому залежно від сили синапсу між сенсорним і моторним нейроном один і той самий струмінь води, спрямований на хвіст аплізії, спричиняє в неї різну рухову реакцію.

Що ж визначає силу цього ключового синапсу? Спочатку вона випадкова і в середньому однакова для різних частин тіла, наприклад між сенсорним і моторним нейронами голови і між сенсорним і моторним нейронами

хвоста. Змінюється вона залежно від частоти, інтенсивності та давності використання. Від повтору слабкого стимулу сила тимчасово падає. Від потужного стимулу сила зростає. Ця фундаментальна властивість нейронів змінювати силу своїх синапсів на підставі подій, що сталися з ними в минулому, називається синаптичною пластичністю.

Біологічний сенс пам'яті - це передбачення майбутнього на підставі минулого, а біологічний сенс мислення - передбачення загального на підставі часткового. Нервова система, забезпечена синаптичною пластичністю, здійснює обидва ці завдання. Через те, що кожен нейрон узагальнює слабкі сигнали від тисячі інших нейронів, простір інформаційних можливостей у мозку зростає до незліченних висот. А через те, що кожне з'єднання пам'ятає історію своєї діяльності, ці можливості набувають фізичного тіла, як безтілесні гени, що колись давним-давно виникли в молекулах нуклеїнових кислот.

Коан равлика

Друге за популярністю запитання, яке мені ставлять про аплізій, коли я кажу, що досліджую їхню пам'ять, це: "А що, у них є пам'ять?"

Що, власне, такого дивного в тому, що в аплізій є пам'ять? Адже дивно не те, що аплізія сильніше втягує хвіст, якщо її вдарити струмом. Це якраз дуже інтуїтивно зрозуміла реакція. Дивно було б, якби в аплізії була людська пам'ять - а це якраз і намагається уявити собі людина, яка ставить запитання.

Аплізії пам'ятають те, що аплізії відчують. Їхній сенсорний світ не багатший, ніж у дощового черв'яка, їхні рухи контролюються нехитрими ланцюжками нейронів, тому й інформаційний простір пам'яті для них обмежений простими закономірностями попередніх подій: скільки разів, з якою силою та з якими проміжками їх тицьнули у хвіст, наприклад.

Люди теж пам'ятають те, що відчують. Трильйони синапсів нашого мозку щомиті пропускають крізь себе цілі симфонії потенціалів дії, що гуляють по мозку хвилями електричної активності, в яких всі наші органи чуття з'єднуються єдиною багатовимірною абстракцією. Наші спогади - це шарувате павутиння причинно-наслідкових, емоційних, асоціативних взаємозв'язків між подіями минулого, для зберігання яких потрібно роками перерозподіляти силу в незліченній кількості синапсів, розкиданих по всій нашій величезній нервовій системі, запам'ятовуючи спочатку загальні закони реальності, потім мову, а потім - усе, що про цю реальність знають люди, що оточують нас.

Очевидно, що люди і равлики пам'ятають різні речі. Але пам'ять - процес запам'ятовування інформації - у нас із ними, у принципі, не так уже й сильно відрізняється. І в нас, і в них робота мозку полягає переважно у викидї нейронами нейромедіаторів, які стимулюють інші нейрони. І в нас, і в них запам'ятовування в основному зводиться до модифікації сили синапсів патернами стимуляції. Механізми цього запам'ятовування, багато з яких було вперше показано на аплізії, гранично схожі на механізми пам'яті мишей та інших ссавців. Наш мозок зовсім не схожий на мозок равлика. Але, наскільки можна судити, молекулярна апаратура, що бере участь у роботі нейронів і синаптичній пластичності, у нас майже ідентична.

Якщо між людиною і аплізією щось ідентичне, то майже напевно воно нами обома успадковано від спільного предка. Останній спільний предок людини й аплізії був, мабуть, червоподібною істотою, яка повзала по морському дну незадовго до кембрійського вибуху²⁷. Наша з аплізією пам'ять працює майже однаково. Але наші з нею еволюційні стежки розійшлися за сотні мільйонів років до того, як тварини по-справжньому запанували в океані й тим паче на суші, за цілі епохи до того, як наші предки пройшли через тропічний ліс карбону, пережили динозаврів і залізли на дерева.

У цьому, мабуть, найголовніша цінність цієї тварини для мене. Аплізія максимально віддалена від людини, залишаючись при цьому абсолютно стандартною твариною. Аплізія - не стільки "проста" тварина, скільки тварина абстрактна, узагальнена, типова. Вона набагато типовіша, ніж ми. Вона живе в океані, вона звичайного розміру, звичайної швидкості, звичайної температури, звичайної складності. Аплізія, порівняно з людиною, дає мені точку відліку, заземлює моє уявлення про власну природу, постійно нагадує, що і пам'ять, і мислення, і поведінка - це речі відносні, такі, що потребують власної системи координат, а тому їх легко загубити в нашаруваннях суб'єктивного, людського, особистого.

Усе в житті відносне. Відносний біль, відносні спогади, відносна свідомість. Усе це закономірності часу і простору, патерни, відбиті в матерії, але настільки ж окремі від неї, як окремий зміст книжки від її носія. Навіть самі поняття життя і смерті відносні. Коли я витягую з равлика мозок і протикаю його електродами, чи можна сказати, що равлик мертвий? Судячи з того, що мені повідомляють електроди, його мозок про це не підозрює. А якщо витягти з мозку окремі нервові клітини і з'єднати їх між собою? З їхнього погляду нічого не зміниться. А якщо розділити кожну клітину на молекули? А якщо записати хімічну будову кожної молекули у файл на комп'ютері? Де воно, життя? Де вона, смерть? Усе це просто слова, якими ми розбиваємо один хлопок на дві долоні.

10. Вогонь зсередини

Навіщо прикидаєшся ти
То вітром, то каменем, то птахом?

Анна Ахматова

"Отже, боги, наслідуючи обриси Всесвіту, з усіх боків округлої, включили обидва божественних кругообертання [душі і матерії] в сфероподібне тіло, те саме, яке ми нині називаємо головою і яке являє собою найбожественнішу нашу частину, що панує над іншими частинами. Їй на допомогу вони надали все влаштоване ними ж тіло, потурбувавшись, щоб воно було причетне до всіх рухів, скільки їх немає; так ось, щоб голова не котилася по землі, всюди вкритій горбами і ямами, вагаючись, як тут перескочити, а там вибратися, вони дарували їй цю всюдихідну колісницю. Тому тіло стало довгастим і, за задумом бога, який зробив його рухомим, виростило з себе чотири кінцівки, які можна витягати і згинати; чіпляючись ними і спираючись на них, воно набуло здатності всюди просуватися, високо носячи вмістилище того, що в нас найбожественніше і найсвятіше.

Таким чином і з такої причини у всіх людей виникли руки і ноги. Знайшовши, що передній бік у нас благородніший і важливіший за задній, вони приділили йому головне місце в нашому пересуванні. Згідно з цим потрібно було, щоб передній бік людського тіла отримав особливий і незвичайний устрій; тому боги саме на цьому боці головної сфери помістили обличчя, пов'язавши з ним усі знаряддя промислительної здатності душі, і визначили, щоб саме передня за своєю природою частина була причетна керівництву.

Зі знарядь вони насамперед влаштували ті, що несуть із собою світло, тобто очі, і пов'язали їх [з обличчям] ось із якої причини: вони задумали, щоб з'явилось тіло, яке несло б вогонь, який не має властивості палити, але виливає м'яке світіння, і майстерно зробили його подібним до звичайного денного світла. Річ у тім, що всередині нас мешкає особливо чистий вогонь, споріднений зі світлом дня, його то вони змусили рівним і щільним потоком вилитися через очі; водночас вони ущільнили як слід очну тканину, але особливо в середині, щоб вона не пропускала нічого більш грубого, а тільки цей чистий вогонь.

І ось коли полуденне світло обволікає це зорове витікання і подібне спрямовується до подібного, вони зливаються, утворюючи єдине й однорідне тіло в прямому напрямку від очей, і до того ж у місці, де вогонь, який прямує зсередини, стикається із зовнішнім потоком світла. А оскільки це тіло завдяки своїй однорідності зазнає все, що з ним не станеться, однорідно, то варто йому торкнутися чогось або, навпаки, випробувати якийсь дотик, і рухи ці передаються вже йому всьому, доходячи до душі: звідси виникає той вид відчуття, який ми іменуємо зором "1.

Це цитата з "Тімея", одного з діалогів Платона, де описується походження природи і людини. За Платоном, спочатку були створені душі, які потім були "посіяні" богами в смертних, матеріальних носіях, названих ним "знаряддями часу". Унаслідок такого вкорінення духовного в матеріальному з'явилася необхідність у сполученні їхніх "кругорухів". Так виникло відчуття - "вимушена" реакція душі на те, що тіло "приймає або вивергає".

Душі, згідно з Платоном, перероджуються з одного "знаряддя часу" в інше за схемою, що нагадує індуїзм з відтінком шовінізму. У кожній душі є вихідний, безсмертний стан, у якому вона припаркована до відведеної їй зірки. Душа, що населяє смертний організм, прагне повернутися до своєї зірки (ці зірки нагадують ведійське поняття брахмана - позачасового абсолюту, "душі світу", що пронизує весь світ). Але ось потрапить туди душа чи ні, визначається тим, як вона проживає поточне життя, - це дуже схоже на ідею карми. "Той, хто проживе відміряний йому термін належним чином, повернеться в оселю однойменної йому зірки і вестиме блаженне, звичайне для нього життя, а той, хто цього не зуміє, у другому народженні змінить свою природу на жіночу".

Всі інші властивості людського тіла вторинні стосовно цього початкового сполучення душі з матерією. Боги, стверджує Платон, обожнюють округлі форми, тому створили спеціальне сферичне тіло, що називається головою, і дали йому в розпорядження "колісницю" з рук, ніг і тулуба - не котитися ж голові, як Колобку, по землі, "усюди вкритій ямами і буграми". Далі боги з досить неясних причин вирішили, що "передній бік шляхетніший і важливіший за задній", і помістили на цей бік обличчя, забезпечивши його "знаряддями", головним з яких стали очі. І тут починається найцікавіше.

яких стали очі. І тут починається найцікавіше.

Тіло, згідно з Платоном, містить у собі особливий вогонь, який виливається з очей. Цей вогонь, зустрічаючись із вогнем навколишнього світу, породжує якесь "однорідне тіло", чий рух передається душі. Цей рух сукупності внутрішнього і зовнішнього вогню і становить зір.

Більшість сучасних авторів описують цю теорію з поблажливою іронією. Варіації на тему "вогню з очей" були поширені в античному світі впродовж століть: Гален, наприклад, описує майже те ж саме через майже п'ять століть після Платона². В історіографії науки за "теорією екстремістичності" (тобто теорії, що зір заснований на випромінюванні з очей) закріпилася репутація наївної помилки з глибокого минулого.

Постаттю, яка перекинула цю оману з ніг на голову, вважається арабський учений X-XI ст. Ібн аль Хайсам, також відомий під латинізованим ім'ям Альхазен. У своїй семитомній "Книзі оптики" він зі скрупульозною педантичністю,

гідною сучасних наукових журналів (хоч і значно багатослівнішою), на друзки рубає теорію екстрамісії та доводить, що зір працює у зворотному напрямі: світло не виходить з очей, а навпаки - потрапляє до очей ззовні. Головний аргумент Ібн аль-Хайсама полягає в тому, що якщо з очей справді щось "випромінюється", то це щось потім однаково має якось потрапити назад в око. Отже, припущення про "випромінювання" нічого не додає до пояснення, і, оскільки воно ні на чому, крім фантазій, не ґрунтується, ним можна знехтувати. За кілька століть цей логічний принцип отримає назву "бритви Оккама", на ім'я англійського францисканського ченця, який у такий самий спосіб "відсікав" від своїх міркувань усе непотрібне.

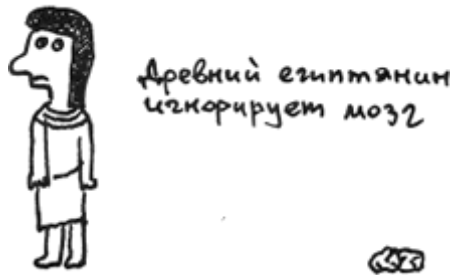
Сьогодні теорія екстрамісії здається дикою - ну чи не дурні всі ці античні філософи? Наприклад, якщо зір вимагає, щоб промені з очей досягли предмета, на який ми дивимося, то як ми бачимо зірки? Насправді, усвідомлено чи ні, сучасна людина з дитинства вбирає в себе великі відкриття Ньютонів, Максвеллів і Пастерів. Ми інтуїтивно розуміємо, що в землі є тяжіння, що в розетці струм, що брудні предмети населені мікробами, але ця інтуїція насправді ґрунтується на знаннях, накопичених за багато тисячоліть. У XXI ст. складно поставити себе на місце античного вченого, який майже нічого не знає про структуру Всесвіту, природу світла і роботу мозку. Як, наприклад, пояснити, що ми бачимо тільки перед собою, якщо не знати, що світло складається з прямих променів? Без спеціальних приладів абсолютно не очевидно, що світло кудись рухається, причому по прямій. Якщо на секунду забути підручник з фізики, в якому світло намальоване прямою стрілкою, то стає неясно, чому ми не бачимо позаду себе. З цього погляду ідея про те, що ми фізично "обмацуємо" предмети очима, інтуїтивно здається більш очевидною. Стоїки, наприклад, користувалися аналогією палиці, за допомогою якої "бачать" сліпі, - точно так само ми не бачимо позаду себе, тому що не мацаємо там "палицею" свого зору.



Питання оптики зору були остаточно вирішені відносно недавно, у XVI ст., коли Йоганн Кеплер встановив, що кришталік проектує перевернуте зображення на задню поверхню ока. У давнину вважали, що око бачить усім своїм об'ємом, але сьогодні ми знаємо, що чутливою до світла в нашому оці є лише сітківка, а все інше потрібне для проведення і заломлення променів. Так чи інакше, міркування середньовічного вченого Ібн аль-Хайсама залишаються чинними досі: з ока нічого не випромінюється.

Проте психологічні дослідження показують, що люди й сьогодні інтуїтивно схильні до теорії екстрамісії⁴. Дітям здається логічним, що очі проектують щось на навколишній світ. Якщо їм показувати освітні фільми, що спростовують екстрамісію, а потім показувати картинки, в яких промені рухаються з очей або в очі, то одразу після перегляду вони обирають правильні варіанти, але за кілька місяців забувають зміст фільму і знову починають схилитися до променів з очей. Трапляється таке і серед дорослих, причому незалежно від наявності в них вищої освіти. Людина схильна вважати зір активним процесом, тоді як наука стверджує, що зір пасивний. Це відображено навіть у мові: ми дивимося на предмети, а не предмети "дивляться" на нас, як ллється на нас вода або дме на нас вітер.

Чим пояснюється така живучість, здавалося б, сміховинної теорії з давнини? Можливо, тим, що вона не така сміховинна, як здається. Просто в її античному формулюванні дається взнаки брак фактичних знань, а саме той факт, що стародавні вчені до смішного ігнорували мозок. Одні вважали його пристроєм для охолодження, інші пристроєм для виготовлення сперми, а єгиптяни взагалі думали, що функція мозку - доставляти в ніс слиз. З точки зору філософів минулого, відчуття породжуються органами чуття, які спілкуються безпосередньо з душею. Якщо сьогодні питання зору вважаються питаннями нейробіології, тобто науки про мозок, то в давнину зір вивчала оптика - наука про поведінку світла та його взаємодію з оком⁵. У цьому полягає головна неповноцінність міркувань Платона: вони концентруються на очах, які насправді відіграють суто "приймаючу" роль додатків мозку і нічого у зовнішній світ не випромінюють. Але ось якщо відмовитися від очей і заглибитися в механізми сприйняття, заховані в глибині нервової системи, то "два вогні" Платона, які з двох боків зливаються в єдине відчуття, звучать разуче сучасно.

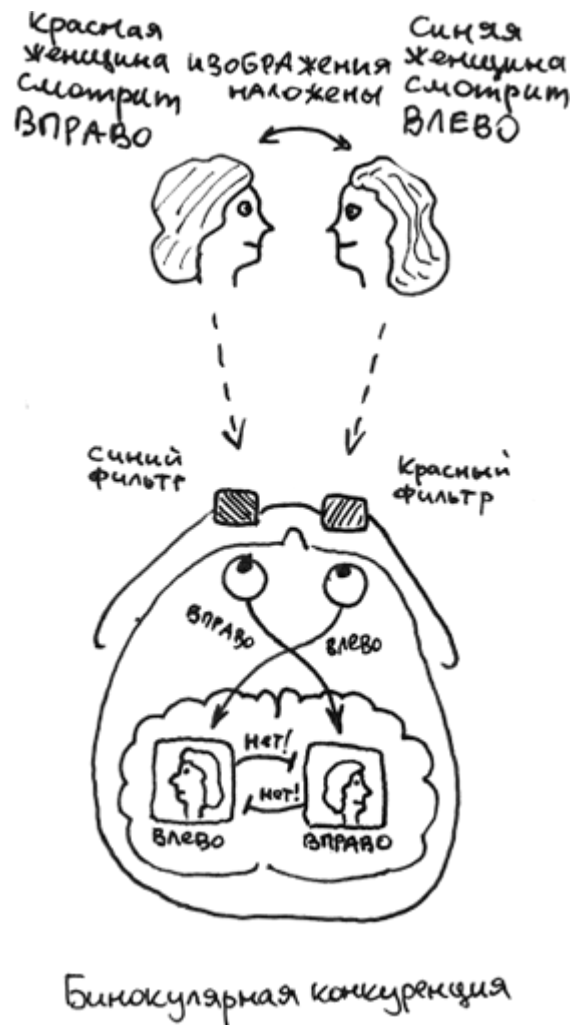


Право проти ліва

Найкращий засіб познайомитися з власним мозком, не вдаючись до впровадження електродів чи заборонених хімічних речовин, - це зоровий ефект під назвою "бінокулярна конкуренція". Його легко відтворити вдома або в аудиторії. Усе, що для цього потрібно, - паперові 3D-окуляри з червоною і синьою лінзами та екран із червоно-синім зображенням. На лекціях я користуюся картинкою, у якій червона жінка, що дивиться ліворуч, накладена на синю жінку, що дивиться праворуч. Різнокольорові лінзи в окулярах фільтрують це зображення так, що кожне з очей отримує різні картинки. Я прошу студентів вдягнути окуляри й уважно придивитися до жінки: в який бік вона дивиться?

Більшість людей, які вдягнули окуляри, бачать тільки одну з двох картинок - наприклад, жінку, що дивиться ліворуч. Але якщо продовжувати на неї дивитися, то через кілька секунд картинка раптом починає ворухитися і змінюється на іншу - жінку, яка дивиться вправо. Через кілька секунд ситуація повториться і вихідне зображення повернеться на місце. Такі коливання сприйняття триватимуть доти, доки людина не зніме окуляри. Два зображення, що "конкурують", ніколи не зливаються в єдине ціле, а ходять туди-сюди між картинками, які отримують ліве і праве око.

Цей простий експеримент ілюструє фундаментальну властивість нашого сприйняття. Наші відчуття - не просто сигнали від органів чуття, а інтерпретації цих сигналів, які ми активно вибираємо з безлічі можливих.



Бинокулярная конкуренция

У більшості випадків два наших ока дивляться на одне й те саме, на відміну від очей, наприклад, коня. Ця властивість споріднює нас із совами і хижими звірами на кшталт кішок, але в нашому випадку була, мабуть, адаптацією до життя на деревах, що вимагає пересування в трьох вимірах. Через близьке розташування спереду на обличчі наші очі отримують зображення на сітківці, які злегка розрізняються, але замість двох "плоских" зображень ми бачимо одне об'ємне. Сітківка фізично нездатна сприймати об'єм, тому що вона сама плоска. Але узагальнюючи інформацію з двох сітківки, мозок формує єдине відчуття, що включає як власне інформацію від очей, так і більш абстрактну інформацію про розташування предмета в просторі.

Бінокулярна конкуренція - клин, встромлений у цей механізм зіставлення та узагальнення. Принцип будь-яких 3D-окулярів полягає в тому, що двом очам показують різні зображення. У тривимірному кіно ці зображення розрізняються тільки перспективою, штучно імітуючи об'ємний зір, тому мозку здається, що він дивиться не на плоский екран, а на рельєфні предмети. При бінокулярній конкуренції ж очам пред'являються зображення, абсолютно не сумісні між собою. Мозок намагається виконати з ними свою звичайну операцію узагальнення і виробити на їх підставі єдиний ментальний об'єкт. Він хапається за одне із зображень (скажімо, жінка, повернута вліво) і вирішує, що це і є те, на що він дивиться. Але ця інтерпретація сумісна тільки з одним із очей. Щойно мозок вирішує, що жінка дивиться ліворуч, виникає конфлікт із другим оком, яке стверджує, що жінка дивиться праворуч. Через кілька секунд мозок здається і намагається прийняти таку версію подій. Але варто йому вирішити, що жінка все таки дивиться праворуч, як перше око починає так само цьому суперечити. Мозок не може вибрати єдину інтерпретацію, бо єдиної інтерпретації не існує, і заціклюється в постійній зміні пояснень побаченого.

До конфлікту між зоровими інтерпретаціями зводиться майже будь-яка оптична ілюзія. Є, наприклад, відома картинка, на якій можна побачити або білу вазу, або два чорні профілі - але не те й інше одночасно. Ця ситуація схожа на бінокулярну конкуренцію, тільки в цьому випадку конкурують між собою не два ока, а дві різні інтерпретації зображення, яке бачать обидва ока.

Навіщо потрібна така система інтерпретацій, стає зрозуміло, якщо тверезо оцінити можливості наших очей. За якого кута огляду зображення здається вам чітким і ясним? Більшість людей скажуть, що цей кут становить принаймні 90° , а то й усі 180° - адже щось таке ми на периферії поля зору бачимо. Насправді ділянка сітківки, яка здатна розрізняти предмети з максимальною роздільною здатністю, відповідає куту огляду у $2-3^\circ$ - це приблизно ніготь великого пальця на витягнутій руці. Порівняно з цією крихітною ділянкою, яку називають жовтою плямою, решта сітківки майже нічого не бачить: на краях узагалі то дуже вузького кута огляду в 20° роздільна здатність зору

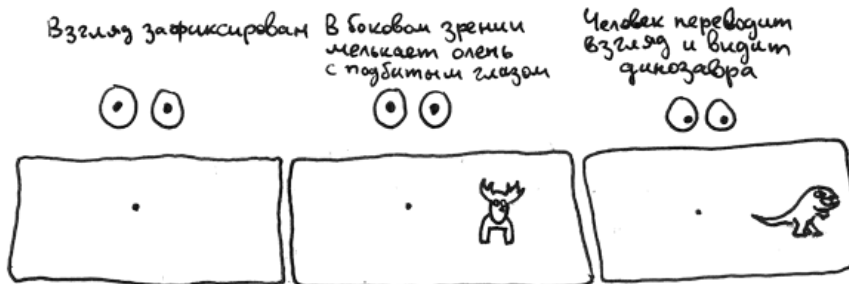
падає вдесятеро. Цієї роздільної здатності вистачає, щоб помітити, що в бічному полі зору щось відбувається, але не вистачає, щоб зрозуміти, що самеб, 7.

Як ми взагалі тоді щось бачимо? По-перше, ми постійно рухаємо очима: у середньому три-чотири рази на секунду. Але одним рухом очей проблеми не вирішити - спробуйте дивитися через соломинку і швидко швидко нею рухати. Важливіше те, що ми в принципі бачимо не сигнали з очей, а власні фантазії на тему цих сигналів. Самі ж сигнали здебільшого потрібні тільки для коригування таких фантазій, оновлення вже наявного уявлення про навколишній світ. Усе це дає нам змогу постійно жити у "віртуальній реальності" власних відчуттів, яка набагато зрозуміліша за хаотичну й непередбачувану сенсорну інформацію.

ДО РЕЧІ

Очі рухаються різкими смикаючими рухами, або саккадами, які тривають зазвичай від 20 до 200 мілісекунд. На цей час потік зорової інформації в мозок відключається і ми нічого не бачимо. Якби вам показали фільм, у якому чотири рази на секунду були б прогалини навіть у 20 мілісекунд, ви б не стали його дивитися. Але зір суб'єктивно сприймається як безперервний відеопотік. Нам здається, що ми просто дивимося, але насправді здебільшого ми уявляємо. Інформація, що постачається в мозок очима, - тільки одна зі складових частин відчуття зору.

В одному експерименті, наприклад, добровольців просили зафіксувати погляд у центрі екрана, після чого у них у бічному полі зору з'являлася якась картинка. Поки люди переводили погляд на цю картинку, її підміняли іншою. Якщо це зробити швидко, то людина не помічає підміни і думає, що ось цю другу картинку вона і бачила боковим зором. Якщо таке повторити багато разів, то надалі люди дивитимуться боковим зором на першу картинку і казатимуть, що бачать другу - ту, яку звикли бачити після переведення очей. Тобто боковий зір - це принаймні частково звичка, ілюзія чіткого, об'єктивного зору там, де насправді ми орієнтуємося за пам'яттюб, 8.



X 100 Так повторяется много раз



У те, що ми насправді дуже погано бачимо боковим зором, може бути складно повірити. Якщо ви, як і я, дивитесь на таку можливість скептично, то, найімовірніше, ми з вами просто люди унікальних здібностей. Але для перевірки є простий експеримент7. Спробуйте зафіксувати погляд на рядку тексту і не рухати очима. При цьому спробуйте переключити увагу на рядок нижче. Потім ще на один. І ще. За півхвилини ви відчуєте, що в очах начебто

помутніло: чітко видно лише кілька слів, на яких сфокусовані ваші очі, а все інше розмите. Насправді, саме так ми все і бачимо. Інші ж деталі того, що нам бачиться в бічному полі зору, - віртуальна модель реальності, виготовлена мозком на підставі попереднього досвіду. Саме цю віртуальну модель, а не власне навколишню реальність, населяє наша свідомість.

Хлор і золота сукня

Погляньте на цю картинку.

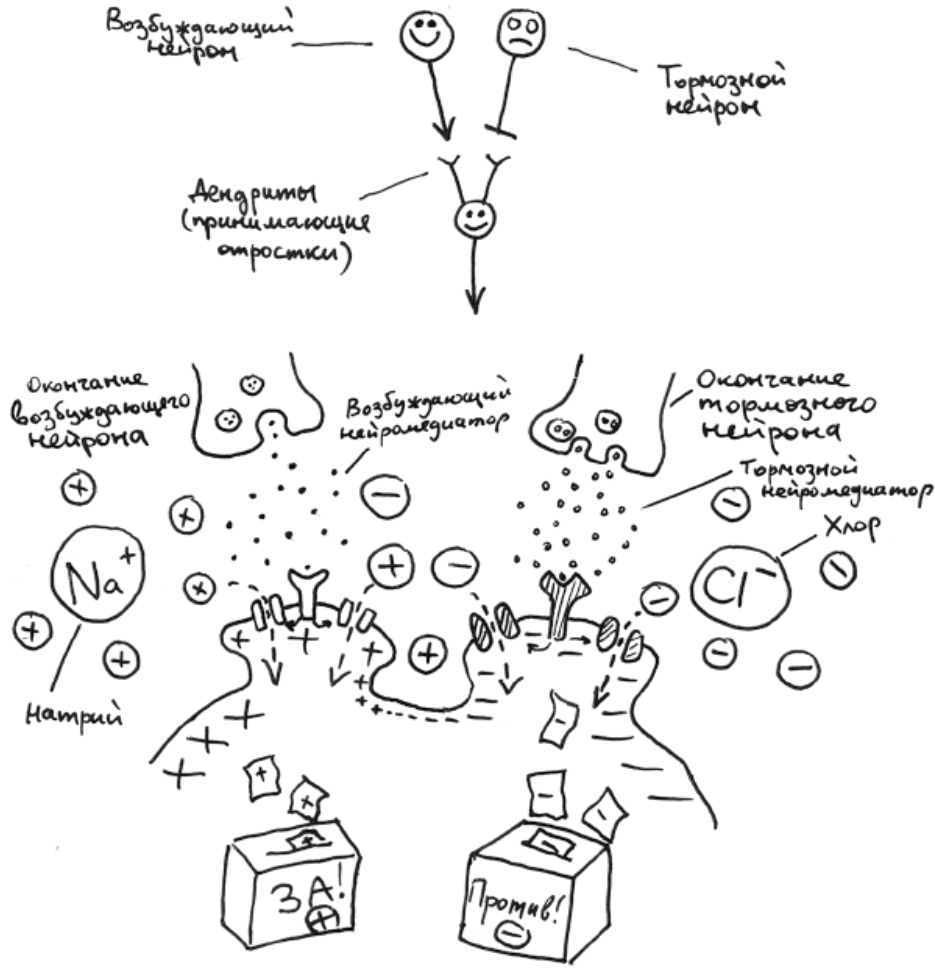


Якщо не знати, що на ній зображено, то картинка виглядає як чорні плями на білому тлі. Але якщо знати, що на зображенні зображений далматинець, який нюхає землю біля дерева, то плями легко "збираються" в чорно білу фотографію собаки. Ба більше, одного разу побачивши далматинця, "розбавити" його майже неможливо. Заплющивши очі, його образ можна уявити без жодних перешкод.

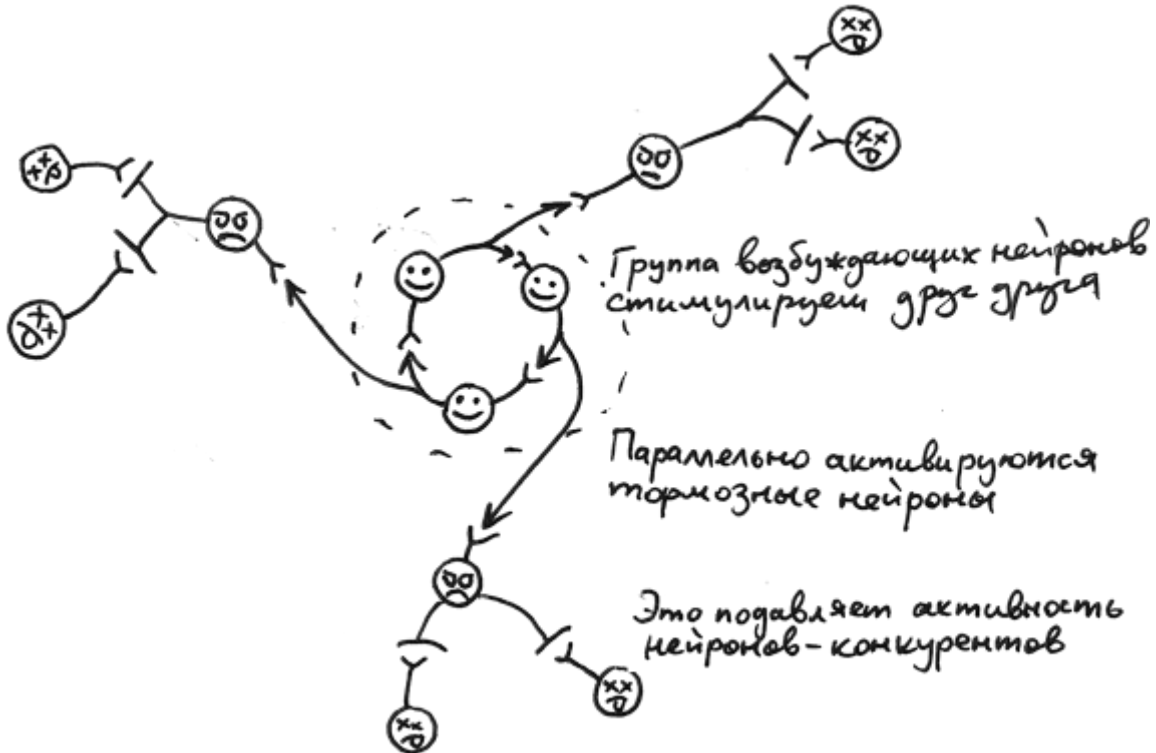
Приблизно так працює знамените фото сукні, яка різним людям здається або біло-золотою, або синьо-чорною. Як і у всіх інших випадках, дивлячись на цю фотографію, ми сприймаємо не просто зображення, а ментальний об'єкт. Ми бачимо не кольори, надруковані принтером на папері, а уявляємо, який насправді вигляд має сукня, якби ми її розглядали в реальності. Щоб "зібрати" такий ментальний об'єкт, нам потрібно узагальнити дві речі: по-перше, власне кольори на папері, по-друге, освітлення на фотографії. Залежно від того, за якого освітлення фотографію було зроблено, сукні, які насправді мають різний колір, на папері виглядатимуть однаково. Тому від нашої інтерпретації світла залежить те, як ми сприймаємо справжній колір сукні. Фотографія з сукнею відрізняється від будь-якої іншої фотографії тим, що вона збалансована рівно на межі двох можливих інтерпретацій кольору світла. З якихось незрозумілих причин, чи то через властивості зорової системи, чи то просто випадковим чином, у різних людей перемагає або одна інтерпретація, або інша. Але головне в тому, що, коли одна з них перемагає, людині потрібні неймовірні зусилля уяви, щоб побачити другу. Одним словом, інтерпретації реальності конкурують між собою.

Щоб зрозуміти механіку цього процесу, треба злегка ускладнити схему роботи нейрона, описану в минулому розділі на прикладі аплізії. Досі йшлося про нейрони, звані збудливими. Коли один такий нейрон "вистрілює" своїм нейромедіатором, це підштовхує наступний по ланцюгу нейрон до власного "пострілу" - потенціалу дії. Тобто підвищує ймовірність його збудження. "Вхідні постріли" в кожен нейрон ніби голосують за його "вихідний постріл", причому, залежно від сили вхідних синапсів, внесок кожного з них у "підсумку голосування" може бути різним.

Ускладнення полягає в тому, що нейрони бувають не тільки збудливими, а й гальмівними. Зовні вони мало відрізняються. Як і збуджувальні нейрони, гальмівні нейрони викидають нейромедіатори, коли збуджуються, але це інші нейромедіатори з іншими властивостями. "Постріл" гальмівного нейрона призводить до ефекту, протилежного "пострілу" збудливого: замість того, щоб запустити в наступну по ланцюгу клітину позитивний заряд натрію і тим самим наблизити її до потенціалу дії, гальмівний нейрон запускає в неї негативний заряд хлору. Хлор, як і натрій, у воді існує у вигляді іона і постійно хоче потрапити зовні всередину клітини. Тільки якщо натрій заряджений позитивно, то хлор заряджений негативно, і тому струмінь хлору має протилежний натрію ефект: він пригнічує потенціали дії.



Типовий нейрон отримує тисячі сигналів - як збуджувальних, так і гальмівних. Кожен із сигналів сам по собі мало що значить: значення має їхня сукупність. Гальмування не скасовує збудження, а конкурує з ним на рівних, беручи участь у "голосуванні", тільки якщо збуджувальні синапси голосують за потенціал дії, то гальмівні голосують проти.



Завдяки існуванню гальмівних нейронів різні потоки інформації в мозку можуть конкурувати один з одним. Збудливий нейрон може не тільки відправляти потенціали дії по ланцюгу інших збудливих нейронів, а й паралельно активувати гальмівний нейрон, вставлений між ним та іншими збудливими клітинами, а отже, придушувати їхню активність. Що сильніше буде такий нейрон збуджуватися, то сильніше він буде "тиснути" на

інші збудливі нейрони по сусідству. Побачивши на картинці далматинця, ми вже не можемо побачити щось інше - ті нейрони, які створили цю інтерпретацію, придушили альтернативні інтерпретації, чия "сила" була меншою. Рівно те саме відбувається під час бінокулярної конкуренції - просто там жодна інтерпретація ніяк не може перемогти й остаточно задавити іншу.

Баланс збудження і гальмування визначає те, що ми сприймаємо в будь-який момент часу. Гальмування ніби утворює постійне силове поле придушення, крізь яке у свідомість пробиваються сенсорні сигнали та їхні узагальнення. Без гальмування ці збуджувальні сигнали охопили б пожежею весь мозок - таке відбувається під час епілептичних нападів.

Конкуренція між інтерпретаціями визначає не тільки їхню поточну активність, а й довгострокове виживання. Що довше ми дивимося на зображення і бачимо в ньому далматинця, то активніше використовуються саме ті синапси, які ведуть до цього ментального об'єкта, і менш активно - ті, що ведуть до інших можливих інтерпретацій (наприклад, що на зображенні зображено поверхню води). Унаслідок своєї активної роботи синапси, що "перемогли", стають дедалі сильнішими й сильнішими, тому подальші зміни в тому, що ми бачимо, стають дедалі менш і менш імовірними. Так формуються смакові вподобання, дозрівають у міру читання книги образи літературних героїв, цементуються національні стереотипи. Боротьба інтерпретацій реальності, їхня безкомпромісна рішучість до взаємовиключної війни проти будь-яких конкурентів - це те, що впродовж усього нашого життя формує з мозкової глини людську індивідуальність.

Нервова система продовжує змінюватися і пристосовуватися до навколишнього середовища все життя, але справжній "Дикий Захід" можливостей мозку - це дитинство. Народившись, ми нічого не знаємо про навколишній світ, і різні узагальнення сенсорної інформації мають рівну силу. Але поступово успішніші інтерпретації пригнічують менш успішні, що призводить до їх подальшого посилення. У результаті в мозку закріплюються тільки такі синаптичні конструкції, які адекватно інтерпретують досвід. Це видно навіть на анатомічному рівні: у перші п'ять років життя дитини нейрони її кори сплітаються відростками в густий ліс, який потім поступово, з роками, стає дедалі рідшим і рідшим, стабілізуючись тільки до кінця третього десятка років життя. Цей процес носить назву синаптичного прунінгу (pruning - англійською "проріджування гілок чагарнику або дерева"). Прунінг можна вважати особливою формою синаптичної пластичності, за якої активні синапси виживають, а неактивні відмирають.

За великим рахунком той самий, тільки набагато стриманіший і локальніший процес оптимізації мозку триває все життя, і в цьому постійному процесі особливу роль відіграє таке дивовижне явище, як сон.

Чому світом не правлять несплячі

Наскільки можна судити, сплять усі тварини^{9, 10}. Звичайно, деталі сильно різняться, але той факт, що і люди, і птахи, і мухи, і равлики проводять значну частину часу життя, відключившись від навколишнього світу, робить сон однією з найфундаментальніших і найзагадковіших властивостей нашого організму. Сон - це еволюційний парадокс. З точки зору безпеки це жахлива ідея, тому що сплячий організм абсолютно беззахисний перед несплячим. Якщо щось настільки небезпечно так широко поширене, це повинно вказувати на принципову еволюційну проблему, що вимагає регулярного припинення неспанья. Без сну чомусь не обійтися нікому.



Чим може пояснюватися така універсальність сну як явища? Раніше сон вважався формою відпочинку, тобто відновлення ресурсів, що інтуїтивно відповідає людським відчуттям. Те, що ми відчуваємо в голові після сну, нагадує те, що ми відчуваємо в м'язах після розслаблення. Сон дійсно частково викликається витратою енергії. Наприклад, почуття сонливості регулюється білками-рецепторами, що вловлюють аденозин - фактично "відпрацьовану" молекулу АТФ, з якої витягли енергію. Чим більше АТФ споживає мозок, тим більше аденозину в

ньому виробляється і тим швидше настає сонливість¹¹⁻¹³. Тонізуючий ефект кофеїну пояснюється саме блокуванням аденозинових рецепторів, у які ця молекула встрає і запобігає їхній правильній роботі¹⁴.



Але загалом "енергетична гіпотеза" сну сьогодні пішла в минуле. По-перше, сон зовсім необов'язково означає відпочинок для мозку. У деяких ситуаціях мозок уві сні може працювати ще активніше, ніж наяву. По-друге, якби справа була просто у витраті енергії, то еволюція напевно б придумала способи обійти цю проблему. Як показує приклад з виникненням теплокровності у предків ссавців у мезозойські часи, ми готові витратити колосальні обсяги енергії вхолосту, щоб підтримувати своє тіло в активному, бойовому стані. Чому б просто не підкинути в мозок зайвих дров? Якби цим можна було вирішити проблему, всі сплячі тварини були б давно з'їдені несплячими. Для пояснення сну потрібно щось більш глобальне.

Згідно з однією впливовою теорією, сон - це зворотний бік синаптичної пластичності¹⁵. Принципово під час роботи мозку синапси можуть ставати сильнішими або слабшими. Але сильнішими вони стають набагато частіше - грубо кажучи, щоразу, коли по них пробігає струм¹⁶. Я уявляю собі цей процес образно, як "розігрів" нейронів: що більше вони працюють, то сильніше "розжарюються" і то активніше продовжують працювати. Тож упродовж дня, впускаючи в мозок сигнали від органів чуття, ми постійно підсилюємо собі різноманітні синапси, що переробляють цю інформацію. Тривати так до нескінченності не може, бо рано чи пізно всі синапси посиляться до такої міри, що між ними не буде жодних відмінностей, і внаслідок цього ми нічого не розумітимемо і нічого не запам'ятовуватимемо. Наш мозок ніби втрапить здатність відокремлювати адекватні інтерпретації реальності від неадекватних. Людина, яка дуже довго не спить, починає бачити галюцинації¹⁷.

ДО РЕЧІ

Зазвичай люди уявляють галюцинацію як єдинорога, що пробігає перед очима, - тобто як сенсорний об'єкт, якого насправді немає. Але, як ми переконалися на прикладі зорових ілюзій, у принципі не сприймаємо сенсорні об'єкти безпосередньо. Наше сприйняття завжди складається з інтерпретації, тобто в якомусь сенсі ми галюцинуємо постійно. Між галюцинацією і "звичайними" відчуттями немає чіткої межі. Просто зазвичай наші галюцинації йдуть одними й тими самими каналами і мають більш-менш однаковий вигляд, тоді як у деяких станах мозку вони залітають у неочікувані місця: випадкові крапки шикуються у спіралі, окремі елементи візуального поля перетворюються на "мозаїку", що повторюється, вигинається просторова перспектива, навколишні звуки чи запахи видаються сповненими смислом, що насправді походить із глибин пам'яті. Американський дослідник галюцинацій Луїс Джоліон "Джоллі" Вест порівнював галюцинації з віддзеркаленням освітленої кімнати, яке проявляється з внутрішньої сторони вікна, коли на вулиці темніє. Відображення є завжди, просто зазвичай воно замасковане світлом, яке надходить ззовні, а в певних ситуаціях стає яскравішим, і ми починаємо бачити власний розумовий процес, начебто він відбувається зовні¹⁸.

Сам "Джоллі" ("Веселун") Вест, до речі, відомий насамперед тим, що в 1962 р. зробив внутрішньом'язову ін'єкцію галюциногену ЛСД азіатському слону на ім'я Таско, від чого той трагічно помер¹⁹. Потім, утім, з'ясувалося, що якщо слонів просто годувати ЛСД, то вони почуваються цілком нормально, тільки кілька годин дуже дивно поведуться²⁰. Ех, золотий вік нейронауки.

Щоб уникнути такої ситуації, ми спимо. Уві сні відбувається процес, зворотний до денного "розігріву" нейронів і синапсів: вони поступово "остигають". Сила синапсів і збудливість нервових клітин знижуються. Тобто уві сні ми забуваємо те, що запам'ятали за день. Хитрість полягає в тому, що запам'ятовуємо ми конкретно, а забуваємо рівномірно. Синапси, посилені протягом дня, після міцного сну стають слабшими, але залишаються при цьому сильнішими за навколишні синапси. Сумарна сила синапсів після сну повертається до початкового стану, але відносна сила, або вага синапсів, продовжує визначатися вчорашніми враженнями.

У результаті з кожним добовим циклом мозок постійно забуває те, чим не користується, але продовжує утримувати у своїй синаптичній конфігурації ту інформацію, яка йому потрібна. Це нагадує стрічку новин у соціальних мережах: активні пости тримаються на вершині, тоді як за відсутності активності вони рано чи пізно губляться в глибинах інтернету і врешті-решт остаточно забуваються. Тому, до речі, запам'ятовування працює набагато краще, якщо матеріал повторювати перед сном, "розігриваючи" потрібні синапси перед тим, як сон пройде мозком катком, що "охолоджує".

Взагалі кажучи, описане стосується тільки "повільного сну" - найуніверсальнішого типу сну, який, судячи з усього, трапляється в усіх тварин, що мають нервову систему, включно з навіть медузами. Такий сон - це плата за здатність мозку запам'ятовувати інформацію. У ссавців же є ще один тип сну, "швидкий", який зазвичай чергується з "повільним" кілька разів за ніч.

Ця фаза сну формально називається фазою "швидких рухів очей" (rapid eye movements, або REM). З погляду того, що при цьому відбувається в мозку, "швидкий сон" більше схожий на неспання, ніж на звичайний, "повільний" сон. Саме на цій стадії ми бачимо сни.

Фактично, REM сон - це симуляція неспання з вимкненими органами чуття і м'язами. І сон загалом, і сновидіння зокрема допомагають запам'ятовувати, але по-різному. Якщо функція повільного сну полягає в запобіганні перенасиченню мозку інформацією, то функція швидкого сну - у безпечному офлайн тестуванні отриманих знань²². У "віртуальному режимі" можна виявити й випробувати нові поєднання та узагальнення інформації незалежно від їхньої поточної значущості та безпеки. Уві сні можна скільки завгодно разів впасти в прірву або бути з'їденим хижаком - наяву ж таке спрацьовує максимум один раз.

Найбільш красномовна ілюстрація еволюційного походження REM сну - це власне швидкі рухи очей. Річ не в тому, що людині уві сні навіщо потрібно рухати очима. Річ у тім, що людина уві сні робить усе те саме, що вона робить під час неспання, просто більшість сигналів, які вона при цьому надсилає до м'язів, активно пригнічуються²³. У патологічних ситуаціях, коли це придушення погано працює, сплячі люди ходять і розмовляють, а кішки полюють на уявних мишей. У нормі ми цього не робимо, тому що еволюція паралізує нам м'язи на час сновидіння. Сенс такого паралічу очевидний: тварина сновиди буде легкою здобиччю навіть для найледачішого хижака. Сон і без того вкрай небезпечно заняття, тому єдиний шанс його пережити - це лежати тихо і без руху. У нашому тілі є тільки одна група м'язів, яка своїми рухами нас ніяк не видає. Це м'язи очей. Їх еволюція просто залишає в спокої, точніше навпаки - в русі.

Що пророкує телефон

Отже, мозок постійно змінюється під впливом того, що він робить. Вдало з'єднані нейрони пригнічують конкуруючі сигнали і підносяться за їхній рахунок. Почавши з більш-менш випадкових комбінацій у ранньому дитинстві, нейрони з роками оптимізують свою синаптичну конфігурацію, "обрізаючи" неактивні, непотрібні або неправильні контакти. Більш тонке налаштування цієї конфігурації відбувається щодня, коли одні синапси за час неспання посилюються, а інші лише згасають під час сну. Таким чином, у мозку поступово цементуються переважні канали мислення, якими протікають сигнали від очей, вух або шкіри. Згодом мозку вже не потрібно розгортати з кожного приводу боротьбу конкуруючих інтерпретацій: йому достатньо найдрібнішого сигналу про щось знайоме, щоб привести в дію адекватне узагальнення. Перші ноти знайомої пісні миттєво перетворюються на мелодію, тоді як пісні з чужих культур часто здаються набором звуків. Вирази облич перехожих не справляють на нас враження, тоді як в обличчях близьких ми можемо прочитати цілий роман про здригнуту брову. Плями Роршаха з абстрактної чорнильної розмазки перетворюються на екзотичних птахів або калюжі крові - залежно від того, який канал мислення вам звичніший.

Цей процес оптимізації мозку віддалено нагадує формування річок. Вода, що збирається взимку в горах, навесні тане і стікає вниз. Спочатку її потоки випадкові - вода не прагне потрапити в море найкоротшим шляхом, а просто слідує гравітації. Але пролившись у певному напрямку, вода ледь-ледь підточує камінь, по якому тече. Наступного року вода потече цими підточеними каналами вже з більшою ймовірністю. Що частіше вона тече одним і тим самим каналом, то сильніше вона його точить і тим більш вираженим стає русло річки. Мозок подібний до системи річок і струмочків, якими, точачи свій нервовий камінь, тече сенсорна інформація. Є в ньому і повноводні потоки з гранітними берегами, є і маленькі, швидкоплинні струмені, чиє русло весь час змінюється.

Мозок постійно запам'ятовує минуле. Минуле дає йому змогу інтерпретувати сьогодення і водночас передбачати майбутнє. Як ми побачимо, ці дві його здібності - інтерпретація сьогодення і передбачення майбутнього - насправді становлять єдине ціле.

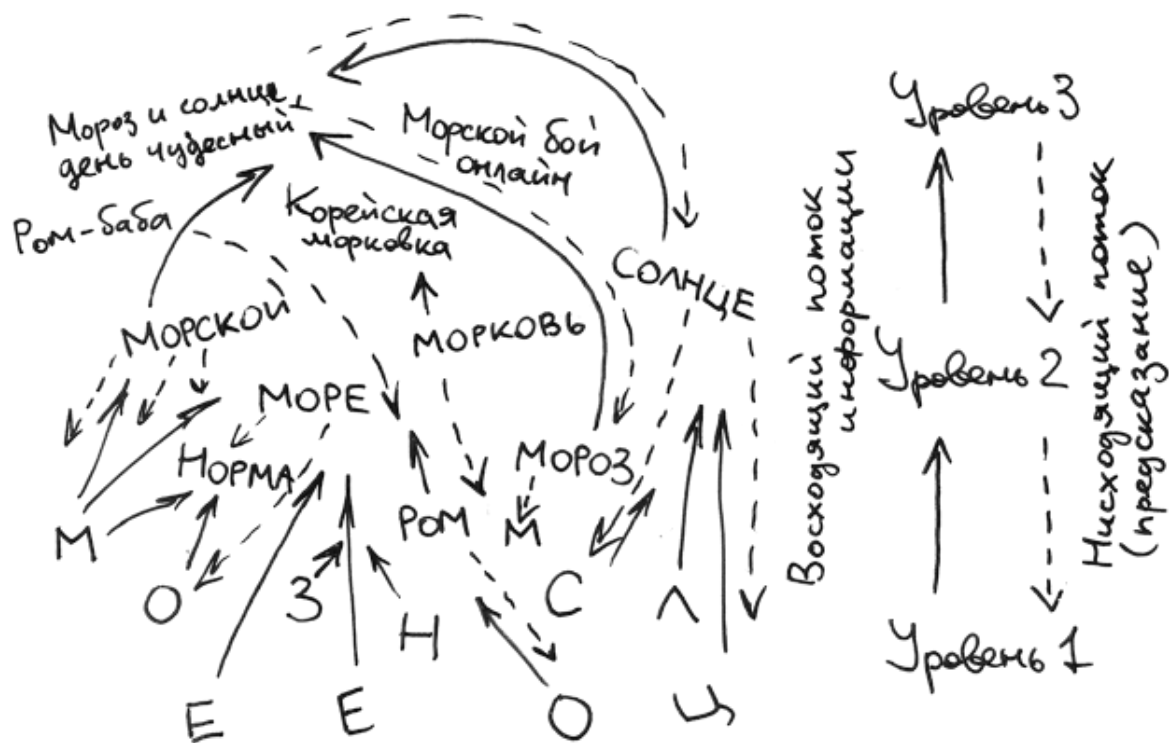
У передбаченні майбутнього як такому немає жодної наукової фантастики. Наприклад, мобільні телефони передбачають майбутнє, якщо вводити в них текст. Якщо я введу в телефон "мор", то текстовий редактор запропонує слово "море", передбачаючи тим самим мою поведінку. Якщо я піду проти його передбачення і введу замість літери Е літеру О, то телефон змінить своє передбачення і запропонує слово "мороз", що справді адекватно відображає мій намір.

Як телефон це робить? По-перше, в нього закладено список початкових ймовірностей набору, узагальнених розробниками з тисяч листів і СМС-повідомлень інших користувачів. По-друге, телефон оновлює ці ймовірності на підставі того, що ви в нього вводите в цей момент. Якщо я вже ввів "моро", то ймовірність того, що я маю на увазі "море", різко падає, тож слово "мороз" стає ймовірнішим. По-третє, телефон поступово пристосовується до вашої поведінки, тобто запам'ятовує свій попередній досвід. Якщо ви ненавидите море, але обожаєте Мордор, то рано чи пізно телефон навчиться реагувати на поєднання літер "мор" відповідним передбаченням.

У результаті між телефоном і людиною встановлюється двосторонній канал зв'язку. Людина вводить текст у телефон - це перший потік інформації. Телефон пропонує варіанти на підставі того, що вона пам'ятає, - це другий потік інформації, спрямований у протилежний бік.

Якщо вводити текст не в телефон, а в інтернет-пошуковик, то прогнози будуть складнішими і будуть більш очевидно залежати від передісторії. У моєму випадку один пошуковик, яким я не користуюся, вважає, що "мор" означає "морський бій онлайн", а інший, яким я користуюся, миттєво кидається на "корейську морквину", яку я нещодавно готував. Утім, варто мені ввести "мороз", як обидва пошукові системи сходяться на "морозко", а при введенні "мороз і" видають ціле речення: "Мороз і сонце день чудовий".

Таке вгадування цілих речень та ідей з окремих літер можна уявити собі як ті ж самі два потоки інформації, що тільки рухаються між кількома рівнями узагальнення. На першому, нижньому, рівні - сигнали від клавіатури. На другому рівні - вгадування слів із букв. На третьому рівні - вгадування речень зі слів. Ці рівні, по суті, працюють однаково, відрізняється тільки ступінь абстракції. З погляду третього рівня слова - те ж саме, що букви з погляду другого рівня. "Словесний" рівень намагається вгадати, які літери до нього надійдуть наступної миті, і висуває найімовірнішу гіпотезу. Поки він чекає від "буквеного" рівня підтвердження або спростування цієї гіпотези, вищий за нього "запропонований" рівень не чекає, а сприймає гіпотезу за факт і намагається на цій підставі передбачити, які до нього далі надходитимуть слова. Це дає змогу кільком рівням вгадування працювати одночасно.



Якби у пошуковика було завдання не просто запропонувати вам правильну фразу для пошуку, а зрозуміти довгострокові закономірності вашої поведінки, то над третім рівнем можна було б уявити і четвертий, прихований з вашого пошукового рядка, і п'ятий, і ще скільки завгодно рівнів абстракції, кожен з яких передбачав би не просто патерни введених літер, а патерни патернів, патерни патернів патернів патернів і так далі, аж до передбачення того, що і коли вам може захотітися, хто ви такий і скільки у вас грошей. Пошуковики, звісно ж, нічим подібним не займаються, а якби й займалися, вже точно не стали б цією інформацією торгувати - це було б як продавати відеозаписи вашої пам'яті.

Утім, бог із ними, пошуковиками і телефонами. У нашому мозку є спеціальний відділ, чия функція полягає саме в такому багаторівневому передбаченні майбутнього. Одночасне багаторівневе вгадування, що оновлюється, навчається, або ієрархічне передбачення, - це головний принцип роботи кори великих півкуль.

Геометрична фігура, що складається з безлічі подібних рівнів, називається фракталом, тому багаторівневність мозку ще називають фрактальністю. Геометричну теорію фракталів розробив культовий математик другої половини ХХ ст. на ім'я Бенуа Б. Мандельброт. Про нього є відомий жарт. Запитання: що означає "Б." у "Бенуа Б. Мандельброт"? Відповідь: "Бенуа Б. Мандельброт".

Плоскість свідомості

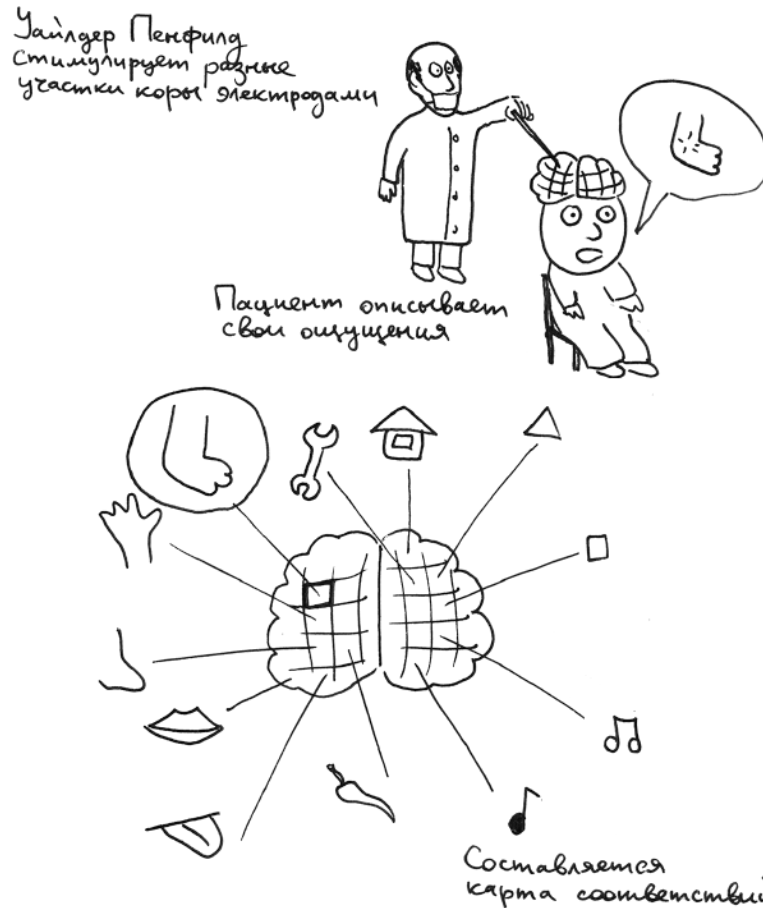
У найпростіших хордових, ланцетника наприклад, мозок являє собою порожнисту трубку, замкнуту з обох кінців. У риб у передній частині цієї трубки помітні кілька здуття, які отримали назву переднього, середнього і заднього мозку. Інша трубка в російській мові називається спинним мозком, а в англійській "спинним шнуром", spinal cord. Як уже згадувалося, що називати мозком - питання традиції. Здуття на поверхні трубки симетричні, тому передній мозок, замкнене закінчення нервової системи, має вигляд двох міхурів - ліворуч і праворуч. Цим міхурам, або півкулям мозку, відповідають два ока, дві ніздрі, два вуха і так далі.

Цю загальну структуру мозку можна простежити за анатомічними або молекулярними ознаками у всіх хребетних. І в риб, і в жаб, і в черепахах, і в людей є і задній, і середній, і передній мозок. Але у ссавців щось відбувається з переднім. У перший місяць внутрішньоутробного розвитку наш мозок у всьому нагадує риб'ячий. Але до кінця другого місяця в людини здуття на кінці трубки збільшуються до таких розмірів, що ховають під собою все інше. Вони продовжують розростатися і на якомусь етапі, буквально переставши влізати в череп, починають втискатися самі в себе. На них утворюються складки і звивини. Трубка перетворюється на дві величезні часточки волоського горіха, з яких звисає тонкий шнур.

Складчастість нашого мозку ілюструє той факт, що значення має не просто його маса, а площа поверхні. Якби мозок думав рівномірно всією своєю товщиною, то робити в ньому складки не було б жодного сенсу - більше нервової тканини все одно не упакуєш. Але як в окремо взятому нейроні все найцікавіше відбувається не в товщі клітини, а на її електризованій мембрані, так і в мозку ссавця все найцікавіше відбувається на поверхні. На поперечному розрізі людського мозку сенс складок стає очевидним: вони максимізують кількість сірої речовини, також відомої як кора великих півкуль - двох міліметрів поверхні, щільно набитих мільярдами тісно притиснутих одна до одної нервових клітин. Сіру речовину з решетою мозку, затиснутого в глибині півкуль, з'єднує біла речовина - товстий шар волокон, що відходять від усієї поверхні кори. Фактично це величезний нерв, що складається з відростків клітин, які живуть у сірій речовині. У білій речовині немає синапсів, вона не обробляє інформацію і, незважаючи на свої значні розміри, споживає на порядок менше енергії, ніж сіра речовина. Це ніби маса дротів, які обслуговують процесор кори.

Усе найголовніше, що ми знаємо про кору, відомо завдяки впровадженню електродів у різні її ділянки - приблизно так само, як ми в нашій лабораторії впроваджуємо електроди в клітини аплізії, щоб стежити за їхніми потенціалами дії. Коли вчені вперше стали спостерігати таким чином за нейронами кори, вони миттєво виявили, що кора з функціонального погляду - це площина. Взагалі кажучи, кора складається з кількох шарів нейронів, тобто, якщо вибрати зовні точку і провести від неї пряму перпендикулярно до поверхні, на прямій опиниться не один нейрон, а ціла група, або колонка. Так ось з'ясувалося, що колонки нейронів у корі працюють як єдине ціле: вони вмикаються й вимикаються одночасно у всіх шарах. Колонка, що складається зазвичай із шести шарів і кількох десятків нейронів, являє собою функціональний модуль кори, повторений у ній незліченну кількість разів.

Спостерігаючи за активністю колонок у різних частинах кори в різних ситуаціях, можна скласти карту відповідностей між їхньою роботою та подіями в зовнішньому середовищі, а штучно стимулюючи різні колонки, можна дізнатися, до чого призводить їхнє ввімкнення. Такі дослідження зазвичай проводять на мавпах або кішках, але іноді й на людині. Знамениті дослідження Вайлдера Пенфілда на епілептиках - одне з головних джерел нашого розуміння власного мозку.



Наукові заслуги Пенфілда стали побічним продуктом хірургічних операцій у пацієнтів епілептиків з відкритою черепною коробкою. Метод Пенфілда полягав у тому, щоб оголити людині, яка страждає на епілепсію, мозок, знайти осередок ураження, що спричиняє напади, і його вирізати. Хоч би як варварськи це звучало, працює така операція напроцуд успішно і з деякими технологічними поліпшеннями застосовується й досі²⁴. Головна проблема - знайти осередок ураження. Для цього Пенфілд користувався методом, що нагадує гру "Сапер": навмання стимулював різні колонки кори електричним сигналом і просив пацієнтів описати, що вони при цьому відчують, доти, доки один з імпульсів не викликав у пацієнта напад. Хоча завданням Пенфілда завжди було виявлення цієї ураженої ділянки, у процесі пошуку він промацав своїм "сапером" у різних пацієнтів усю кору^{25, 26}.

З'ясувалося, що стимуляція різних колонок кори може призводити в буквальному сенсі до чого завгодно. Деякі точки викликали тактильні відчуття в різних частинах тіла. Інші змушували ці частини тіла смикатися. Треті викликали сновидіння, запахи, образи, спогади, відчуття дежавю, навіть конкретні емоційні відчуття.

Точно так само різняться у людей і тварин реакції різних колонок нейронів на події, що відбуваються навколо, якщо до них під'єднатися і вслухатися в їхні потенціали дії. Деякі колонки реагують на найпростіші, елементарні сигнали, що надходять з органів чуття. Є в корі точки, що реагують на кольорові плями в тій чи іншій ділянці поля зору. Є в ній точки, що реагують на низькі або на високі частоти звуку. Але водночас є такі колонки, які "налаштовані" не просто на "пікселі" або частоти, а на більш абстрактні властивості навколишнього світу. Існують, наприклад, нейрони, що однаково вмикаються під час погляду на певні категорії предметів (припустімо, гайкові ключі або будинки), незалежно від того, під яким кутом ви на них дивитесь, тобто без прямого зв'язку з плямами світла в очах. "Нейрон гайкового ключа" може вмикатися не тільки від погляду на гайковий ключ, а й навіть якщо ви мацаєте його руками або чуєте, як хтось стукає ключем по батареї.

Такі відповідності активності нейронів, колонок або ділянок мозку предметам, діям, відчуттям або подіям у зовнішньому середовищі для зручності називають репрезентацією, тобто представництвом. Одні нейрони репрезентують у корі відчуття дежавю²⁷, інші - рух лівою п'ятою, а деякі - ноту соль. Щоб ділянку мозку вважали репрезентацією ноти соль, треба, щоб нота соль викликала активацію цієї ділянки, і навпаки, щоб активація ділянки викликала б відчуття ноти соль. Репрезентація - це фізична адреса інформації в мозку, як ділянка хромосоми - фізична адреса гена в клітині.

Формально під словом "активність" у нервовій системі розуміють "потенціали дії". Активність нейрона - це частота його потенціалів дії. Активність ділянки мозку - це сумарна кількість потенціалів дії, "вистрілених" місцевими нейронами за одиницю часу. Але в людини, та й узагалі в хребетних, нейронів так багато, що одночасно зареєструвати їхню активність у цілій ділянці кори, наприклад, майже неможливо. Щодо людського мозку "активність" тому зводиться до опосередкованих ознак: наприклад, споживання кисню. Що більше нейрони "стріляють", то більше енергії вони їдять, а отже, то активніше вони дихають. Саме цей показник реєструє функціональна магнітно-резонансна томографія - головний метод, яким користуються дослідники людського мозку, передусім через те, що він не потребує розтину черепної коробки. Якщо ви бачите зображення людського мозку, в якого "горить" та чи інша ділянка, то, найімовірніше, воно отримано на магнітно-резонансному томографі й відображає саме споживання мозком кисню (якщо зовсім точно, то зникнення кисню з крові, що омиває різні відділи мозку).

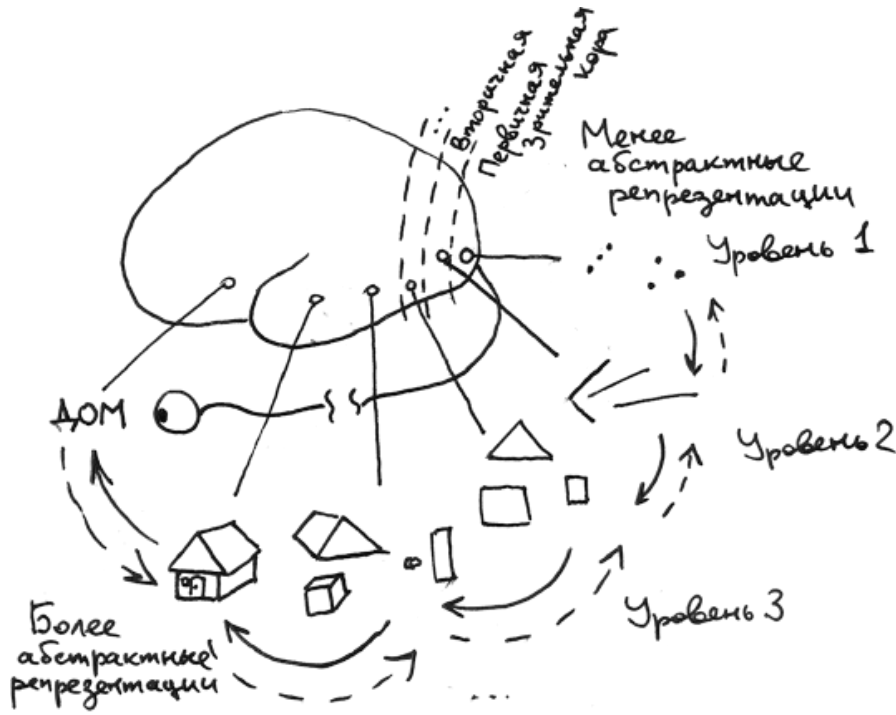
Репрезентації різних аспектів реальності не розкидані по корі випадковим чином, а сконцентровані за родом діяльності. Якщо спробувати скласти карту репрезентацій, то перше, що впаде в око, це організація сенсорних ділянок кори, тобто тих ділянок, які отримують "сірі дані" з органів чуття. Наприклад, усю соматосенсорну (дотикову) кору можна уявити як карту тіла. Якщо колонка кори активується під час торкання кінчика язика, то неподалік знайдеться репрезентація середини язика, за нею - репрезентація губи, підборіддя і так далі. У слуховій корі так само, одна за одною, розташовані репрезентації різних частот, що плавно перетікають одна в одну.

Якщо просуватися від цих ділянок вперед по лінії "потилиця - лоб", то репрезентації стають дедалі менш і менш конкретними. Вони так само плавно перетікають одна в одну, але вже не по осі звукових частот або частин тіла, а по осі абстракції.

Наприклад, зорова кора розташована в потилиці. Первинну зорову інформацію (від сітківки через реле таламуса) отримують колонки самої задньої її частини - ця область називається відповідно первинною зоровою корою. Нейрони її колонок реагують на найелементарніші, найконкретніші зорові стимули, наприклад "світла крапка в лівому верхньому кутку". Це ніби репрезентації світлових "пікселів". Із просуванням від потилиці в бік чола колонки починають реагувати на дедалі абстрактніші властивості зорового об'єкта. За первинною зоровою корою йде вторинна зорова кора, за нею третинна і так далі. Нейрони, що реагують на точки і лінії, змінюються нейронами, що реагують на кути різної орієнтації. Їм на зміну приходять нейрони, що реагують на форми і предмети, і нарешті, на категорії предметів: будинок, обличчя, інструмент. Менш абстрактні репрезентації плавно перетікають у більш абстрактні.

Моторна кора - це в якомусь сенсі дзеркальне відображення сенсорної. У ній теж є карта тіла і різні рівні абстракції.

Первинна моторна кора - це еквівалент первинної сенсорної кори в тому сенсі, що активність її нейронів означає максимально конкретні речі. У сенсорній корі це сигнали від органів чуття, а в моторній - рухи окремих м'язів. Якщо первинну моторну кору стимулювати в різних місцях електродом, людина смикатиме різними частинами тіла. Ці частини тіла, як і у випадку з дотиком, можна нанести на кору, як на карту. "Моторна карта" розташована в задній частині лобової кори, впритул до "соматосенсорної карти" в тім'яній корі.



Із просуванням від моторної кори в бік чола, як і в сенсорній корі, репрезентації стають більш абстрактними. У так званій премоторній корі, розташованій, як неважко здогадатися, перед моторною корою, стимуляція певних точок призводить уже не просто до скорочень м'язів, а до запуску цілих послідовностей рухів, що враховують положення тіла та інші сенсорні координати. У мавп, наприклад, стимуляція певної точки премоторної кори призводить до цілеспрямованого руху, за якого рука стискається в кулак і згинається таким чином, щоб піднести кулак до рота. Мавпа здійснює цей рух незалежно від того, в якому положенні перебуває її тіло в момент стимуляції. Тобто стимульована ділянка мозку запускає в рух не окремі, конкретні м'язи, а абстрактну ідею руху кулака до рота²⁸, що в різних ситуаціях виражається різними комбінаціями конкретних скорочень.



І моторні, і сенсорні відділи кори вирізняються багаторівневою структурою, в якій менш абстрактні відділи змінюються більш абстрактними. Відділи мозку, яким не можна приписати певну сенсорну або моторну функцію, за традицією називають "асоціативними" - у тому сенсі, що вони "асоціюють" органи чуття між собою. В

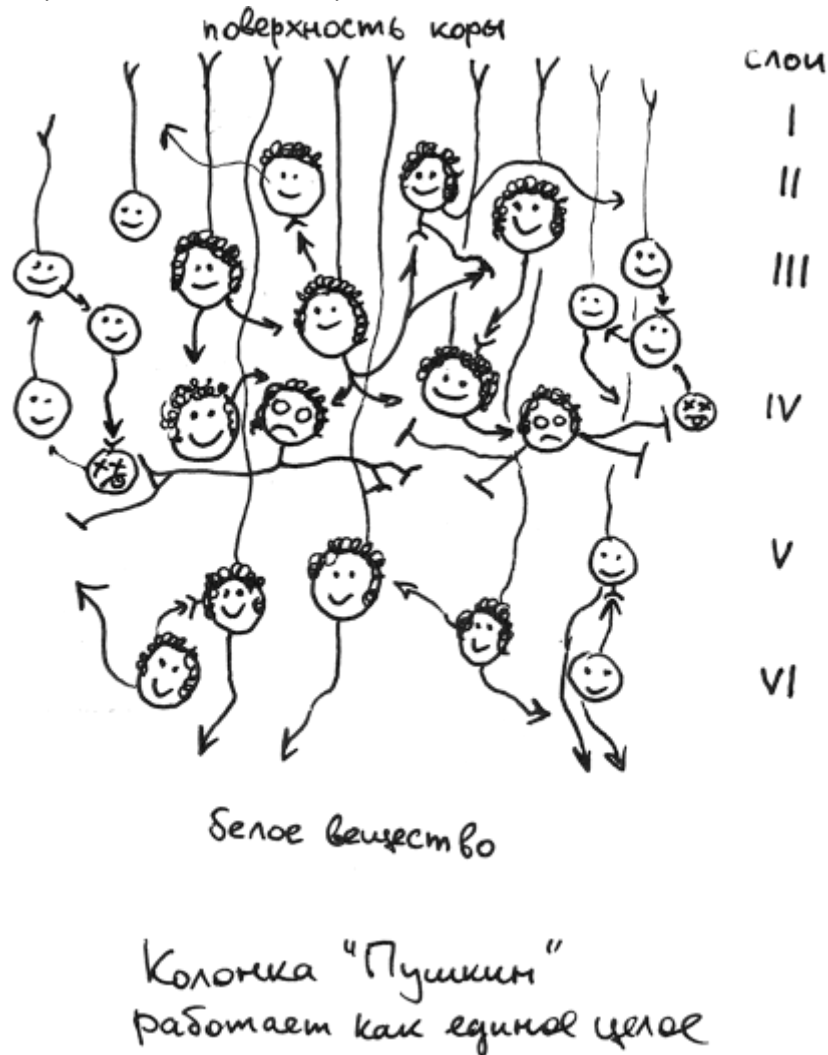
асоціативній корі, наприклад, може бути нейрон, який однаково реагує на запах борщу, зовнішній вигляд борщу і розмови про борщ. Насправді асоціативна кора жодною принциповою межею не відокремлена від сенсорної чи моторної, просто на певному рівні абстракції різні органи чуття чи різні рівні рухів об'єднуються в єдину репрезентацію. Асоціативна кора - логічне продовження багаторівневої системи узагальнень, в основі якої лежать кора сенсорна та моторна²⁹.

Отже, кора великих півкуль організована як карта реальності. Це поверхня, на якій кожна точка - репрезентація того чи іншого аспекту дійсності: червоного кольору, напрямку вгору, великого пальця лівої п'яти, Олександра Сергійовича Пушкіна. Ці репрезентації можуть бути різного ступеня абстрактності та походити з різних сенсорних джерел. Загалом вони розподілені ієрархічно, тож у задній частині кори представлені найдрібніші деталі, сенсорні крихти реальності на кшталт "світла крапка в правому кутку", а в передній частині, особливо в префронтальній корі, - найзагальніші й найабстрактніші, на кшталт "ходити на роботу" або "олімпійська медаль".

Кора - немов музичний інструмент із мільйоном клавіш різних рівнів. Кожна репрезентація - це наче клавіша, яка може викликати ноту чи акорд, а може й цілу фугу. Але на клавіші нанесені не лише ноти й акорди, а все, що нам відомо про навколишній світ. Хто грає на цьому музичному інструменті? Деякі клавіші натискаються очима і вухами. Але ті можуть дотягнутися тільки до крайніх клавіш, які грають простими нотами. Решта ж клавіш натискають одна одну. Кора - це орган, на якому свідомість грає сама себе.

Ряди і колони

Я вже згадував, що кора - це площина завтовшки у два міліметри, що складається з "колонок" нейронів, які працюють як єдине ціле. Щоб зрозуміти, як у корі взаємодіють між собою репрезентації реальності (тобто як саме клавіші органа "натискають одна одну"), потрібно знати, як взаємодіють між собою ці колонки. Нейрони в них організовані в кілька шарів, яких у людини зазвичай шість (перший - найближчий до поверхні мозку, шостий - найближчий до білої речовини). Кожен із шарів має певні вхідні та вихідні з'єднання: наприклад, до четвертого шару зорової кори надходять повідомлення з таламуса, до першого - з інших відділів кори, а з п'ятого шару повідомлення, навпаки, йдуть в інші частини мозку.



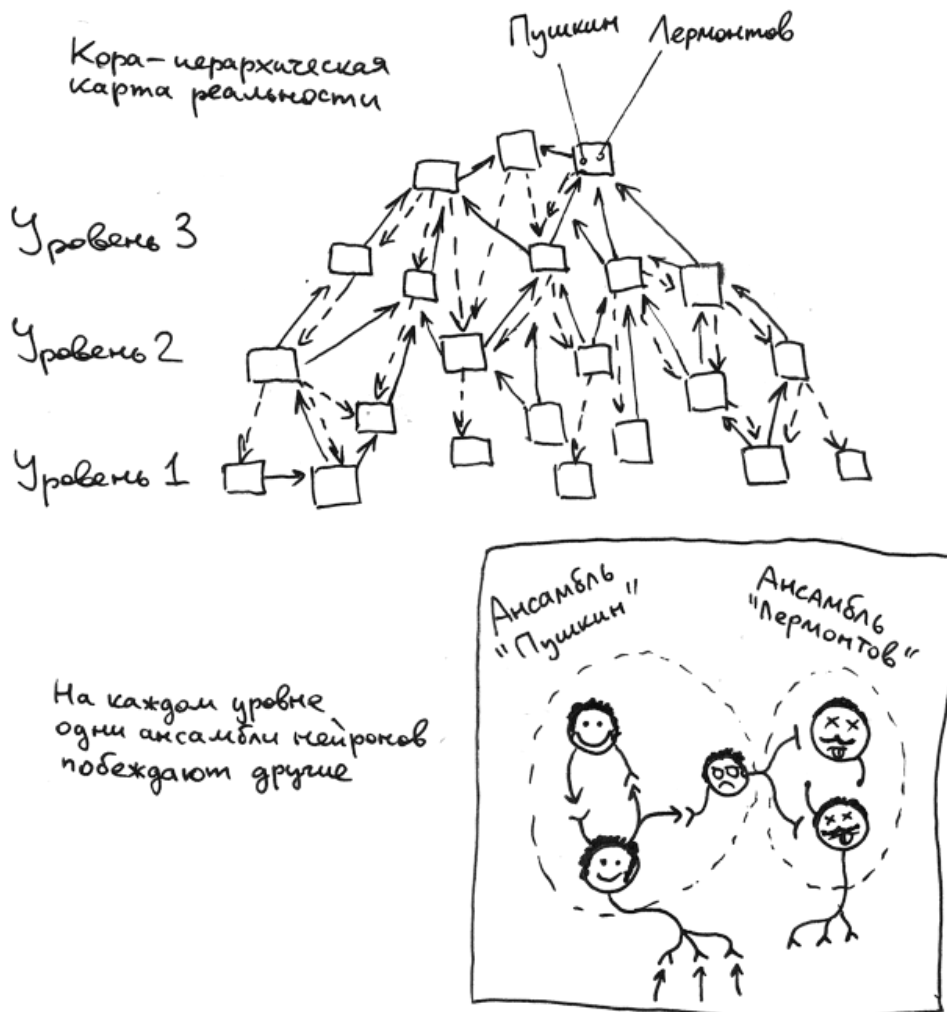
Коркова колонка - це ніби метанейрон. Як і окремо взятий нейрон, колонка отримує сигнали з усіх боків, але сама буває або активною, або неактивною (всі складові її нейрони активні одночасно³⁰). Як і нейрон, колонка

перетворює патерн вхідних сигналів на єдину вихідну відповідь. В окремих нейронів ця відповідь - потенціал дії, що призводить до викиду нейромедіатора. Сигнали коркових колонок теж складаються з потенціалів дії, але, оскільки колонка складається з приблизно сотні нейронів, одночасних "дій" може бути кілька. Колонки взаємодіють з іншими колонками одразу кількома каналами з різними наслідками. Частина з адресатів, яким вони транслюють свою активність, розташовані неподалік, а частина - у сусідніх областях або навіть інших відділах кори. Розглянемо спочатку перший, локальний тип взаємодії колонок із колонками.

Розташовані поблизу колонки з подібними властивостями підтримують одна одну збуджувальними взаємодіями^{31, 32}. Будь-яка репрезентація складається не з однієї колонки, а з безлічі колонок, які мають властивість активувати одна одну. Якщо активна лише частина зі складових її елементів, комбінація колонок, що залишилася, мимовільно "заповнюється"³³. В умовах неповноцінної інформації кора має властивість добудувувати те, чого не бачить^{34, 35}.

Але якби колонки одна одну тільки посилювали, то життя, напевно, викликало б у нас галюцинації, що переходять в епілепсію. Кора нормально працює тому, що колонки одночасно з активацією одних сусідів пригнічують інших. У результаті в кожному відділі мозку під час надходження туди вхідних сигналів між колонками розгортається своєрідна гра "Цар гори": різні команди активованих колонок борються одна з одною за те, щоб зуміти задавити всіх інших і залишитися активними.

Придушення навколишніх колонок досягається наявністю в кожній колонці гальмівних нейронів, що мають ефект, протилежний до нейронів збудливих (яких більшість). Гальмівні нейрони тягнуться до всіх навколишніх колонок, як гіфи злісного гриба, і при збудженні своєї власної колонки пригнічують сусідів. Так що дві сусідні точки кори можуть бути пов'язані одна з одною як збуджувальними, так і пригнічувальними взаємодіями. Сумарний ефект колонки на свого сусіда визначається балансом між цими зв'язками³⁶.



Спочатку колонки не знають, з ким вони дружать, а з ким ні. У новонароджених з'єднання в корі формуються з великою часткою випадковості, і колонки спочатку просто стріляють навмання, коли їх хтось навмання активує. Але завдяки синаптичній пластичності згодом цементуються успішні комбінації нейронів, тобто такі поєднання колонок, які ефективно пригнічують конкурентів в умовах сенсорної інформації, що надходить³⁷. У ділянці кори, що відповідає за об'ємні форми, з'являються стабільні ансамблі колонок, які позначають "куб", і стабільні ансамблі, які позначають "кулю". У ділянці, що відповідає за поетів, з'являються ансамблі "Пушкін" і "Лермонтов". Ці ансамблі

конкурують між собою, і в різних ситуаціях перемагають ті чи інші. "Куля" конкурує з "кубом" за право пояснити форму кубика, на який дивиться дитина, і перемагає "куб". В описаній вище оптичній ілюзії "ваза" конкурує з "обличчям", і тому ми бачимо тільки одне з двох, але не обидва зображення одночасно. У ділянці, що відповідає за поетів, "Пушкін" конкурує - жарт, Пушкін ні з ким, зрозуміло, не конкурує.

Коркова репрезентація подібна до голограми: завдяки зв'язкам, що взаємно підсилюють зв'язки, її складові частини - коркові колонки - зберігають інформацію про всю свою сукупність. За рахунок же зв'язків, що взаємно пригнічують зв'язки, цілі голографічні конструкції, що несуть у собі відбитки навколишнього світу, постійно борються одна з одною за першість. Кора - це поле, на якому змагаються голограми, що кодують реальність.

ДО РЕЧІ

Крім конкуренції між колонками, гальмівні нейрони (гіфи злісного гриба, що ростуть із кожної колонки) відіграють ще одну, не менш важливу роль: вони пригнічують власну колонку, тобто надсилають гальмівний сигнал назад до тих самих клітин, які їх щойно активували. Нервових клітин, що збуджують, у колонці 90 %, і, якщо їх активувати, самі вони не зупиняться. Уся кора ніби постійно перебуває на межі епілептичного нападу, який 40 разів на секунду вдаряється в стіну гальмування. Стільки часу - 25 мілісекунд - потрібно збудливим нейронам колонки для того, щоб активувати гальмівні нейрони; "загальмуватися" отриманим від них гальмівним сигналом; дочекатися, поки гальмування зійде нанівець; знову спалахнути активністю; знову активувати гальмівні нейрони тощо³⁸. У результаті електрична активність, яку породжує будь-яка точка кори, має вигляд хвилеподібного коливання, складеного із сотень або тисяч потенціалів дії. Це хвилеподібне коливання називається гамма-хвилею. Якщо кіркові колонки - метанейрони, то гамма хвилі - метапотенціали дії.

Є й інші мозкові хвилі, названі за частотою коливань. Гамма-хвилі - найшвидші, за ними йдуть бета, альфа, тета, дельта (логіка в цієї послідовності грецьких літер, прямо скажемо, накульгує). Такі електричні хвилі можна реєструвати електродами прямо на поверхні черепа - відповідний метод називається електроенцефалографією, або ЕЕГ. Кожна з цих хвиль відображає певний ритм вхідних або вихідних сигналів у тій чи іншій точці кори, а синхронізація ритмів у двох різних точках означає, що вони "спілкуються" один з одним. Наприклад, синхронний тета-ритм спостерігається в префронтальній корі та гіпокампі, коли два ці відділи обмінюються повідомленнями під час напруження пам'яті³⁸.

Естафета четвертого шару

Розглянемо тепер другий тип взаємодії колонок із колонками - не в межах відділу кори, а між різними її ділянками, в яких кодуються різні аспекти та рівні реальності. Наприклад, репрезентація "коло" може таким далекобійним зв'язком передавати збудження репрезентації "обличчя друга Петі". Як ми побачимо, ці далекі з'єднання між різними ділянками і областями кори бувають двох типів, і рухаються вони різними горизонтальними шарами.

Найпростіше для прикладу розглянути зорову кору, хоча всі інші аналізатори органів чуття працюють схожим чином. Та чи інша "картинка", що проектується на сітківку, спочатку проходить через реле таламуса. Той передає сигнал по естафеті, в кору. Збуджувальний сигнал із таламуса надходить у четвертий шар ділянки, що називається первинною зоровою корою. Там розгортається вищеописана битва колонок, у результаті якої перемагає те чи інше їхнє поєднання. Це поєднання - первинна репрезентація зорового об'єкта. Перемігши конкурентів, та залишається у збудженні, яке передається по естафеті в наступну ділянку кори.

Тут збуджувальний сигнал знову засвоюється четвертим шаром кори, і все повторюється. Точно так само як таламус активує четвертий шар первинної кори, первинна кора активує четвертий шар вторинної кори, та активує четвертий шар третинної кори тощо^{39, 40}. На кожному рівні передавання сигналу з відділу у відділ відбувається одна й та сама послідовність подій: певний набір стовпчиків отримує вхідний сигнал із попереднього відділу у свій четвертий шар, передає цей сигнал не збудженим стовпчикам товаришам, пригнічує разом із ними конкурентів і переможно надсилає власний сигнал у четвертий шар наступного відділу. Виникає ієрархія збуджених комбінацій.

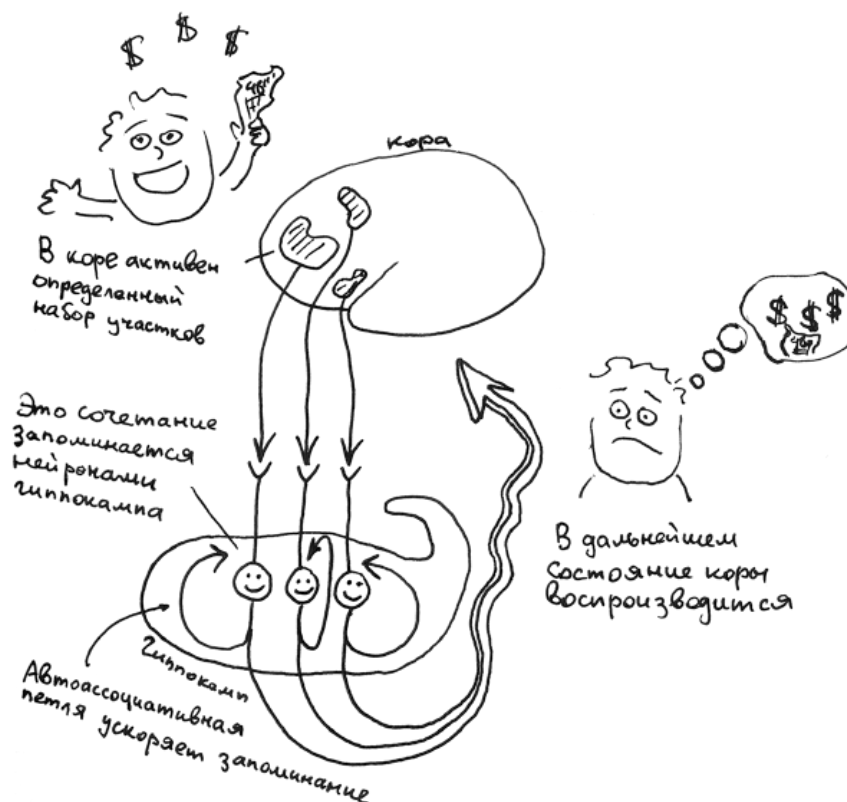
Як ми побачили в попередньому розділі, саме просування інформації ланцюгом синапсів робить її більш узагальненою, а саме це і відбувається під час просування сигналу з одного відділу кори в наступний. Первинний зоровий відділ, наприклад, містить еквівалент "сирих" зображень у цифровій фотокамері. Колонки вторинного зорового відділу отримують сигнали одразу від кількох колонок первинного і кодують, таким чином, їхні узагальнення, наче "стислі" файли у форматі jpeg. Відділи ще вище переходять до зовсім узагальненої векторної графіки, тобто до абстрактних геометричних властивостей спостережуваних предметів. Що вищий щабель цієї ієрархії, то загальнішими стають аспекти реальності, відображені в активності тієї чи іншої колонки. Фізично ця "вісь абстракції" спрямована вперед, від потилиці до тім'я і скронь, а звідти - до лобових часток. Первинна зорова кора розташована в задній частині потилиці й кодує "пікселі". У префронтальній корі, прямо над очима, представлені найзагальніші, найабстрактніші аспекти нашого життя, на кшталт гуманістичної моралі або мотивації ходити в спортзал.

Крім префронтальної кори, є ще кілька ділянок мозку, на яких густо сходяться сигнали з усіх його куточків і які, таким чином, являють собою своєрідні "вершини" абстракції, що узагальнюють своєю активністю цілі пласти сенсорної інформації. Одну з таких "високоабстрактних" ділянок можна вважати спеціалізованим додатком кори, а можна - окремою частиною мозку, яка з корою тісно співпрацює. Це гіпокамп, відповідальний за запис епізодичної пам'яті.

Звивина пам'яті

Що таке епізодична пам'ять? Це збережений стан кори, тобто все, що було в ній активно в певний момент часу⁴¹⁻⁴³. Наприклад, стан кори в той момент, коли її володар виграв у лотерею. Оскільки кора влаштована ієрархічно, то на певному "високому" рівні абстракції в будь-який момент часу міститься інформація про всі аспекти цього стану: зорові, слухові, нюхові, емоційні тощо. Якщо активувати ту чи іншу комбінацію нейронів у цій ділянці високої абстракції, можна "розпакувати" всю іншу активність кори, йому підпорядковану. Людина, яка виграла в лотерею, довго бачитиме нагадування про цю подію в усьому, що хоч якось із нею пов'язано, і вся комбінація її спогадів буде відображена в стані якогось рівня кори на певному рівні абстракції.

До такого "високого" рівня ієрархії належить енторинальна кора - ділянка, що перебуває в тісному зв'язку з гіпокампом, який постачає йому майже всю інформацію для запам'ятовування. Енторинальна кора об'єднує в собі інформацію практично від усіх інших відділів кори^{44, 45}. Тобто збереженням її стану можна в принципі зберегти цілий автобіографічний спогад, що складається з безлічі різних відчуттів.



Навіщо ж тоді потрібен гіпокамп? Чому енторинальна кора не може впоратися із запам'ятовуванням пам'яті самостійно? Річ в особливих властивостях гіпокампа порівняно з рештою кори. Для обох відділів мозку характерна синаптична пластичність: сила синапсів, тобто з'єднань між нейронами, змінюється з часом залежно від активності цих нейронів, як у гіпокампі, так і в корі, що призводить до запам'ятовування. Але в корі ці "запам'ятовуючі" зміни в синапсах протікають вкрай повільно, тоді як у гіпокампі вони можуть виникнути дуже швидко⁴⁶.

У принципі, кора може запам'ятовувати і без гіпокампа⁴⁷. Але зазвичай, щоб кора дорослої людини змінила свою синаптичну структуру, вона повинна багаторазово, протягом тривалого часу піддаватися одному й тому самому впливу. Щур без гіпокампа, взагалі кажучи, може навчитися знаходити шлях до захованої нагороди, але в нього на це йде набагато більше спроб, ніж у звичайного щура⁴⁸. Таке може спрацювати тільки в лабораторних умовах, але аж ніяк не в реальному житті, де положення нагороди занадто непередбачуване, щоб витратити 30 спроб на його запам'ятовування.

Гіпокампу ж у багатьох випадках достатньо однієї події, щоб запам'ятати її в найдрібніших деталях. У ньому є вбудований механізм посилення сигналу, званий автоасоціативною петлею⁴⁶. Він у буквальному сенсі зациклює імпульси, надіслані йому з енторинальної кори, так, що вони багаторазово курсують одним і тим самим ланцюгом нейронів. Це все одно що дуже дуже швидко повторити вірш тисячу разів. Нейрони працюють, "розігріваються", конкурують, тиснуть один на одного, посилюють одні синапси і пригнічують інші приблизно за тими самими законами, що й в інших відділах кори, тільки в умовах цієї заїждженої платівки. У підсумку в гіпокампі швидко формуються репрезентації подій, ситуацій і місць розташування - складних абстракцій, які потребують миттєвого запам'ятовування. Енторинальна кора, може, й містить у собі майже всю інформацію, доступну гіпокампу, але вона не вміє так швидко змінюватися^{46, 49, 50}.

Надалі ці репрезентації, нанесені енторинальною корою на "застиглу платівку" гіпокампа, виступають гіперпосиланнями на сукупні стани кори. Активація тих чи інших нейронів у гіпокампі заново проєктується через енторинальну кору на весь підвладний їй простір мислення: всі зображення, звуки і запахи, пов'язані пам'яттю в єдине ціле, збуджують свої репрезентації одночасно⁵⁰. Якщо спогад викликається в пам'яті багаторазово і кора активується однаковою чином багато разів, то зрештою і вона запам'ятає те, що запам'ятає гіпокамп - просто повільніше. Цей процес називається "системною консолідацією пам'яті". Про нього часто говорять так, ніби пам'ять із часом "переїжджає" з гіпокампу в кору. Насправді ніякого переїзду немає: просто гіпокамп навчається швидше кори, а потім, якщо пам'ять використати, він тренує кору, навчаючи її того, чого навчився⁴⁹.

Другий сигнал

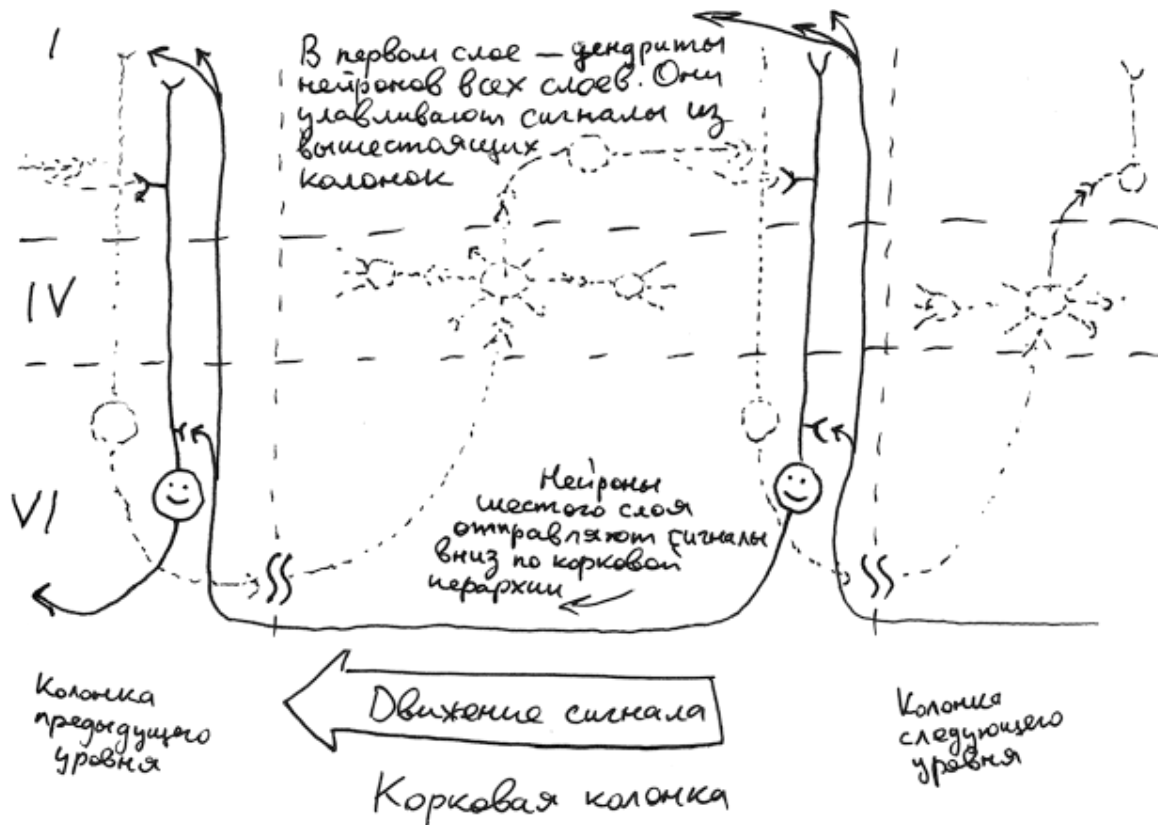
Досі йшлося тільки про один зі шляхів проходження сигналів по корі. Цей шлях передачі інформації пролягає через її четвертий шар, що розсікає кору приблизно навпіл у горизонтальній площині. Ним сигнал рухається від колонок, що представляють найдрібніші сенсорні аспекти реальності, до колонок, які представляють її більш абстрактні, узагальнені властивості. На кожному рівні сигнал фільтрується за рахунок конкуренції між репрезентаціями і далі вирушає на наступний рівень, поступово просуваючись з боку сенсорних даних у бік абстрактного мислення.

Але, крім цього першого шляху, є ще другий, спрямований у зворотний бік. Як при введенні тексту в телефон між людиною і телефоном встановлюються два протилежні напрямки передачі інформації, так встановлюються два напрямки передачі сигналу між двома областями кори. Перший напрямок, описаний вище, - "шлях четвертого шару" - відповідає введенню тексту в телефон. Це сигнали з боку органів чуття, які поступово, ділянка за ділянкою, просуваються в глибину кори. Другий же шлях передавання сигналу, навпаки, спрямований із глибини кори в бік первинних сенсорних ділянок, тобто до органів чуття^{39, 40}.

Цей другий шлях відповідає передбаченням, які телефон робить про текст, що вводиться в нього. Як телефон пророкує те, що в нього зараз введуть, так і ці зворотні сигнали в корі пророкують, яку сенсорну інформацію зараз принесуть вхідні сигнали. Різниця тільки в тому, що в телефоні це передбачення здійснюється на одному рівні, а в корі - на кількох рівнях одночасно. На прикладі введення тексту в пошуковик ми уявили собі три чотири рівні узагальнення, а в мозку їх можуть бути тисячі. Кожен із них - окреме поле битви репрезентацій. На одному "коло" б'ється з "квадратом", а на іншому "А. С. Пушкін" з "М. Ю. Лермонтовим". На кожному з рівнів місцеві комбінації колонок, які перемогли в поточних умовах, транслюють свої сигнали не тільки рівням вище, а й рівням нижче. Ці сигнали, надходячи на інше поле битви, можуть посилити там того чи іншого суперника. Якщо прямий шлях, від часткового до загального, - це дані ззовні, то зворотний шлях, від загального до часткового, - це очікування, які допомагають нам аналізувати ці вхідні дані.

Наприклад, якщо обличчя друга Петрика здалеку здається розмитим, то зорових сигналів недостатньо, щоб відрізнити коло його обличчя від квадрата. Але очікування, що в людей не буває квадратних облич, а друг Петрик має ось-ось прийти, підсилює з двох конкуруючих репрезентацій саме "коло", і обличчя Петрика "збирається" в правильну геометричну форму. Інакше кажучи, активність вищих репрезентацій змінює розклад сил у конкуренції нижчих, і так відбувається на всіх рівнях абстракції одночасно. Ось воно, ієрархічне передбачення, яке я пообіцяв зробити головним принципом організації всієї кори.

Цей зворотний сигнал, що рухається в менш абстрактному напрямку, проходить повз четвертий шар, по якому сигнал рухається в бік підвищення абстракції. Замість цього "передбачувальний" сигнал просувається периферійними шарами: першим і шостим. Завдяки цьому два різноспрямовані шляхи проходження інформації не стикаються один з одним: один рухається серцевиною кори, весь час повертаючись до четвертого шару, а інший рухається периферією, по обидва боки серцевини^{51, 52}. Але, будучи незалежними в горизонтальній площині, вони впливають на одні й ті самі вертикальні колонки - адже ті працюють як єдине ціле. Кожна колонка бере до уваги як "висхідні", так і "низхідні" сигнали і на їхній підставі шле сигнали одночасно "вгору" і "вниз".



Усю кору, таким чином, можна уявити як величезну ступінчасту піраміду, зіккурат абстракції, в якій положення тієї чи іншої колонки визначається її з'єднаннями. Кожна сходинка отримує "серцевинні" сигнали знизу за ієрархією і "периферійні" зверху за ієрархією. Сигнал знизу несе збудження, викликане органами чуття. Сигнал же зверху допомагає інтерпретувати цей сигнал, вибірково піддаючи стимуляції певним колонкам і водночас тим самим пригнічуючи їхніх конкурентів.

Наприклад, на галасливій вечірці окремі слова і фрази зливаються в стіну звуку, і розібрати чужі розмови може бути дуже важко - доти, доки хтось в іншому кінці кімнати не вимовить ваше ім'я. Цьому є відповідна назва - "коктейль ефект". Якби наше сприйняття складалося тільки з висхідних сигналів, то не було б ніякої різниці, що саме говорять люди навколо: або ви їх чуєте, або ви їх не чуєте. Але сприйняття складається рівною мірою із сенсорних сигналів і передбачувальних сигналів. Ми не просто аналізуємо звуки із зовнішнього середовища, ми постійно шукаємо в цих звуках знайомі патерни, вихоплюємо з них те, що очікуємо почути. У стіні звуку міститься абсолютно неперетравлювана кількість інформації. Щоб цю інформацію використовувати на практиці, мозок має заздалегідь знати, що в ній шукати. Вибірково стимулюючи "зверху" тільки частину збуджених звуком кіркових колонок, спадний прогностичний сигнал фільтрує все непотрібне і концентрується на тому, що максимально релевантне вашій свідомості, - а що може бути більш релевантним для людини, ніж її власне ім'я^{53, 54}.

Так само як сенсорні сигнали можуть бути сильнішими і слабшими, так і передбачувальні сигнали можуть відрізнитися за своїм впливом на сприйняття. Деякі передбачення сильніші за інші. Наприклад, особливе місце в людському сприйнятті посідають передбачення облич. Ми їх бачимо скрізь. Якщо абстрактна геометрична фігура хоча б трохи нагадує обличчя, нам підсвідомо починає здаватися, що на нас хтось дивиться. Є психологічні експерименти, в яких людям підсовують дві точки, симетричні відносно центральної осі, і люди, наче за помахом чарівної палички, одразу стають щедрішими та відповідальнішими.

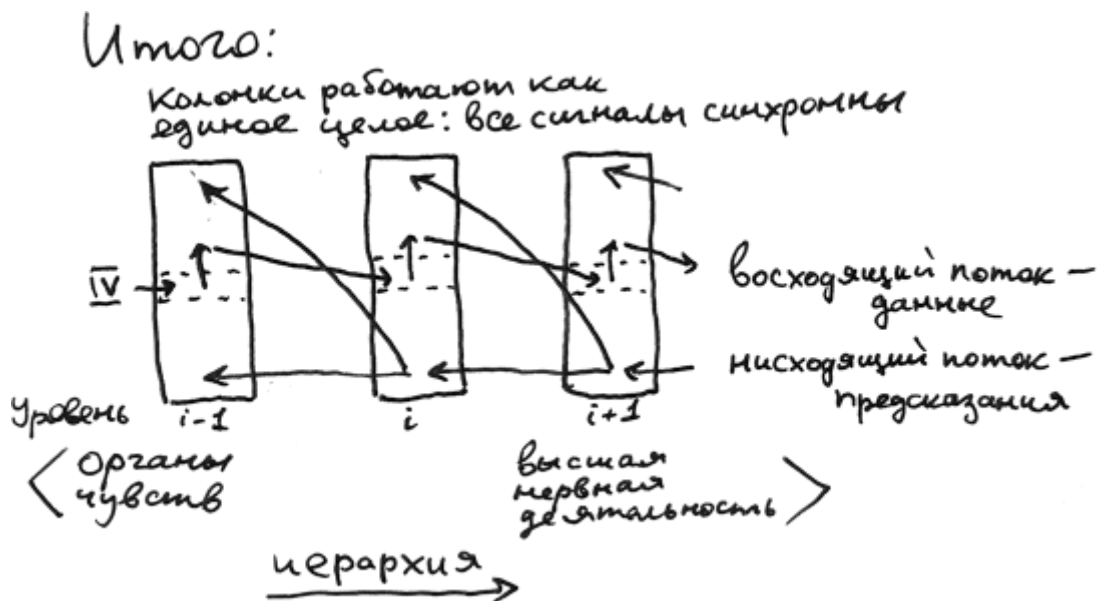
Схильність у всьому бачити обличчя в нас закладена генетично. Але здебільшого передбачення, до яких схильна кожна людина, визначаються її особистим досвідом, тобто пам'яттю. Якщо багато ходити до церкви, то в усіх випадкових подіях бачитиметься рука Бога, а якщо багато дивитися телевизор - то світова змова. Із цим пов'язаний добре відомий будь-якому вченому експериментатору феномен "упередженості підтвердження": людина звертає значно більше уваги на факти, що підтверджують її думку, ніж на факти, які їй суперечать⁵⁷. Більшість науковців щиро хоче, щоб їхня робота була чесною та об'єктивною. Але зберігати неупередженість у науковій роботі набагато складніше, ніж може здатися. Експеримент - це зазвичай перевірка гіпотези, тобто ідеї, що виникла у вченого. Зрозуміло, йому хочеться, щоб його ідея виявилася правильною. Це підсвідоме прагнення неймовірно живуче, і позбутися його свідомим зусиллям просто неможливо. Тому під час планування багатьох експериментів, скажімо, клінічних випробувань ліків, до них включають елемент сліпоти: експериментатор усвідомлено уникає знання про те, хто з пацієнтів отримує ліки, а хто - плацебо, щоб ненавмисно не вплинути на результат.

Сила передбачень може змінюватися не тільки довгостроково, як у випадку професії чи віросповідання, а й короткостроково. Це чудово ілюструється, наприклад, висловом "у страху очі великі". Якщо дитину налякати

страшною історією, то їй потім буде важко заснути, бо в колиханні фіранки бачитиметься злий вампір, а в шурхоті вітру чутиметься дихання чудовиська під ліжком. Бувають і менш емоційні ситуації. Коли хочеться їсти, ми звертаємо підвищену увагу на їжу, а коли хочеться пити - на рідини. Коли ми закохані, очі ніби притягуються до знайомого імені або зачіски чужої людини, що віддалено нагадує про об'єкт нашого почуття. Журналістка і популяризаторка науки Ася Казанцева розповідає, що, коли вона кидає палити, свідомість підсвічує прожектором кожний хабарик під кущем і взагалі будь-яку світлу лінію віддалено сигаретних пропорцій: "Ось же він, наш вітальний ресурс, підніми ж його скоріше!"⁵⁸. Загалом, передбачення, тобто низхідний потік інформації в корі, - це нібито палиця, якою ми мацаємо реальність у місцях, що нас цікавлять, щоб дістати з неї найціннішу для нас інформацію.

Два вогні

Підіб'ємо підсумок: є два незалежні способи, що дають змогу простежити ієрархічність кори. Перший - функціональний. Це робота Пенфілда і його послідовників. Якщо стимулювати різні точки кори пенфілдівським "сапером" або якщо записувати їхню активність залежно від різних стимулів, то стає зрозуміло, що вони утворюють систему багаторівневої абстракції: наприклад, зорові ділянки, які реагують на елементарні візуальні стимули, поступово змінюються зоровими ділянками, що реагують на узагальнені категорії предметів. Тобто ієрархію можна побачити, нічого не знаючи про будову кори і просто тикаючи в різні точки електродами. Другий спосіб - анатомічний. У цьому разі все навпаки: нічого не запитуючи в пацієнтів і нічого не знаючи про функції різних ділянок кори, їх однаково можна вибудувати в багаторівневу піраміду, якщо просто простежити, якими типами з'єднань - висхідними або низхідними - пов'язані різні її ділянки.



Те, що дві ці ієрархії, функціональна й анатомічна, ідеально відповідають одна одній, на мій погляд, один із найбільш вражаючих фактів, відомих нам про власний мозок.

ДО РЕЧІ

З погляду взаємодії різноспрямованих сигналів вельми цікава моторна кора. Її принципова анатомічна відмінність від інших ділянок кори полягає в тому, що в неї немає четвертого шару, а отже, і висхідного потоку сигналів. Можна сказати, що моторна кора - це особлива форма сенсорної кори, в якій є тільки низхідний потік. Сигнал до руху - це "передбачення дії", якому в моторній корі нічого не протистоїть. У сусідній премоторній корі вже є четвертий шар, готовий до прийняття висхідних, сенсорних з'єднань. Цим і пояснюється той факт, що дзеркальні нейрони, які живуть саме в цій частині мозку, активуються як під час власного руху, так і під час чужого: у першому разі це результат роботи низхідного потоку, у другому - висхідного, який починається в очах^{59, 60}.

Висхідні, сенсорні сигнали хаотичні й неповноцінні. Якби нам було потрібно щоразу з нуля аналізувати зорову або слухову інформацію, то ми б нічого не чули й не бачили: нам би доводилося довго й ретельно розглядати найпростіші предмети, щоб скласти про них адекватне уявлення. Ми ж реагуємо на стимули, що тривають миті,

наче ми ці предмети розгледіли у всіх деталях. Під час гри в баскетбол, наприклад, вам необов'язково уважно роздивлятися м'яч щоразу, коли він летить у ваш бік. Сенсорний сигнал із бокового поля зору дає мозку виключно розмиту, фрагментарну інформацію, щось на кшталт "велика швидка пляма збоку". Велика швидка пляма збоку може теоретично позначати "м'яч", а може "ворона" або, припустимо, ""Ашан" 31 грудня". Але попередній досвід дозволяє вищому відділу мозку запитати в нижчого: "А чи не м'яч це?", тому що ще вищий відділ запитує в нього: "А чи не в баскетбол ми граємо?" У рамках цієї глобальної презумпції "баскетбол", "м'яч" і "пляма" миттєво знаходять спільну мову, тому що в переважній більшості випадків під час гри в баскетбол велика швидка пляма збоку відповідає саме м'ячу. За роки тренувань між вищою репрезентацією "м'яч" і нижчою інтерпретацією "велика швидка пляма збоку" встановився сильніший зв'язок, ніж між "плямою" та "вороною", тож інтерпретація "м'яч" своїми низхідними зв'язками підтримує "пляму", а "пляма" своїми висхідними зв'язками підтримує "м'яч", і всі альтернативні інтерпретації пригнічуються. У такій одночасній багаторівневій підгонці сенсорного світу під очікування і полягає обчислювальна міць кори великих півкуль.

Мабуть, найбільш карколомна властивість кори - це те, що їй абсолютно байдуже, які саме сигнали аналізувати й інтерпретувати. Найяскравіше це ілюструють експерименти на щурах, яким імплантують штучні органи чуття - наприклад, камеру для інфрачервоного зору⁶¹. Для цього зовсім не потрібно найтоншими приладами з'єднувати в точних комбінаціях мільйони нейронів. Вони самі з'єднуються так, як потрібно. Досить взяти інфрачервону камеру і з'єднати її електродами з щурячою корою. Спочатку, звичайно, щур нічого інфрачервоного бачити не буде. Електроди посилають імпульси в кору, викликаючи там випадкові сигнали. Але поступово щурячий мозок навчиться зіставляти ці випадкові сигнали з іншими органами чуття і відшліфує їхні синаптичні з'єднання таким чином, щоб вони не суперечили один одному. Штучний орган чуття виявиться вбудованим у кіркову модель світу так само, як звичайні очі або вуха. Зрештою щур навчиться використовувати нову інформацію, щоб орієнтуватися в темряві.

Мабуть, із цією універсальністю кори багато в чому пов'язаний еволюційний успіх ссавців як групи. За часів динозаврів нашим нічним предкам доводилося покладатися на мізерні сенсорні дані: запахи, шерехи, подихи. Кора допомагала об'єднувати й інтерпретувати всі ці крихти інформації в єдину картину світу і швидко в ній орієнтуватися. Коли непташині динозаври вимерли, ссавці отримали доступ до широкого спектра екологічних ніш, що звільнилися, а кора - до широкого спектра багатой сенсорної інформації. Завдяки здатності інтерпретувати що завгодно кора однаково добре підходить для ехолокації, як у кажанів або дельфінів, і для дотику, як у мишей або кротів, і для зору, як у приматів або опосумів. Кора - це універсальна машина розуміння реальності. З її допомогою ми, ссавці, захопили весь світ.

За Платоном, зір являє собою злиття двох видів вогню: одного, випромінюваного предметами, і другого, що виходить з очей. Згідно з сучасними уявленнями, зір являє собою злиття двох потоків інформації: одного, заснованого на сигналах сітківки, та іншого, спрямованого в протилежний бік. Різниця лише в тому, з якого боку від очей відбувається злиття двох вогнів.

11. Скільки коштує щастя

Якби мені платили щоразу,
Щоразу, коли я думаю про тебе,
Я б бомжувала біля трас,
Я б стала найбіднішою з людей.

Монеточка

Нью Йорк, 1926 р. Молода світська жінка з багатой сім'ї, яка увійшла в історію під псевдонімом Роуз Р., лягає спати, і їй сниться кошмар. Вона ув'язнена в неприступному замку. Вона сама і є цей замок, кам'яний, нерухомий. Коли Роуз прокидається, її сон збувається. Вона дивиться в порожнечу, у дзеркало, але не може поворухнутися, не може зрушити з місця ні тіло, ні навіть розум. Вона наче нескінченно поневіряється у власній голові, замкнена, наче в стійлі, в порожніх, нескінченно повторюваних ланцюжках думок. Квадратним кільцем крутиться мелодія "Povego Rigoletto" з опери Верді. Рідні намагаються розштовхати Роуз, але та продовжує просто сидіти і нічого не робити. Так триває 43 роки.

У 1915-1926 рр. у світі стався загадковий спалах захворювання, що отримало назву "летаргічний енцефаліт". Роуз стала однією з жертв цього так до кінця і не поясненого ураження нервової системи. Про те, що їй бачилося за час хвороби, ми знаємо тому, що через багато років її все таки вдалося повернути до життя.

До моменту її першої зустрічі з молодим нью-йоркським неврологом Олівером Саксом Роуз Р. був 61 рік, але мала вигляд на 30 років молодший, наче її заморозили. У неї було нерухоме, гладке обличчя без зморшок. Годинами вона сиділа взагалі не ворущачись. Іноді вона рухала пальцями або вимовляла окремі фрази і слова. У

розмові із Саксом вона весь час повторювала одне й те саме: "Лікарю, лікарю, лікарю, мені так боляче, мені так страшно, мені так страшно".

До 1969 р. у лікарні "Маунт Кармел" у Бронксі, до якої був приписаний Сакс, мешкало близько 80 пацієнтів, які пережили летаргічний енцефаліт. Сакс звернув увагу, що деякі їхні симптоми нагадують ніби посилену версію хвороби Паркінсона. Він вирішив випробувати ліки, якими на той час саме починали лікувати це нейродегенеративне захворювання, - препарат під назвою L ДОФА. Якщо летаргічний енцефаліт - це супер Паркінсон, подумав Сакс, то, можливо, L ДОФА може допомогти і тут. Він мав рацію. За лічені дні після початку лікування пацієнти прокидалися, пожвавлювалися, починали ходити і розмовляти на очах у всього здивованого штату лікарів. Роуз повернулася до життя з радістю і в повному розумі, була активна і весела. Усій цій історії присвячена книга Олівера Сакса "Пробудження" (Awakenings)^{1, 2}.

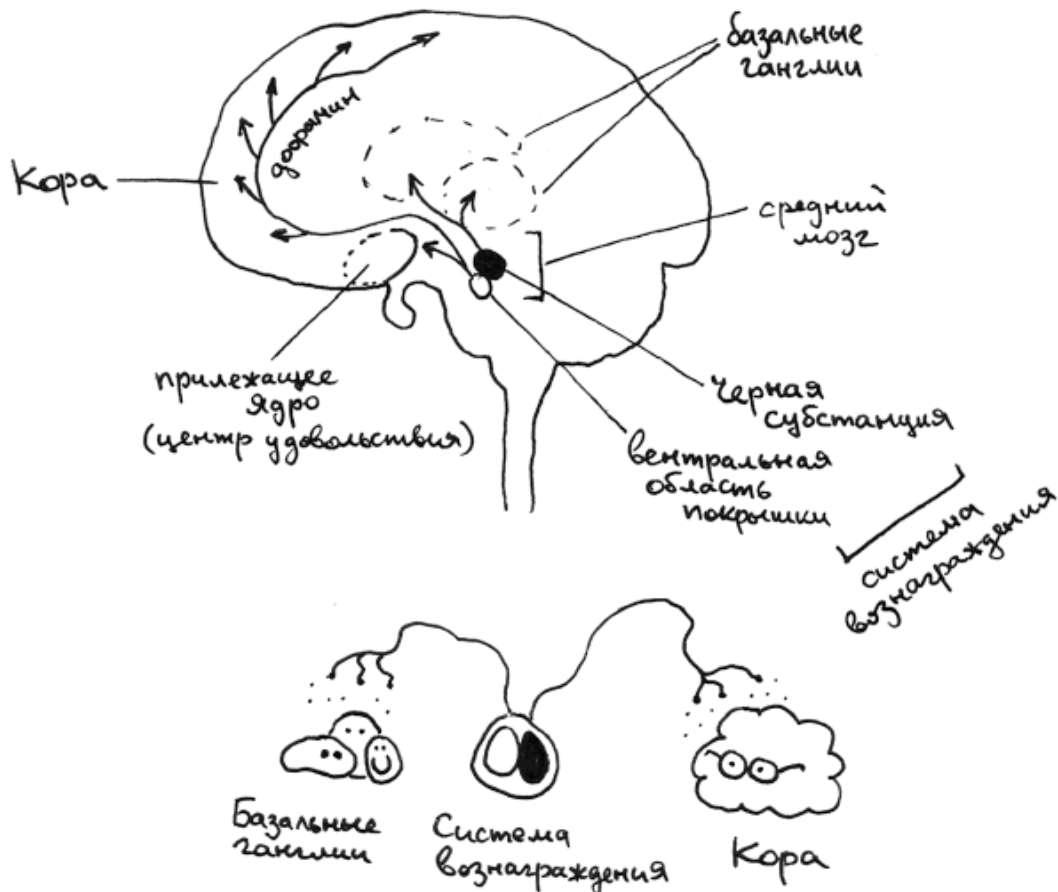
На жак Сакса, пробудження від летаргічного енцефаліту виявилось недовгим. У випадку Роуз воно тривало близько місяця. Інші пацієнти протрималися довше, але з часом їхній стан неминуче погіршувався. У них з'являлися нервові тики і розвивалася страшна манія переслідування, поступово їм ставало важко ходити і рухатися, і зрештою вони знову занурювалися у свій кам'яний сон, з якого їх уже було не витягнути навіть підвищеною дозою L ДОФА. Роуз здавалося, що інші хворі будують проти неї змову. Їй, мабуть, стало ввижатися, що надворі все ще 1926 р. "Так не може тривати. Буде щось страшне", - сказала вона Саксу. Незабаром вона почала заїкатися, перестала стояти на ногах і повернулася до того ж болісно нерухомого стану, в якому перебувала з 1926 р. У ньому вона прожила ще десять років. Зрідка вона повторювала тільки: "Я помру, я знаю, я знаю, я знаю, я знаю". У 1979 р. вона подавилася їжею і померла.

Найімовірніше, летаргічний енцефаліт був аутоімунною атакою на мозок, а спричинений був горловою інфекцією, що ходила світом у 1910-1920-х рр. У самій інфекції не було нічого серйозного, але з якоїсь причини в деяких випадках імунна система після неї атакувала мозок, причому не весь, а в одному конкретному стратегічному пункті: так званій чорній субстанції, центральному вузлі системи винагороди. Чорна ж субстанція уражається при хворобі Паркінсона, хоч і з інших причин.

Назва системи винагороди не цілком відображає її значущість для свідомості та поведінки. Цей відділ мозку не тільки "винагороджує", а й карає, мотивує, оцінює, спрямовує. Розподіляючи по мозку свій знаменитий нейромедіатор - дофамін, він контролює увагу, запам'ятовування і планування, вказуючи нам, куди йти, куди дивитися, що запам'ятовувати, про що думати і що любити. Дофамін - це валюта мозку, якою система винагороди фінансує вигідні статті мозкового бюджету, від думок до рухів. Напевно, так і було б правильніше її назвати: система фінансування. Якщо так, то історія Роуз Р. - це трагічний експеримент, який показує, що відбувається, якщо в мозку закінчуються гроші.

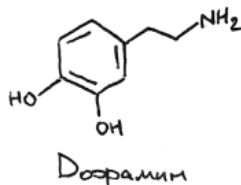
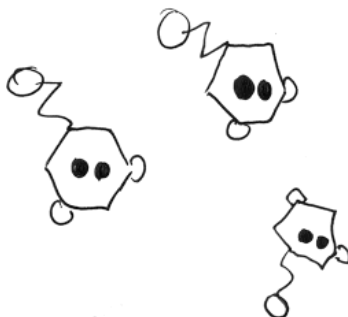
Шлях дофаміну

L ДОФА, препарат, яким Олівер Сакс витягнув Роуз Р. з летаргії, - це, грубо кажучи, штучний дофамін, яким можна зімітувати роботу загинувших нейронів чорної речовини, як стимулюють економіку фінансові вливання. L ДОФА допомагає підтримувати рівень дофаміну і таким чином знімає симптоми за хвороби Паркінсона. Так само сталося і у випадку з летаргічним енцефалітом: L ДОФА тимчасово повернув Роуз та іншим пацієнтам систему винагороди і подарував кілька тижнів життя з бажаннями та мотиваціями.



У чорній субстанції, а також ще в одній сусідній ділянці під назвою вентральна ділянка покоришки, зібрані нейрони, що виробляють дофамін. Дофамін - це нейромедіатор, він "вистрілюється" потенціалами дії цих особливих дофамінових клітин. Крім цієї невеликої групи нейронів у глибині мозку (весь відсік нервової трубки, де вони розташовуються, називається середнім мозком), більше дофамін у мозку ніхто не виробляє. Але завдяки довгим відросткам дофамінові нейрони експортують свій вплив далеко за межі своєї власної території. Більша частина дофаміну вирушає в базальні ганглії - напівавтономні відділи мозку, в які кора передає на "аутсорсинг" деякі аспекти узагальнення і запам'ятовування, як-от комбінації рухів та емоційні реакції. У цих гангліях, що являють собою підкіркові нервові ядра, дофамін бере участь у контролі руху і формуванні "автоматичних" навичок. Тут же формується відчуття задоволення, коли рівень дофаміну різко підскакує^{3, 4}.

Але, крім підкіркових ядер, дофамінове підживлення отримують й інші відділи мозку, включно з самою корою великих півкуль, особливо її передніми, лобовими частками високого рівня абстракції, і "запам'ятовувачим придатком" кори - гіпокампом. Отже, дофаміновими сигналами регулюються найбільш поінформовані відділи мозку, а отже, вищі матерії нашої свідомості.



пояснює таке пояснення? Дофамінові нейрони не вирішують, що на світі добре, а що погано, а просто транслюють сигнал, що надходить із кори та інших відділів мозку.

Тож це все одно що запитати: "Чому футболісти грають у футбол?" - і отримати відповідь: "Тому що в них рухаються м'язи ніг". Все так, але питання то нікуди не поділося.

Якщо вважати дофамін остаточною, "науковим" поясненням любові до купання в морі, то виходить, що будь-яке виділення дофаміну - це неконтрольований, фізіологічний рефлекс. Увесь простір наших можливостей, за такою версією, розкреслено на "добре" і "погано" раз і назавжди встановленими, вродженими, генетично окресленими нейронними з'єднаннями. Якщо продовжити аналогію з питанням "Чому футболісти грають у футбол?", то викид дофаміну тоді еквівалентний неконтрольованому забиванню голів ногами. Нібито ноги футболістів мають вроджене знання про те, куди бити. Тоді виходить, що сам футболіст не відіграє жодної ролі у футболі, і точно так само людина, виходить, не несе відповідальності і не владна над тим, що їй подобається. Я не поганий футболіст - у мене просто ноги неправильно біжать. Я не погана людина - у мене просто дофамін виділяється, коли гидко ближньому.



Олень с побитими очима не грає ролі в футболі

Насправді ж дофамін - не причина, а симптом. Пасивний сигнал у відповідь на активні прояви нашої нервової діяльності, який, як і вся решта нервової діяльності, налаштовується досвідом протягом усього життя і залежно від індивідуальних обставин, рішень і дій. Щоб грати у футбол, футболіст користується ногами, але робить це він не з волі м'язів, а тому що він так сам вирішив. Звісно, на нього вплинули і походи на футбол із батьком, і перегляд чемпіонату світу по телевізору, і гри у дворі з друзями - але все це його власний досвід, а не генетичний досвід його предків. Так і будь-яка людина не живе під владою своєї системи винагороди, а принаймні частково сама вирішує, що їй подобається, а що їй не подобається - тією мірою, якою людина взагалі існує сама по собі, окремо від середовища, що постійно її формує.

Біржа самооцінки

Хто б не вирішував, що саме вважати гарним, а що поганим, таке рішення в нас у голові ухвалюють постійно. Кожна дія, кожна подія супроводжується дофаміновими коливаннями, що оцінюють цю дію чи подію за шкалою "добре - погано". Якщо результат кращий за очікування - дофамін підскакує. Якщо гірший - падає. Це дуже схоже на коливання ринку. Дофаміновий сигнал - щось на кшталт індексу мозкової самооцінки. Мозок постійно підраховує, наскільки успішним є те, що він щойно зробив, і реагує на це посиленням або послабленням канонади дофамінових нейронів. Викинутий ними дофамін допомагає посилити "успішні" з'єднання між іншими нейронами, які щойно спрацювали, завдяки чому поступово відбираються з випадкових комбінацій сигналів найбільш "правильні". Саме так формуються навички та звички, але точно так само цементуються і більш абстрактні патерни думки та поведінки.

Рухи думок, загалом, не так сильно відрізняються від рухів м'язів. Мозку зовсім необов'язково якимось впливати на навколишній світ, щоб викликати викид дофаміну. Досить задуматися про щось, що раніше викликало задоволення. З погляду системи винагороди немає особливої різниці, відбуваються події "наживо" чи воскрешаються з пам'яті. Тож наш мозок здатний стимулювати сам себе - чим він і займається більшу частину часу. Якщо на хвилину відволіктися від телефонів, наших кишенькових дофамінових стимуляторів, то думки здебільшого або мусолять минуле, намагаючись знайти в кожному спогаді захований дофамін, або планують майбутнє, намагаючись знайти захований дофамін у потенційних можливостях.

Коли відбувається щось несподівано гарне - пончик, море, наукове осяяння, весела вечірка, - виділяється "винагорода", тобто різко підвищена доза дофаміну. Це викликає радість. Згодом несподіване стає очікуваним, і дофамін підскакує, коли про це очікування щось нагадає - квиток на курорт, фото з вечірки. Це викликає передчуття.

У цьому випадку дофамін викидається вже не у відповідь на зовнішню подію, а у відповідь на думку про подію, що змушує нас шукати її повторення. Здавалося б, чим більше дофаміну, тим веселіше. Можна скупатися в морі, а можна просто подумати про те, як це здорово. Отже, система винагороди має давати нам змогу складати свої задоволення в шухляду і в будь-який момент до них повертатися, як до іграшок або фотографій.

Але не тут то було. У системи винагороди абсолютно немає завдання зробити наше життя малиною.

Причина страждання

Індія, VI ст. до н. е. Знатний юнак на ім'я Сіддхартха Гаутама розчарований у людській природі. Навколо нього страшна нерівність, але навіть багатії, що купаються в золоті, так само нещасні, як і бідняки. У кого в кишені мідна монета - той мріє про тисячу монет. У кого є тисяча - хоче десять тисяч. У кого десять тисяч - хоче мільйон. Будь-яке задоволення бажання призводить тільки до ще більшого бажання. "Людині властиво страждати", - підсумовує вдумливий Гаутама і йде з дому в мандрівку на пошуки вирішення цієї екзистенціальної проблеми. Згідно з традицією, ці мандри Гаутами поклали початок одній з головних світових релігій - буддизму.

Подібно до більшості великих релігійних течій, за свою довгу історію буддизм розтікся багатокультурним хребтом Азії, розбився на різноманітні потоки та потічки і в усіх випадках зазнав такої кількості політичних, маркетингових і теологічних метаморфоз, що сьогодні в ритуальному поклонінні золотим статуям доволі складно розгледіти ідеї Гаутами⁹. Але якщо відмовитися від усіх нашарувань і ускладнень, то сам майбутній Будда говорив, загалом, прості й напрочуд здорові речі.

У чому, власне, ідея буддизму? Якщо перекладати сучасною мовою, людська природа, згідно з ученням Будди, орієнтована на те, чого немає, і тому в кінцевому підсумку завжди страждає. Якщо задовольнити одне бажання - з'явиться інше, побільше. Якщо вирішити одну проблему - з'являться десять інших. Якщо виправити одну помилку, то виникне потреба виправити всі, а оскільки це неможливо, то, крім страждання, це нічого не викличе. Тому єдиний спосіб не страждати - нічому не чинити опір і нічого не хотіти. Для цього потрібно свідомо концентрувати свою увагу на поточному моменті, приймаючи його таким, який він є. У розробці цієї техніки концентрації уваги на поточному і полягало "просвітлення" Будди, яке в міфах більше нагадує вознесіння Ісуса, але насправді не має під собою нічого надприродного. "Нірвана", ця містична мета буддистів-практиків, буквально означає "загасання". Будда фактично вчив, що для того, щоб побачити світло, треба спочатку загасити свічки.

Це ідеально відповідає сьогоднішнім уявленням про механіку системи винагороди. Задоволення викликається чимось таким, що непередбачувано перевищує очікування. Це відповідає викиду дофаміну в момент отримання несподіваної нагороди. Але через кілька повторень нагорода вже не буде несподіваною і дофамін перестане виділятися. Само по собі це, звісно, прикро, але ще терпимо. Найголовніша ж підступність у тому, що якщо цієї колись несподіваної, а тепер очікуваної нагороди раптом не надходить, то рівень дофаміну падає нижче за норму - "мозковий індекс самооцінки" йде в мінус, як акції компанії, що чимось провинилася. Відчувається це як роздратування і гнів, тобто страждання.

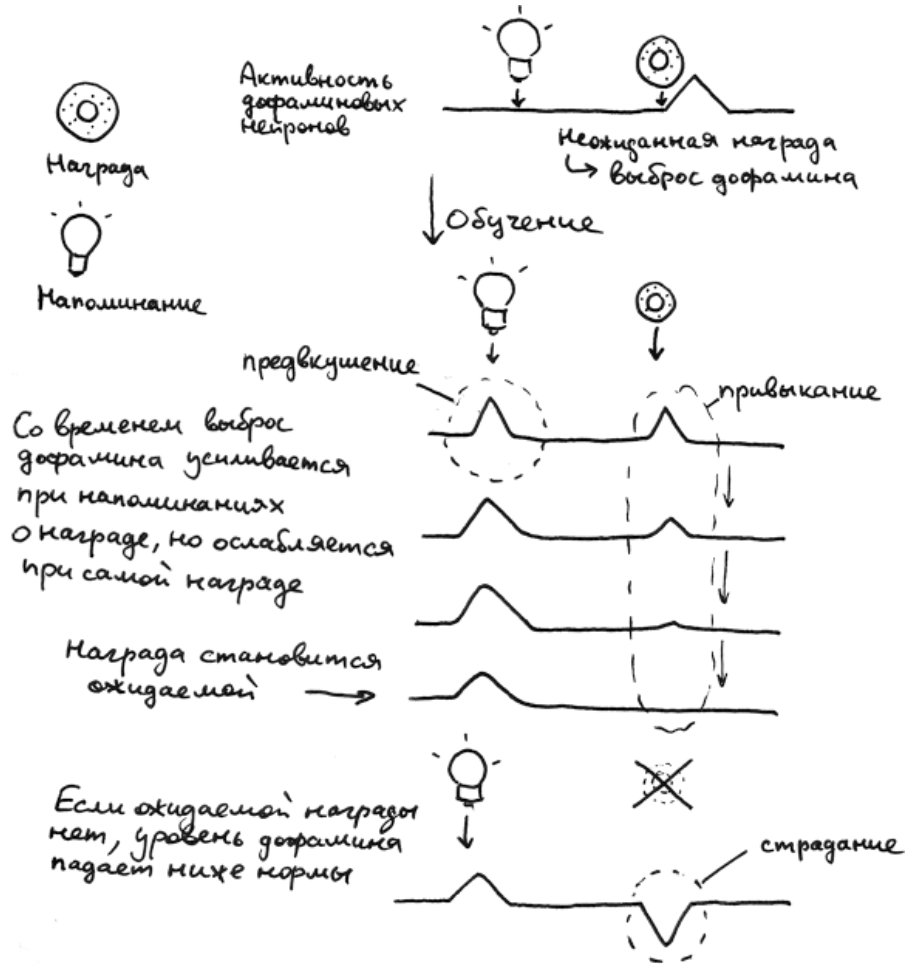
Таким чином, сам факт того, що нам у зовнішньому середовищі щось подобається, поступово ставить нас у залежність від цього зовнішнього середовища. Несподівані радості, від яких нам добре, з часом обов'язково стають очікуваними потребами, без яких нам погано. Перемогти у футбол команду із сусіднього двору приємно, але якщо перемагати щотижня, то вигравати стане нудно, а програвати - образливо. Щоб знову відчути радість перемоги, доведеться йти на міські змагання, де можна зганьбитися і повернутися на подвір'я або перемагати і рушити далі нескінченними дофаміновими сходами дедалі більших бажань і їхнього задоволення. Людина незмінно приходиться або до страждання, або до ескалації бажань.

З кожним повторенням події, яка колись приносила задоволення, дофамінові нейрони реагують дедалі менше і менше. Але передчуття, тобто спогад про колишнє задоволення, поки що викликає в них збудження. Це штовхає нас до подальших повторень, штовхає дворових чемпіонів на кар'єру в спорті, а успішних бізнесменів - на розширення бізнесу. Система винагороди постійно вимагає від нас повторення одних і тих самих дій, але ніколи не доводить до повної задоволеності, порівнянної з першою, початковою реакцією на приємну несподіванку.

Загалом, у повній відповідності з вченням Будди: задоволення породжує бажання, а бажання породжує страждання. Сенс системи винагороди - не зробити нас щасливими, а якраз навпаки, зробити нас незадоволеними.

Навіщо ж може знадобитися така підла система?

Хворобу Роуз Р. та інших жертв летаргічного енцефаліту можна назвати злою пародією на буддійське просвітлення. Ураження чорної речовини, центральної області в системі винагороди, призвело у них до відмирання нейронів, що виробляють дофамін, а разом з ними - здатності чогось бажати і чомусь радіти. Роуз настільки нічого не хотілося, що вона не могла навіть захотіти встати або заговорити, хоча фізично цьому не було жодних перешкод, як показало її короткострокове одужання. Людина, якій не хочеться взагалі нічого, - це страшно.



На цьому прикладі якраз і видно, у чому полягає сенс системи винагороди: вона змушує нас рухатися вперед. Нашим предкам була потрібна система посиленого запам'ятовування приємних несподіванок, і під цю роль був пристосований дофамін, який перетворює ці несподіванки на очікування. Стародавні тварини не могли собі дозволити задовольнятися приємними несподіванками: будь-яке джерело їжі рано чи пізно закінчиться, будь-яке середовище рано чи пізно зміниться. В еволюції перемагали ті з них, кому дофаміну весь час не вистачало, яких мучили спогади про приємне, тому що вони ніколи не стояли на місці і в підсумку досягали більшого. Що ж до душевного спокою, то без нього цілком можна було жити.



Навіщо вмикати світло

У минулому розділі ми розглянули кору великих півкуль, верховний процесор мозку ссавця, і дійшли висновку, що він являє собою карту реальності, на якій кожна точка відповідає тому чи іншому аспекту навколишнього або внутрішнього світу. Ці точки - вони ж коркові колонки - організовані в порядку підвищення їхньої абстрактності, тобто узагальненості. Колонки різних рівнів перемовляються одна з одною двома потоками з'єднань: висхідним і низхідним, і спільними зусиллями виробляють у корі логічно завершену, внутрішньо узгоджену модель навколишнього світу.

Згідно з впливовою теорією передбачувального кодування, завдання кори загалом полягає в тому, щоб будь-якими способами підігнати реальність під цю модель^{10, 11}. Якщо в кору з очей або вух надходять сигнали, які не вкладаються у вироблену систему, то може бути кілька варіантів розвитку подій¹².

Варіант перший, найпоширеніший: мозок не звертає уваги. Повз нас постійно проходять тисячі нових, незрозумілих подій, що не стикуються з нашим розумінням світу, але звертаємо увагу ми на них тільки зрідка. Наприклад, в американській англійській "встати в чергу" - це "get in line", "встати в лінію", але в Нью-Йорку кажуть: "get on line", "встати на лінію". Якщо для типового американця "лінія" це власне черга з кількох людей, то для нью-йоркця "лінія" - це невидима риска на підлозі, на якій ці люди стоять. Я встиг прожити в Нью Йорку чотири роки до того, як мені розповіли про цей нюанс. І весь цей час я чув "in line" і не замислювався про інші можливості: мені й на думку не спадало, що є якась особлива нью-йоркська фраза. Тепер мені так само складно уявити, що я міг її не помічати.

Варіант другий: мозок звертає увагу і знаходить нову інтерпретацію. Я думав, гриби на пляжі не ростуть, а потім побачив це на власні очі, здивувався і змінив свою модель реальності. Я думав, що мені на плече сіла муха, а виявилось - кіт махнув хвостом. Я думав, у склянці вода, а виявилось - горілка (у початковій школі чомусь ходило багато таких історій про склянки горілки, залишені батьками на видному місці).

Нарешті, варіант третій: мозок звертає увагу і змінює реальність так, щоб вона відповідала моделі. Ставить на місце посуд. Витирає пил. Поправляє краватку. Збирає кубик Рубіка. Пише гнівні коментарі в інтернеті.

В англійській мові є гарна фраза, що описує цю "рушійну силу" кори: explain away reality, тобто дослівно - "пояснити реальність геть": не просто знайти пояснення, а "відпояснити" так, щоб не залишилося нічого непоясненого. Підігнати реальність під теорію, замкнути її всередині моделі, всю, до кінця. Згідно з таким уявленням, органи чуття спрямовують у кору потоки висхідних сигналів, а кора намагається низхідними сигналами (включно з сигналами до рухів м'язів) їх задавити до стану повної пояснюваності, за якого з висхідного потоку вибирають лише окремі струмені, а решту активності пригнічують. Неважливо, чим досягається узгодженість: зміною передбачення, зміною реальності чи відсутністю інтересу. Головне, що в результаті перемагає максимально узгоджена система з'єднань, і кора заспокоюється до моменту, доки запахи або звуки не принесуть їй знизу черговий сплеск нез'ясованої активності.

З цього є цікавий наслідок. Нам хочеться думати, що ми керуємося раціональними спонуканнями, прагнемо до об'єктивності, до істини. Насправді наш мозок хоче не раціональності, а узгодженості. Неважливо, правда чи неправда, важливо, що все пояснено. Неважливо, об'єктивно чи суб'єктивно, важливо, що не заважає тому, у що ми віримо. "Підгонка реальності під модель" - це, звісно, спрощення цілей і завдань кори, але якщо поспостерігати за власними думками, то воно непогано описує нашу поведінку і розумовий процес. Ми набагато гостріше реагуємо на відхилення від звичного, ніж на саме звичне. Коли я відмикаю двері у свою квартиру, то майже ніколи не звертаю на це уваги і за кілька секунд не можу навіть з упевненістю сказати, що я щойно повертав ключ у замок. Але якщо в процесі я виявляю, що двері не замкнені, різко "прокидаюся" і починаю шукати пояснення. Туристи в місті дивляться на всі боки набагато більше, ніж корінні жителі, тому що в них ще тільки формується модель нового місця, тоді як старожили просто бродять провулками власної уяви, вмикаючись лише якщо забредуть кудись не туди.

ДО РЕЧІ

"Прогностичне кодування", в якому захисники теорії вбачають основу діяльності мозку, нагадує технологію, за допомогою якої зменшується розмір відеофайлів в онлайн роликах. Якщо зберігати кожен кадр у вигляді окремого зображення, то це займає дуже багато місця. Але більшість кадрів схожі на сусідні - зазвичай від кадру до кадру змінюється лише незначна частина зображення. Тому розмір файлу можна зменшити, якщо записувати в пам'ять не всі кадри, а лише деякі, а в інших зберігати лише мінливі частини. Так і мозок, реагуючи тільки на відхилення від моделі реальності, знижує своє розумове навантаження.

Головне питання, про яке сперечаються захисники такої теорії, іноді називають "проблемою темної кімнати"^{10, 11}. Воно полягає в такому: якщо все, чого прагне кора, - це внутрішньої узгодженості та поясненості, то чому вона не змушує нас забитися в темній кімнаті в темний кут, нічого не бачити й не чути, не отримувати жодної нової інформації та ніяк її не пояснювати? Хіба не буде це найпростішим способом досягти узгодженості? Навіщо туристи їдуть у чужі міста і дивляться по сторонах, коли можна нікуди не їздити і нікуди не дивитися? Якщо кора хоче підгонки реальності під модель, то чому ми тоді взагалі щось робимо?

На мій погляд, рішення у "дилемі" елементарне: просто сенсорними сигналами вхідні сполуки в кору не обмежуються. Крім них, у кору постійно надзвонюють інші відділи мозку, від "запам'ятовуючого додатка" гіпокампа і "емоційного центру" амигдали до підлої, хитрої і несправедливої системи винагороди. Вони й

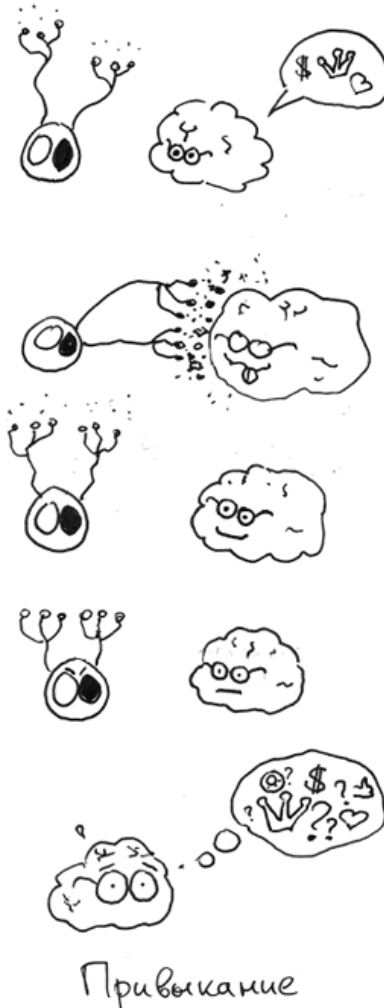
виштовхують кору з темної кімнати, витягаючи з пам'яті спогади про колишні задоволення духу й тіла: від їжі й води до всіляких розваг, включно з подорожами, які у спогадах постають незрівнянно привабливішими за темну кімнату. Ми знаємо, наприклад, що під час подорожі в чуже місто на нас чекає безліч несподіванок, які багато в чому будуть приємними, і це знання пересилює потяг до узгодженості. У різних людей баланс сил може бути різним: хтось легкий на підйом, а когось важко витягнути із "зони комфорту".

Кора сама по собі, можливо, і рада б сидіти в "темній кімнаті". Але їй постійно докучають спогадами старі звички. Її постійно змушують шукати нагороду й упізнавати небезпеку, вимагають обчислень реальності, за допомогою яких можна було б уникнути всього поганого й повторити все хороше, а краще - знайти цього хорошого ще, та побільше, побільше...

Гірка іронія нашого існування полягає в тому, що ми прагнемо одночасно до різних речей. З одного боку, ми хочемо спокою і поясненості. З іншого боку, ми хочемо несподіванок і задоволень. У примиренні цих двох прагнень, мабуть, полягає єдиний шанс людини на тривале щастя.

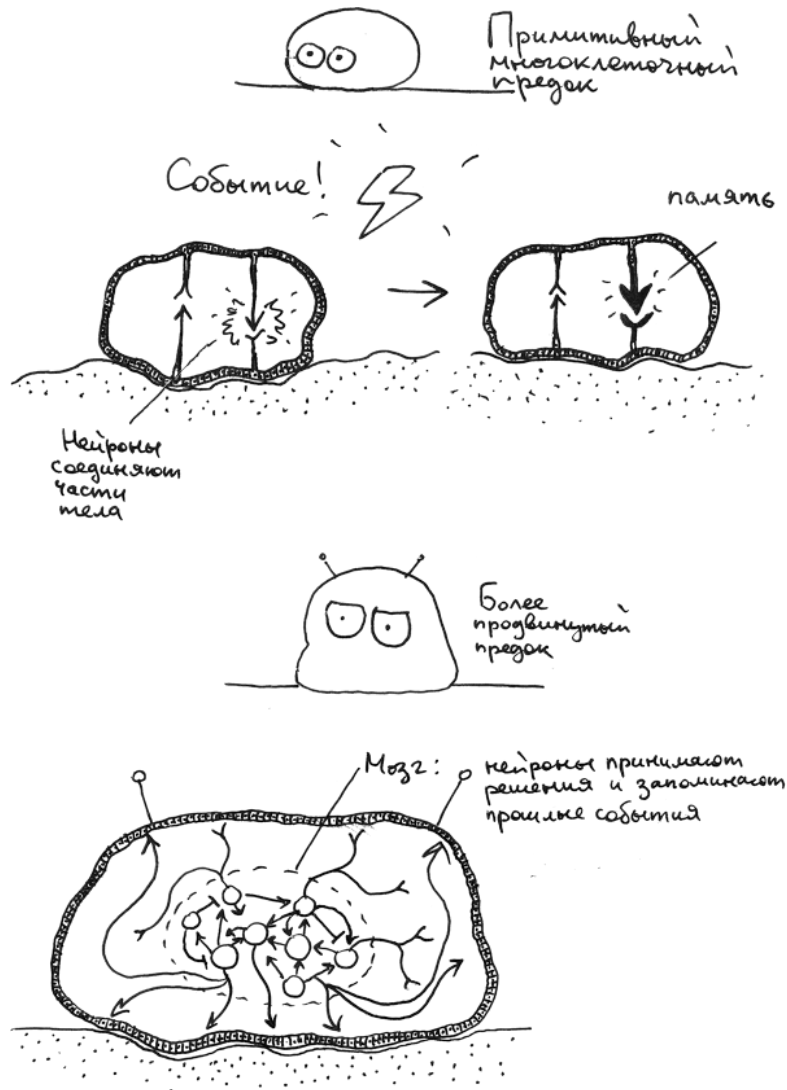
Чого не зробиш заради себе

Для кого ми робимо те, що робимо? Ми вже одного разу задавалися цим питанням у першій частині книги. Тоді ми порівнювали бактерії з еукаріотами і дійшли висновку, що для бактерії немає різниці, чи робити щось "для себе", чи "для роду", тоді як для еукаріотів різниця виникає через дорожнечу і значущість кожного окремо взятого організму. Ця різниця остаточно формалізується з появою багатоклітинності, коли організм, що несе гени з минулого в майбутнє, розділяється на статеву лінію, або гермоплазму, і підвладне їй тіло, або сому. Гермоплазма продовжує безперервний рух із покоління в покоління, і тому в ній сконцентрований весь еволюційний процес. Сомат ж народжується і вмирає тільки одного разу і тому в усьому підпорядковується генетичній волі гермоплазми.



Але зі збільшенням і ускладненням багатоклітинного організму сома починає частково виходити з-під впливу генів і статевої лінії. Оскільки все тіло - це продукт однієї й тієї самої зиготи, всі інструкції до його застосування мають уміщатися в одній клітині й одному геномі. До певних меж це працює: усі наші клітини містять однакові гени, але в цих генах записані механізми, за якими одні клітини перетворюються на руки, інші - на ноги, а треті - на голову. Однак передбачити все, що може трапитися з конгломератом із трильйонів клітин за роки життя, суто генетичними засобами просто неможливо. Тому гермоплазма в якийсь докембрійський момент еволюції тварин надала сомі часткову автономність - здатність навчатися.

Для цього знадобилися зачатки системи, початковим завданням якої, мабуть, було банальне проведення сигналів між частинами тіла. У окремо взятої клітини зазвичай немає проблем сповістити про небезпечну подію весь свій одноклітинний організм, але для багатоклітинного це серйозна проблема. Пронизавши свій організм довгими клітинами провідниками і забезпечивши їх електричною активністю, тварини отримали власну систему швидкого реагування. Ці клітини повинні були не тільки проводити збудження, а й передавати його іншим клітинам, зокрема собі подібним. Так з'явилися нейрони і синапси. Чим більше було в нейрона синапсів, тим більше в нього було варіантів передачі сигналу. Регулюючи силу синапсів за тими чи іншими законами, організм міг спрямовувати свою поведінку в одне чи інше русло. Ці закони могли бути генетичними: "посилити синапси, що ведуть до їжі", наприклад; а могли бути абсолютно не пов'язаними з інструкціями гермоплазми: "посилити синапси, які багато використовуються". Гермоплазма не знає заздалегідь, які синапси використовуватиме її сома, а отже, не має повного контролю над тим, як змінюватиметься її нервова система протягом життя. Так з'явилася пам'ять, тобто негенетичне збереження тілом закономірностей власного, індивідуального життя.



Ця логіка часткової автономності мозку від генів виявилася з точки зору генів успішною стратегією. Надавши тварині здатність навчатися, гени позбулися необхідності мільйонами років відточувати кожен рефлекс і передбачати кожну можливу ситуацію, втрачаючи в цьому процесі еволюційної оптимізації мільйони дорогих організмів, тільки щоб потім починати все заново, коли умови середовища раптом зміняться. Натомість тварина могла сама регулювати свою власну поведінку, постійно аналізуючи ситуацію і на льоту враховуючи будь-які зміни навколишнього світу. Це дало змогу тваринам довше жити і бути більшими - за наявності мозку навіть таке велике і довгострокове вкладення капіталу, як слон або тигр, може себе виправдати. З позицій гермоплазменної диктатури автономія мозку прийнятна, якщо тільки вказати їй, у якому напрямку рухатися.

Так мозок і розвивався сотні мільйонів років. Почавшись як мережа передачі сигналів від органів чуття до м'язів, поступово він розвинувся в автономну "машину розуміння", керовану генетичними мотиваціями. Власне передача сигналів у м'язи відійшла на другий план: більша частина мозку перетворилася на систему синапсів, тобто на систему узагальнень, чия основна функція перейшла від власне дій до ухвалення рішень про те, які саме дії здійснювати.

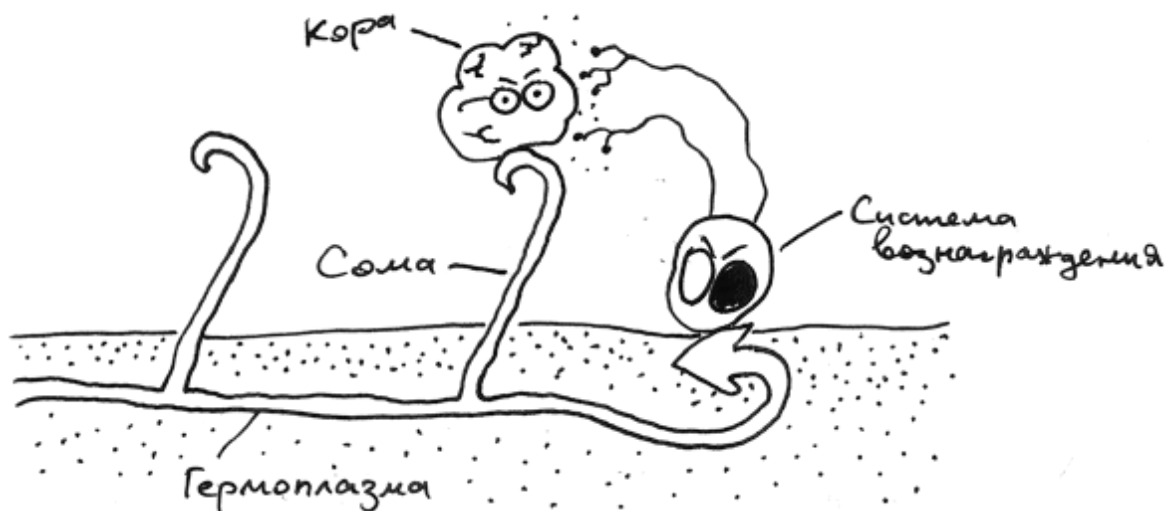
Цей процес, як і раніше, перебував під генетичним контролем. Будь-яка "машина розуміння" - частина соми, а отже, вона помирає кожне покоління, тобто не має впливу на вічність, тоді як гермоплазма продовжує еволюціонувати і, отже, контролювати будь-які ексцеси мозку. Якби мозок раптом захотів стрибати в прірву, то гени, які дозволили таку безладність, швидко б програли більш суворим генам, які пригнічують такі ідеї інстинктом самозбереження. Тому автономія мозку працює тільки в певних межах - гени тримають мозок у вузді.

Але розвиток "розуміючих" здібностей мозку незмінно виявлявся генетично вигідним, особливо у важких ситуаціях, таких як мезозойське "нічне пляшкове горлечко", коли предки ссавців були змушені ховатися від динозаврів. Тож логічним розвитком автономії мозку стала поява кори великих півкуль - універсальної машини розуміння всього, незалежно від природи та джерел сигналу. Ця машина настільки ефективно і глибоко аналізувала реальність, що наздогнати її гени вже не могли. З цієї причини вони врешті-решт пішли на принципову поступку - дозволили корі самій вибирати, чого хотіти.

Розрахунок гермоплазми, звісно, був суто генетичний. Гени цікавляться тільки тим, з якою ймовірністю і в яких кількостях їх передадуть із покоління в покоління. Але автономний мозок настільки добре керує поведінкою, що навіть часткова автономія його мотивацій зазвичай іде генам на користь. Задавши загальні напрямки руху: не гинути, добре харчуватися, розмножуватися, нічим не задовольнятися, - гени надали корі самій вирішувати, що це означає і якими способами досягається. Довіривши корі частковий контроль над системою винагороди, гени відпустили поводи, якими утримували мозок.

Отримавши в розпорядження свободу дій, мозок став заповнювати мисленням і поведінкою весь простір можливостей, який міг знайти. Шлях до їжі та розмноження в деяких випадках виявлявся настільки складним і заплутаним, що потребував інтерпретації та узагальнення небачених досі пластів інформації, і в процесі її переробки мозок дізнавався і розумів те, що ніколи не було доступно генам. У деяких випадках, як у нашому загоні приматів, це призвело до такого колосального збільшення здібностей мозку, що він став мислити про немислиме: наприклад, почав аналізувати свою власну активність. Нарощування автономії мозку в кінцевому підсумку призвело до того, що мозок усвідомив навколишній світ, а потім і сам себе.

Звичайно, гени нікуди не поділися, як нікуди не поділося і тіло, сформоване мільярдами років еволюції на благо цих генів. Але тепер в організмі співіснували дві різноспрямовані мотивації: мотивація генів, що вимагає руху вперед, крізь покоління, і мотивація особистості, що вимагає автономії. Ці мотивації і видно в роботі системи винагороди і кори. Середній мозок, цей древній, гермоплазменний орган контролю за поведінкою, продовжує диктувати нам волю наших предків. Але кора, автономний орган індивідуального розуміння реальності, каже нам, що це безглуздо. "Хіба я - це гени?" - запитує кора і прагне жити по-своєму, але незмінно натикається на дофамінові хвили страждання, якими гени намагаються повернути собі контроль над собою.



Причина людського страждання в тому, що ми багатоклітинні еукаріоти, які занадто багато розуміють про власне життя.

Економіка буддизму

Як же врятуватися від страждання? Чи є вихід із постійного циклу бажань і залежностей? Варіант, запропонований Гаутамою, - це контроль уваги, тобто медитація. Людина вміє спрямовувати увагу туди, куди хоче. Без такого контролю ми постійно риемося у власній свідомості, намагаючись знайти задоволення або в минулому, або в майбутньому, і ніколи не буваємо нічим задоволені. Якщо ж концентруватися на поточних подіях і намагатися ніяк їх не оцінювати, то несподіванок буде менше, але й залежностей теж буде менше. Що "тихіше" звичне тло стимуляції, то ясніше на ньому помітні прості, повсякденні радощі - розмови з друзями, пейзаж за вікном, навіть

власне дихання. Але позбутися звички постійно думати про минуле або майбутнє дуже складно. Це вимагає докорінної перебудови мотиваційної системи, накопиченої за роки веселого й насиченого життя. У цьому й полягає буддійська практика.



Якщо буддійська медитація здається надто радикальним варіантом, то пропоную той самий посил переписати в економічних термінах. Якщо система винагороди - це система фінансування, то так її можна і сприймати. Дофамін - це гроші, які гермоплазма виділяє нам, організмам, на благі справи. Якщо сприймати цей дофамін як кінцевий ресурс, то все стає на свої місця. Можна розтратити весь свій дофамін на ігри в телефоні та сутички в соцмережах. Але тоді не залишається дофаміну на читання книжок, які на тлі яскравого екрану, що дзвенить і переливається, виявляються занадто нудними. Іноді можна кинути весь наявний дофамін на вечірку століття - просто треба заздалегідь розуміти, що решту тижня доведеться сидіти на хлібі й воді, у дофаміновому сенсі. Зате якщо заощадити, утриматися від непотрібних витрат на метушню, то справжні радощі життя стають ще радіснішими.

Найцікавіше, що це стосується не тільки і навіть не стільки активних дій, скільки думок. Що більше чогось хотіти - то більше дофаміну витрачається на холосте повторення приємної думки, яка поступово приїдається і стає очікуваною. Якщо людина роками мріє про щось конкретне, то під час досягнення цієї заповітної мрії зазвичай вона, в кращому разі, нічого не відчуває, а в гіршому - відчуває глибоке розчарування. Про це оповідає, наприклад, великий роман американського класика Ф. Фіцджеральда "Великий Гетсбі". Гетсбі присвячує все своє життя і всі свої амбіції поверненню згаяного кохання, для чого накопичує величезні статки і оселяється в особняку, розташованому через затоку від будинку своєї пасії. Щоночі він підносить руки до зеленого вогника, що світиться на пристані біля її будинку, ніби поклоняючись невідомому божеству. Але, щойно кохана Гетсбі нарешті падає в його обійми і багаторічні мрії стають реальністю, містичне зелене світіння раптово виявляється звичайним ліхтарем. Іноді мріям краще залишатися мріями.

Щасливе життя - це компроміс між волелюбною сомою і фашистською гермоплазмою. Зовсім необов'язково відмовлятися від усіх бажань, ба більше, як показує приклад летаргічного енцефаліту, це болісніше за будь-яку залежність. Потрібно просто балансувати бюджет. У довгостроковій перспективі не так важливо, звідки ви черпаете щастя, - важливо, як ви з ним поведетеся. Неважливо, яка у вас професія, яка машина і скільки у вас грошей. Наша поведінка веде нас у бік підвищення дофаміну, але ця дорога нічим не закінчується. Жодна цілеспрямована дія не може призвести до довгострокового підвищення щастя, тому що будь-яке досягнення мети веде до появи нової мети - людина реагує на зміни, а не на конкретний стан. Якщо прийняти цей факт як даність, то стає зрозуміло, що щастя в принципі можна знайти тільки в процесі, а не в результаті.

Сенс життя - не вирішення завдання, а стан запитування.

12. На початку було слово

Дай мені перевірити міцність
 Твоїх вій, прозорість очей.
 Я вивчив склад твоїх сліз
 І написав про це розповідь.
 У всіх журналах світу
 Його видали всіма мовами,
 І ти тепер плачеш щодня
 І ріжеш вени на руках.
Найк Борзов

У бразильських джунглях Амазонки захована унікальна антропологічна пам'ятка. Це жменька сіл, населених народом пірахан, кількома сотнями мисливців-збирачів. Села - це, щоправда, голосно сказано. Житла пірахан являють собою прості дерев'яні конструкції: щось на кшталт грубо збитої лави з навісом з листя або мішковини. Кілька таких "хатин" на березі річки - ось і все село. Люди пірахан на перший погляд своєї унікальності нічим не видають. Вони одягаються у звичайнісінькі футболки, шорти та спідниці. Вони не виділяються серед середньостатистичних бразильців ні кольором шкіри, ні формою носа, ні якимись особливостями своєї фізіології. Виділяються вони двома речами. По-перше, мовою. Мова пірахан настільки не схожа на жодні інші мови, що лінгвістам через неї доводиться переосмислювати теорію мови в принципі. По-друге, своєю культурою. Пірахан - зовсім не дикуни. Але з точки зору більшості інших культур це жахливо дивні хлопці.

Майже все, що ми знаємо про пірахан, стало відомо решті світу завдяки одній людині, американському лінгвісту Деніелу Еверетту. Він жив з пірахан найдовше, досконало опанував їхню мову і, поза всяким сумнівом, знає про цей народ більше, ніж будь-хто інший із західних учених. Спочатку Еверетт приїхав на Амазонку як місіонер, сподіваючись перекласти Біблію мовою пірахан і повернути їх у християнську віру. Згодом Еверетт став сумніватися у власній вірі і врешті-решт відмовився від своєї місії, сконцентрувавшись на науковій роботі лінгвіста й антрополога. За його словами, життя з пірахан похитнуло всі його уявлення про людську природу, мораль, релігію, про те, що таке добре, а що таке погано^{1, 2}.

Річ у тім, що пірахан, незважаючи на свою цілковиту технологічну примітивність, абсолютно не потребують нічиєї допомоги. Пірахан не засівають поля, але й не голодують. Іноді вони спльовують насіння маніюки на землю і іноді вона там проростає, і тоді вони її їдять. Вони чудово знають ліс, добре полюють і без особливих труднощів забезпечують себе плодами джунглів. Але запасати їжу на майбутнє їм просто не спадає на думку. На риболовлю вони ходять не за будильником перед світанком, а коли заманеться, деколи ліниво забираючись у великий човен юрбою чоловік у двадцять, а там хто хоче - рибалить, а хто хоче - просто сидить. Їм нормально.

До речі, про будильник. Пірахан вважають, що спати шкідливо і помирає людина, коли проводить увісні певний час. Тому сплять пірахан дуже мало, не розрізняючи дня і ночі, а просто час від часу ненадовго вкладаючись на свою лавку або притуляючись до дерева на півгодини. У заголовку однієї з книг Еверетта про пірахан використана місцева приказка, що нагадує про небезпеку сонливості: "Не спи - навколо змії!" Здавалося б, пірахан мають бути млявими і болісними. Але ні. Їм нормально.

Поняття приватної власності у пірахан розвинене слабо. Це поширюється навіть на шлюбні стосунки. Пірахан живуть у більш-менш постійних сім'ях, але розлучення допустимі і нікого не турбують. Що ж стосується матеріальних благ, то піраханці ними майже не цікавляться. У дітей немає постійних іграшок, вони підбирають будь-що і роблять із цим що захочуть, а потім викидають і забувають. У літературі весь час цитується випадок, описаний Евереттом, коли, побачивши літак, що пролетів, піраханські діти раптом змайстрували з палиць несподівано реалістичну модель аероплана, пограли з нею і викинули. Ніяких подібних виробів пірахан не зберігають. Почасти через це з ними катастрофічно складно налагодити контакт - їм нічого не потрібно, тому вони не бачать сенсу в налагодженні будь-яких контактів. Майже єдине віяння ззовні, з ентузіазмом прийняте пірахан, - це їхній трикотажний одяг.

В іншому ж пірахан над цим самим "ззовні" щиро потішаються. У них є спеціальний термін для всіх не пірахан: "крива башка". Представники зовнішнього світу вражають піраханців своєю невгамовною манією все ускладнювати. Пірахан, на відміну від автора і всіх читачів цієї книжки, майже не замислюються ні про минуле, ні про майбутнє. У них немає ні міфів, ні довгострокових планів. Якщо їх запитувати, звідки все взялося, вони відповідають: "Так завжди було". При цьому пірахан виглядають щасливими. Вони безперестанку посміхаються і сміються. Можна зрозуміти, чому Деніел Еверетт став сумніватися в місіонерстві: якщо близько познайомитися з цими "примітивними", на перший погляд, людьми, то стає незрозуміло, за яким правом "крива башка" взагалі чогось вчить здорову, щасливу, безтурботну людину.

Суспільство і культура пірахан виділяються навіть серед інших спільнот мисливців-збирачів, у яких зазвичай більш виражені колективні вірування, поняття приватної власності та шлюбні зобов'язання. Тим цікавішим є той

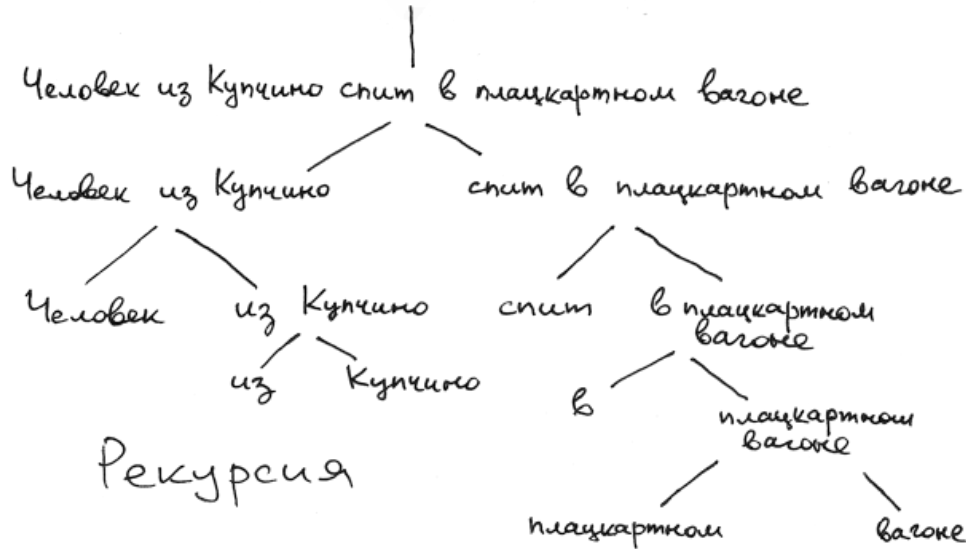
факт, що точно так само виділяється серед інших мов піраханська мова. У ній дуже мало звуків, тож звучить вона дуже дивно, майже медитативно, наче пташина пісня чи мовленнєва азбука Морзе. Звуки вимовляються ліниво, іноді півслова проковтується, а за бажання всю мову можна просвистіти (зрозуміло, чому з іноземних лінгвістів мову пірахан зуміли освоїти лише одиниці). У їхній мові відсутні фіксовані назви кольорів і чисел. Багато іменників запозичені з говірок сусідніх племен і з португальської. Але найнезвичайніше - це майже повна відсутність будь-якої граматичної складності.

Наприклад, у розмові про погоду піраханець може сказати фразу приблизно такого звучання (писемності у пірахан, звичайно, немає): "Ай, каай каай каай о, аба ти, пібойі со". Це речення дослівно перекладається так: "Ну, дім удома, залишаюся, йде дощ". Тобто замість складного речення "Я сиджу вдома, коли йде дощ" носії мови пірахан просто перераховують складові частини своєї думки: дім, сиджу, дощ. Особливо цікава тут конструкція "пібойі со". Суфікс "со" в піраханській означає "не зараз", тобто або в минулому, або в майбутньому. Йде дощ, але не в цей момент. Замість того щоб скласти складне речення, в якому дощ - умова, а сидіння вдома - наслідок, піраханці просто вказують на те, що в минулому і майбутньому сидіння вдома співіснує з дощем. Подібну простоту граматичних конструкцій видно, навіть коли носії мови пірахан розмовляють португальською. Деякі чоловіки володіють достатньою кількістю слів, щоб порозумітися, але вони використовують ці слова по піраханськи, списком, на кшталт "Ну, дощ, кап кап кап, бути вдома, сиджу лавка, ех, спати" 3.



Олень с похитыми глазами сидит дома,
когда идет дождь, но не сейчас

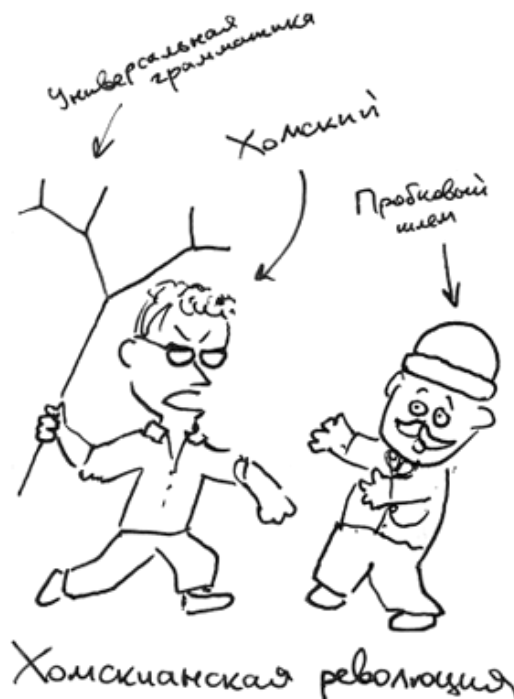
Вивчення цього явища - відсутності складних граматичних конструкцій, а якщо точніше, відсутності рекурсії в мові пірахан - стало новою "місією" Деніела Еверетта, цього разу науковою. Річ у тім, що останні півстоліття у лінгвістиці панувала ідея так званої універсальної граматики: всі людські мови світу підкоряються одним і тим самим принципам, що визначаються властивостями людського мозку. Серед таких принципів центральним є рекурсія. Рекурсія - це синтаксична архітектура мови, за якої елементи вкладаються в інші елементи. Наприклад, можна сказати: "Людина спить", а можна сказати: "Людина з Купчино спить у плацкартному вагоні". Це один і той самий герой. В обох випадках він робить одне й те саме. Але сенс речення розширюється за рахунок заміни слів "людина" і "спить" цілими фразами: "людина з Купчино" і "спить у плацкартному вагоні". Кожне зі слів у кожній із цих фраз може точно так само замінюватися: герой речення може, наприклад, стати "суворою, але в душі доброю людиною" із "затишного Купчино", що "мертвецько спить" у "плацкартному вагоні, просоченому запахом тютюну". Таке багаторівневе розкриття смислів можна продовжувати до нескінченності. Це і є рекурсія. Так ось, у мові пірахан рекурсії, на переконання Еверетта, немає. А отже, універсальна граMATика все-таки не універсальна, не прошита в людській нервовій системі, а є продуктом культури і засвоюється під час навчання, як і значення слів4, 5.



Революція і контрреволюція

Згодні з Евереттом далеко не всі. Дослідник піраханської говірки замахнувся на головну зірку лінгвістичної науки XX ст.: Ноама Хомського. (Я сподіваюся, що і англomовний професор Чомскі, і народ пірахан пробачать мені русифікацію їхніх імен і перетворення на "Хомського" і "піраханців"). Хомський ввів поняття універсальної граматики і присвятив свою наукову діяльність виведенню основоположних, непорушних законів людської мови, особливо зосередившись на використанні рекурсії в синтаксисіб.

1960-ті рр. у лінгвістиці іноді називають "хомськіанською революцією". Хомський змінив не тільки наукове розуміння мови, а й у принципі підхід до цього питання. Якщо на початку століття лінгвістика була загалом доволі описовою дисципліною, представники якої в коркових шоломах мандрували до екзотичних місць і писали книжки про свої враження, то молодий і блискучий красень Хомський у стильних рогових окулярах привніс у лінгвістику скрупульозну точність та інтелектуальні глибини майже математичного аналізу. Замість опису племен Нової Гвінеї роботи Хомського заповнені кресленнями, абрeвіатурами і такою кількістю непролазного лексикону, що сторонній людині взагалі важко зрозуміти, це про Канта чи про фотони в космосі. Коркові шоломи швидко вийшли з моди.

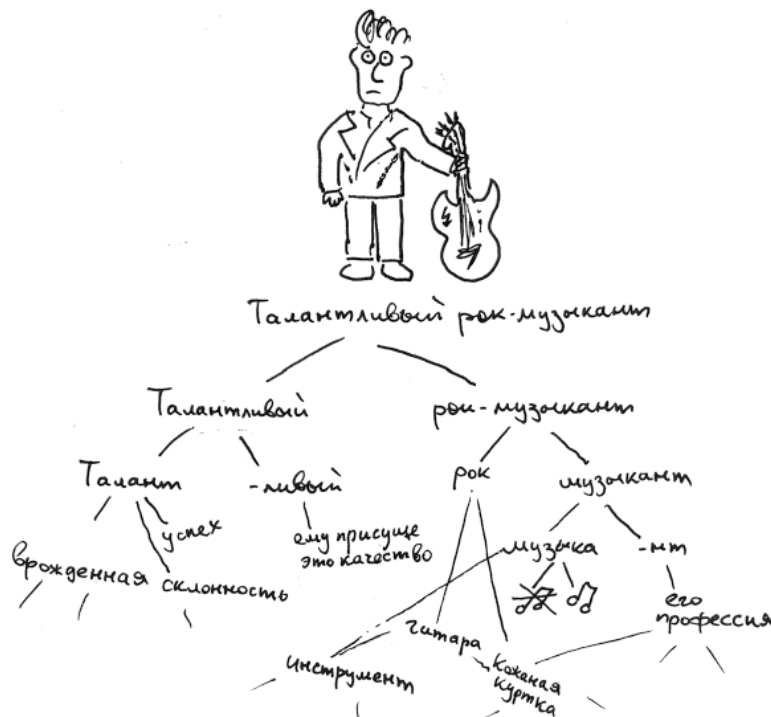


Якщо раніше лінгвісти вивчали здебільшого значення слів і як ці слова складаються зі звуків, то Хомський змістив пріоритети зі слів на речення. Слова, на думку Хомського, - це всього лише будівельний матеріал для мови, її складові частини, завжди обмежені в кількості. Сама ж мова - це нескінченні ієрархії смислів, які конструюються людським розумом із цієї обмеженої кількості слів. І якщо слова людина засвоює ззовні, то власне мова, тобто те, що вона з цими словами робить, - щось, закладене в неї від природи. Мова, наполягає Хомський, - це насамперед мисленневий процес, унікальний для людського мозку, і лише по-друге - "екстерналізація" цього процесу, тобто

його прорив за межі мозку у формі мовлення. Хомський часто цитує прусського філолога XVIII-XIX ст. Вільгельма фон Гумбольдта: мова "нескінченно використовує кінцевий набір засобів" 7.

Послідовники школи Хомського вважають здатність до рекурсії головною властивістю людського мозку, що відрізняє його від інших тварин. Це вона дає нам змогу створювати в себе в розумі такі багаторівневі конструкції, як "глобальне потепління", "атомна бомба" або, припустімо, "талановитий рок-музикант". Щоб зрозуміти, що таке талановитий рок-музикант, треба зрозуміти ідею таланту, тобто вродженої схильності до успіху, а також ідею музиканта як людини, яка професійно продукує музику, та рок-музиканта як гітарно-шкіряної (але необов'язково) підкатегорії цієї професії. Уже це досить складно. Але щоб зрозуміти, що таке вроджена схильність до успіху, треба зрозуміти значення вродженості, тобто зумовленості під час розвитку, ідею схильності, тобто статистичної вірогідності, та ідею успіху - об'єктивного лідерства в суспільно прийнятій категорії. Щоб зрозуміти, що таке професійно виробляти музику, треба зрозуміти, що таке професія і що таке музика, ну і так далі. Згідно з Хомським, таке рекурсивне мислення - вкладання смислів один в інший - і є мова. Вона закладена в нас від початку, а під час навчання просто набуває фізичної форми слів і речень.

Один з аргументів Хомського полягає в тому, що з нуля мову вивчити неможливо. Дійсно, якщо уявити, що діти взагалі нічого не знають про структуру мови, то та швидкість, з якою вони засвоюють надскладну систему лексики і синтаксису, просто не піддається поясненню. Традиційно вважалося, що діти навчаються, як кішки в експериментах фізіологів: їх хвалять за правильно сказане слово, вони кажуть його дедалі правильніше і правильніше. Хомський резонно зауважив, що насправді дітям майже ніколи не пояснюють, як треба говорити, а як не треба. Вони самі наче за помахом чарівної палички засвоюють усі найтонші нюанси лексики та граматики рідної мови. Інформація, яку діти отримують ззовні, - це потворно непередбачуваний потік звуків, не розбитий навіть на слова (у побутовій мові слова, як на папері, не розділяються). Із цього потоку діти за кілька років, і майже без зворотного зв'язку, не тільки вбирають смисли тисяч окремих слів, а й вчаться будувати з них свої власні багаторівневі смисли.



Отже, роблять висновок Хомський і лінгвісти хомськянці, у дітей уже є щось на кшталт "лінгвістичного органа", мозкового модуля, закладеного в них генетично й налаштованого антенами на мовленнєві потоки навколо. Із цього модуля і походять усі універсальні властивості мови, такі як рекурсія. Але тут з'являється Еверетт зі своїми піраханцями, які нібито спростовують рекурсію.



Протиборство цих Давида і Голіафа лінгвістики, Деніела Еверетта і Ноама Хомського, в кінцевому підсумку зводиться до природи людської унікальності. Навіть Дарвін розглядав мову серед найважливіших відмінностей людей від інших тварин. Але традиційно мову вважали продуктом людського розуму, чиєю величчю пояснювали унікальність людини. Хомський же фактично заявив, що мова - не просто продукт розуму, а і є власне розум. Відмінність людини від тварин не в абстрактній "розумності", а в наявності "лінгвістичного органу", що дає змогу створювати з комбінацій обмеженої кількості компонентів нескінченну кількість смислів. Якщо ж має рацію Еверетт і здатність до синтаксичної рекурсії все-таки не належить до вроджених властивостей людського мозку, то ставиться під сумнів уся ідея лінгвістичного органу. Можливо, особливого органу не існує, а є просто чергова звичка, засвоєна з досвідом, і унікальність людини має пояснюватися чимось іншим.

Уо, дельфін

Ми впритул підійшли до відповіді на центральне питання цієї книжки: хто ми такі? Що виділяє нас, людей, з решти природи, якщо дивитися на нас збоку? Сьогодні "людський розум" уже не викликає такої підлесливості, як у вчених XIX ст. Ми добре розуміємо, що будь-які види розуму, навіть розум хробака або равлика, а тим паче ворони або шимпанзе, є такими складними, що когнітивні здібності людини виокремлюються кількісно, але аж ніяк не якісно.

Інша річ - мова.

Інші тварини, та й узагалі інші живі істоти, користуються різноманітними "мовами" для передавання одна одній інформації. Дерева обмінюються хімічними сигналами про атаки грибка-паразита⁸, раки впізнають одне одного за коктейлем феромонів⁹, птахи співають одне одному пісні, а значна частка населення Світового океану випромінює якесь світло - чи то для принадування пари, чи то для відлякування хижака^{10, 11}. Більшість подібних сигналів відрізняються від людської мови тим, що вони передають украй обмежений спектр ідей. Медузи випромінюють світло, але не транслюють миготінням цього світла зведення медузятих новин. Навіть спів птахів, незважаючи на складну структуру і необхідність тривалих тренувань, не виблискує смисловим наповненням і зводиться зазвичай до одного й того самого: "Обери мене".

Є серед тварин приклади спілкування на більш просунутому рівні. Дельфіни, наприклад, придумують собі унікальні свисти імена. Зазвичай вони роблять це шляхом копіювання чужого свисту з невеликою видозміною. Придумавши собі нове ім'я, вони свистять його на кожному розі, як репери на початку пісні. Інші дельфіни це запам'ятовують і далі не тільки асоціюють юного дельфіна з його фірмовим свистом, а й можуть за нагоди зімітувати такий самий свист як звернення¹².

Пісні китів, родичів дельфінів, і своєю сексуальною спрямованістю, і навіть звучанням багато в чому нагадують пісні птахів, тільки уповільнені в 15 разів. Як і птахи, кити не народжуються з умінням співати, а вчать пісень у оточуючих. Але у птахів зазвичай батьки вчать синів, тоді як кити наслідують усіх навколо і засвоюють особливості "місцевих пісень". У результаті в межах одного й того самого виду можуть формуватися "пісенні діалекти", що змінюються й еволюціонують із кожним поколінням, фактично знаходячи власне існування на кшталт людської культури^{13, 14}.

Серед приматів мавпи верветки, наприклад, користуються різними звуками, щоб попереджати оточуючих про хижаків: змії чи орлів. Від цього залежить, як на таку небезпеку реагувати. На відміну від пташиних чи китових пісень, ці звуки мають вроджену природу: новонароджені мавпи мають схильність їх виробляти мимовільно. Але як і дельфіни, верветки використовують різні слова з різним значенням¹⁵.

З відомих мені балакунів тваринного царства найближче до людини підібрався карликовий шимпанзе, або бонобо, на ім'я Канзі, один із підопічних приматологині Сью Севедж Рамбо. Здібності Канзі було відкрито фактично випадково: він вештався поблизу, поки вчені намагалися навчити мови його прийомну матір, Матату. Тій так і не вдалося досягти успіху в осягненні мови, що складається з комбінацій картинок, або лексиграми, на спеціальній клавіатурі (оскільки мавпи не мають людського мовленнєвого апарату, така форма мови краще підходить під їхню

фізіологію). Канзі ж, якого ніхто спеціально не навчав, засвоїв мову мимовільно і досяг успіху в цьому більше, ніж будь-хто інший¹⁶.

Взагалі навчити мавп мови лексиграм коштувало великих зусиль. Бонобо худо бідно навчалися, але повільно і зі скрипом. Наприклад, їх доводилося не тільки навчати правильних комбінацій клавіш, а й відчувати від неправильних, чого практично не відбувається, коли діти навчаються рідної мови в природному середовищі. Це нагадує скоріше те, як вчать іноземні мови дорослі люди. Мабуть, саме юність Канзі дала йому змогу вхопити систему складання смислів із лексиграм¹⁷. Надалі він навчився розуміти не лише лексиграми, а й слова: рекомендую заґуглити "ape makes a fire" і подивитися, як Канзі, слідуєчи словесним вказівкам Сью Севедж Рамбо, дістає в неї з кишені запальничку, збирає гілки й розпалює багаття.

ДО РЕЧІ

Ще одна форма мови, якої можна навчити деяких особливо обдарованих приматів - це мова жестів¹⁸. Деякі шимпанзе запам'ятовують до кількох сотень жестів людської мови для глухонімих і можуть скласти з них прості речення. Відомі навіть випадки, коли одна мавпа вчиться жестів в іншій. Шимпанзе на ім'я Уошо, яку з 1960-х рр. навчали американської мови жестів фахівці з університету Невади, знала 350 слів. У 1980 р. до неї підселили прийомного дитинча - десятимісячного Лулі. За кілька років Лулі перейняв у Вошо 55 слів і залюбки складав із них речення на кшталт "Скоріше, іди лоскотати" або "Дай мені той шланг", маючи на увазі водяний шланг, з яким шимпанзе любили бавитися¹⁹. В університеті Теннессі, як повідомляється, мешкав орангутан, який настільки набив руку в мові жестів, що одного разу попросив покататися на машині, взяв із собою гроші, зароблені прибиранням кімнати, і пояснив водієві, як доїхати до місцевої крамнички з морозивом²⁰.

Унікальність людини вхопити за хвіст непросто. Слова з різними значеннями є в дельфінів і верветок. Вчиться складних комбінацій сигналів можуть і птахи, а в китів навіть є культурні тенденції. Приклад Канзі показує, що, якщо здібного примата в потрібний момент помістити в доступне для нього мовне середовище, він у принципі здатний засвоювати мову, близьку до людської. І все ж таки в природі цього не відбувається: мавпи в джунглях не навчають інших мавп складних послідовностей умовних знаків, з яких можна скласти нові смисли. Таке відбувається тільки серед людей.

Народження граматики

1977 року в Нікарагуа відкрилася перша велика школа-інтернат для глухонімих дітей. Аж до цього моменту більшість глухонімих у цій країні не мали регулярних контактів один з одним, у їхніх сім'ях і спільнотах усі інші зазвичай чули і розмовляли. У результаті глухоніми в Нікарагуа не навчалися мови жестів, і залишалися взагалі без мовних навичок. З рідними вони спілкувалися примітивними системами знаків, зазвичай ними ж і винайденими²¹. Але починаючи з кінця 1970-х рр. спочатку кілька десятків, а потім і сотні дітей, від дошкільнят до шестикласників, стали з'їжджатися з усієї країни в новий інтернат.

Спочатку викладачі намагалися навчити дітей читання іспанської по губах. Це виявилось непосильним завданням. Глухонімі від народження людині, в принципі не знайомі зі звуковою мовою, дуже складно засвоїти її в такій нетрадиційній формі. Навчання йшло важко. Тим часом найпростіші жести, які у всіх дітей спочатку були власного винаходу, стали швидко змінюватися жестама загальноприйнятими. З усіх численних, персональних протомов мимов мимоволі вироблялося щось єдине. Поки вчителі ламали голову над тим, як навчити глухонімих дітей іспанської, ті в буквальному сенсі знайшли спільну мову. Через кілька років вона потрапила в поле зору здивованих лінгвістів і увійшла в історію під назвою нікарагуанської мови жестів²²⁻²⁴.

Поступово жестів ставало дедалі більше, а їхні значення розширювалися. Нові учні, які вступали до школи, від самого початку засвоювали дедалі складніші версії мови, що розвивалася. З'явилися жести, що позначають предмети, і жести, що позначають дії, - іменники і дієслова. З'явилися речення, складені з кількох слів і навіть з кількох рівнів сенсу. З'явилися абстрактні категорії, як-от час, і граматичні форми, як-от доконаний або недоконаний вид. Буквально за кілька років примітивна система тикання і наслідування, винайдена першими учнями інтернату, розвинулася в повноцінну мову. Сьогодні це рідна мова для тисяч нікарагуанців різного віку.

У світі є сотні мов жестів, і з лінгвістичного погляду вони цілком рівноправні з мовами звуковими. Унікальність нікарагуанської мови не в цьому. Глухонімі нікарагуанці виявилися учасниками найбільшого лінгвістичного експерименту в історії. Дано: діти, які не вміють говорити, але не через розумову відсталість, а тому що їх просто ніхто не навчив. Експеримент: узяти цих цілком повноцінних дітей, але таких, що не вміють говорити, висмикнути з лінгвістичної ізоляції і сконцентрувати в одній точці. Такого просто не буває у звичайних ситуаціях. Якби в лінгвістів були етичні стандарти, як у нацистів, і бюджети, як у нафтовиків, то можна було б, напевно, наробити скільки завгодно нікарагуанських мов, як жестів, так і звуків. Але для цього довелося б відбирати дітей від матері й кілька

років із ними не розмовляти, а потім давати спілкуватися тільки з такими ж нещасними піддослідними. Серед нікарагуанських же глухонімих це сталося, якщо можна так висловитися про соціальні явища, природним чином.

У мовах жестів фізичний простір перед мовцем часто має граматичне значення. Наприклад, рух руки в певному напрямку може виражати щось подібне до префіксів чи суфіксів у звукових мовах, видозмінювати дію або позначати об'єкт чи суб'єкт. Тобто жест належить до чогось уявного, щодо чого між носіями мови існує домовленість. Але примітивні знаки, якими користуються не навчені мови глухонімі, мають не граматичний, а прямий сенс. У них простір використовується не як засіб вираження думки, а просто як простір. Вказівний жест безпосередньо взаємодіє з навколишнім середовищем і тому не потребує знання домовленостей.

Одним з аспектів еволюції нікарагуанської мови якраз і стала поява граматично значущих модуляцій жестів у просторі²⁴. В одному експерименті психологи показували колишнім учням різних років прості відеоролики зі спрямованою дією: наприклад, жінка, яка сидить за столом обличчям до камери, передає чоловікові склянку води. Чоловік сидить праворуч від жінки відносно неї самої і, відповідно, ліворуч від жінки з точки зору спостерігача. Випробовуваних просили жестама описати побачене. Роблячи це, всі вони рухали рукою в якийсь бік, але психологів цікавило, в який саме. Деякі випробовувані в описаній ситуації рухали рукою вліво, деякі вправо, а деякі - коли як.

Припустимо, рука рухається вліво. Це означає, що випробовуваний описує якусь дію - в даному випадку передачу склянки води - як таку, що відбувається справа наліво. Але справа наліво дія на екрані відбувається, якщо на неї дивитися з погляду випробовуваного, а не з погляду героїв сюжету. Саме так висловлювали зміст відеоролика всі випробовувані, які вступили до школи з 1977 до 1983 р.: у них або взагалі не було переваги в напрямі жестикуляції, або вони вказували жестом у той бік екрана, куди рухалося щось у відеоролику.

Але молодші випускники, які вступали до школи в 1985 р. і пізніше, в описаному випадку всі як один рухали рукою вправо. Серед цієї групи випробовуваних спрямованість жесту набуває іншого сенсу, ніж просто тикання в екран. Рухаючи рукою в напрямку, протилежному руху на екрані, вони немовби ставлять себе в становище жінки, яка передає склянку. Це вже не просто дзеркальна імітація, а граматична конструкція, що позначає, хто в реченні діюча сторона (той, хто говорить), а хто, відповідно, сторона, що приймає.



Далі вчені поставили зворотний експеримент. Вони записали різні варіанти жестів описів на відео і попросили учнів різних років їх "перекласти", зазначивши на бланку фотографію з відповідною ситуацією. Виявилось, що учасники, які вступали до школи починаючи з 1985 р., всі як один інтерпретували жести виключно в "перевернутому" сенсі (тобто ставили того, хто говорить, у становище активної дійової особи). Усі, хто вступив до 1983 р., стверджували, що ті самі послідовності жестів (припустимо, "жінка - дати - склянка - чоловік") можна розуміти як в одному, так і в іншому напрямі (тобто, в нашому випадку, "жінка дає склянку чоловікові" або "чоловік дає склянку жінці"). Простіше кажучи, старші учасники допускали подвійність перекладу "спрямованих" конструкцій, а молодь вимагала чіткості. Коли психологи прямо запитали одного з молодих учасників, чи можна зрозуміти цей жест навпаки, він закотив очі і пояснив, що навпаки потрібно показувати ось так - і зробив знову таки "перевернутий" жест. Виходить, що молодший випускник школи, який намагається щось пояснити старшому випускникові за допомогою напрямку жесту, у половині випадків буде ним не зрозумілий. Мова еволюціонує.

Походження мов

Як пам'ятає читач з обговорення теорії Дарвіна на початку книжки, еволюція відбувається внаслідок сукупності мінливості, спадковості та відбору. Якщо йдеться про мінливість, спадковість і добір генів, то еволюціонують біологічні види. Але самі по собі ці три поняття зовсім необов'язково мають застосовуватися до ДНК або фізичних ознак організмів. Сила дарвінівської теорії в тому, що вона працює в будь-якій системі, де є успадковані (тобто такі, що регулярно відтворюються), але мінливі ознаки, що піддаються відбору. У цьому випадку мінливість - це різноманітність жестів, присутня в мовленні кожної дитини. Спадковість - це імітація цих жестів іншими дітьми. Відбір - це популярність одних жестів на тлі інших. Як серед різних генів різні варіанти мають різні шанси на

виживання, так і серед усіх можливих жестів мови, що розвивається, одні імітуються більше, а інші менше. Поступова зміна мови, що відбувається в результаті, - типовий приклад дарвінівської еволюції. Тільки це еволюція не генетична, а культурна²⁵.

У випадку з генами добір, керманіч еволюції, працює на ті з них, які кодують максимально ефективно тіло, тобто створюють умови для власного відтворення перед лицем неминучої смерті. У випадку нікарагуанської мови теж працює відбір, тільки не відбір на виживання генів, а відбір на виживання жестів. Індивідуальні жести змінюються загальноприйнятими, тому що такі жести краще передають сенс у великому колективі і, відповідно, охочіше імітуються. Конкретні жести змінюються абстрактними, якими можна з меншими зусиллями передати більше сенсу. Жести, якими ніхто не користується, виходять з ужитку і забуваються. Можна сказати, що в культурному сенсі добір працює на ідеї, які створюють умови для власного відтворення перед обличчям неминучого забуття. Ідеї створюють такі умови, дедалі більше й більше підлаштовуючись під запити людського мозку - у даному випадку, його потяг до спілкування, категоризації та узагальнення.

У попередніх розділах ми побачили, звідки беруться такі запити. Спілкування, тобто соціальний контакт, - це одна з головних еволюційних стратегій ссавців, особливо приматів. У людський мозок на генетичному, вродженому рівні вписано дофамінове підживлення соціальних взаємодій. Що стосується тяги до категоризації та узагальнення, то це наслідки самої структури мозку, і зокрема кори. Навіть окремо взятий нейрон займається тим, що узагальнює інформацію. Кора ж займається тим, що узагальнює інформацію багаторазово, причому одні узагальнення конкурують з іншими, внаслідок чого й виникають категорії - дискретні, фіксовані характеристики безперервної та плинної реальності.

Ці властивості нервової системи, системи винагороди та кори, своєю чергою, пояснюються генетичною еволюцією, тиском обставин на певних стадіях історії царства тварин. Потяг до спілкування закладений у нас принаймні з того моменту, коли наші предки примати стали збиватися в групи, вийшовши з під покрову ночі, де ще більш давні пращури ховалися від динозаврів. Нейрон як узагальнювач інформації зародився з виникненням синапсів у давніх, докембрійських пращурів сучасних тварин - тим потрібно було інтегрувати інформацію з різних частин величезного багатоклітинного агрегату, щоб цілеспрямовано рухатися в бік їжі. Кора як узагальнювач, пояснювач і категоризатор з'явилася в предків ссавців, можливо, знову ж таки внаслідок нічного життя під гнітом динозаврів: виникнення одразу кількох альтернатив зору (нюх, дотик, слух) та необхідність планування безпечних маршрутів могли бути поштовхом до розвитку універсального органа, що розуміє.

Загалом, генетична еволюція створює умови для культурної. Саме генами задано основні напрямки руху культурних ідей, наприклад, підвищення ефективності комунікації. Гени ж тримають цей рух у певних рамках - жест, який фізично надто складний для виконання, не приживеться. Але в генах неможливо записати власне нікарагуанську мову. Це надто складна система, щоб закодувати її послідовністю нуклеотидів. Нікарагуанська мова жестів міститься в конфігурації мозку кількох тисяч нікарагуанців і ніяк не відображена в їхніх генах. На основі ДНК теоретично можна було б передбачити, що, одного разу виникнувши, примітивна мова жестів поступово стане більш досконалою. Але який саме вигляд матимуть жести, у генах не записано.

Звичайна, генетична еволюція - це поступове підвищення пристосованості видів до їхнього середовища. Культурна еволюція - це теж поступове підвищення пристосованості. Тільки замість генів, що копіюють себе з організму в організм, у культурі копіюються ідеї - з мозку в мозок. Тому еволюцію мов, а загалом і культур, можна розуміти як поступове підвищення їхньої пристосованості до людського мозку.

Першим таку пряму аналогію між генетичною та культурною еволюцією провів британський біолог Річард Докінз. Він запропонував спеціальний термін - "мем", що означає "те, що відтворюється" під час культурного обміну, на кшталт гена, який відтворюється під час копіювання ДНК. За Докінзом, еволюцію генів і мемів можна розглядати як два незалежні процеси, що підкоряються одним і тим самим логічним законам дарвінізму²⁶.

Звичайно, мем - поняття набагато складніше, ніж ген. Ген простий, як азбука Морзе. Він записаний чотирма літерами в лінійному носії. (Щоправда, межі поняття "ген" різні люди розуміють по-різному - про це ми ще поговоримо в епілозі.) Мем же укладений у багатовимірній конфігурації мозку й описує не порядок літер у ДНК, а тонкощі взаємовідносин між іншими багатовимірними конфігураціями, відносними нейронними станами, синаптичними вагами і патернами активності. Мем майже неможливо вхопити, прочитати, накреслити на папері. І тим не менше що те, що міститься в мозкових конфігураціях людини, якими б складними й невловимими вони не були, відтворюється від мозку до мозку.

Усі ми говоримо мовами, яких не вигадували, одягаємося за модою, яку не обирали, і їздимо на машинах, яких не винаходили. Кожна з цих ідей - це мем, скопійований нами від інших людей. Зрозуміло, кожна людина сама вирішує, як одягатися. Як генетична спадковість завжди супроводжується мінливістю на рівні ознаки, так і імітація мемів не означає повної ідентичності. І все ж більшість людей в одязі залишає обличчя відкритим, а дітородні органи закритими, штани вдягають на ноги, а шапку на голову, і не навпаки. Чинovníки приходять на нараду в краватках, а не в полотняних мішках. Щось відтворюється. Це щось, ізольоване від інших аспектів конфігурації мозку (випадкових або генетично зумовлених), і є мем: одиниця інформації, яка безперервною лінією передається

з мозку в мозок. Набуваючи, таким чином, властивість відтворення, тобто спадковості, мем, як і ген, потрапляє під юрисдикцію теорії Дарвіна, а отже, в якомусь сенсі стає живим.

Унікальність людини в живій природі полягає в тому, що вона - продукт не однієї, а двох еволюцій: давньої, генетичної, і нової, культурної. Еволюція генів дала людині мозок. Але саме еволюція мемів наповнила цей мозок людськими ідеями.

Як поріжеш - так зрозумієш

Якщо Деніел Еверетт, фахівець з народу пірахан, претендує на спростування "універсального граматики" Ноама Хомського, то сам Хомський претендує на спростування інших дослідників малих народів: Едварда Сепіра і Бенджаміна Лі Ворфа. Хомський вважає, що мова - це мислення, яке вирвалося назовні. Сепір і Ворф же в 1930-ті рр. стверджували протилежне: на їхню думку, мислення - це засвоєна ззовні мова.

Ворф, інженер протипожежних систем і захоплений лінгвіст-любитель, у співпраці з антропологом Едвардом Сепіром висунув так званий принцип лінгвістичної відносності, в якому він вбачав пряму паралель із теорією відносності Ейнштейна. Згідно з гіпотезою Сепіра - Ворфа, мова - не просто засіб вираження думок, а спосіб інтерпретації реальності, домовленість про систему категорій, прийнятих у даному суспільстві. Як у теорії відносності Ейнштейна час і простір виявляються плинними, залежними від положення і швидкості спостерігача, так і в Сепіра з Ворфом сенс навколишнього світу потрапляє в залежність від того, якими словами його описувати.

Ворф прийшов до свого "принципу", вивчаючи мови народів Центральної Америки і дійшов висновку, що носії різних мов по-різному думають про одні й ті самі предмети і явища. Вони засвоюють своє мислення разом із мовою зі свого культурного оточення. Наприклад, в англійській (так само як у російській) дії класифікуються за часом: минуле, теперішнє і майбутнє. Ворф стверджував, що в мові індіанців хопі немає часів - натомість дії нібито класифікують за тим, чи є вони фактами ("він біжить" або "він біг" - одне й те саме слово), очікуваннями ("він побіжить") або законами ("він бігає" - тобто, наприклад, регулярно ходить до спортзалу). Навпаки, замість єдиного поняття "вода", як у європейських мовах, у хопі два різних слова: одне для води, що трапляється в природі, а інше для води в ємності.

"Ми розрізаємо природу по лініях, прокреслених своєю рідною мовою, - пише Ворф. - Категорії і типи, які ми ізолюємо зі світу феноменів, ми виявляємо там не тому, що вони впадають в око будь-якому спостерігачеві; навпаки, світ постає у вигляді калейдоскопа вражень, які повинні бути організовані нашим розумом - тобто здебільшого лінгвістичною системою нашого розуму. Ми нарізаємо природу, зорганізовуємо її в концепції, і привласнюємо ті чи інші значення насамперед тому, що ми є учасниками домовленості про таку організацію - домовленості, чинної в межах нашої мовленнєвої спільноти та закодованої в патернах нашої мови" 27.

З приходом Хомського в 1960-ті рр. Сепір і Ворф вийшли з моди разом із корковими шоломами, і наукова думка сконцентрувалася на вродженості лінгвістичних здібностей. Відтоді критики зазнали не лише висновки Ворфа, а й самі його дослідження: наприклад, вищеописана відсутність часів у мові хопі була спростована у 1980-ті рр. 28 Але сьогодні схожі ідеї воскресають у лабораторних умовах новими поколіннями психологів і лінгвістів, яких іноді називають неоуорфіанцями. Вони з новою силою доводять, що мова визначає мислення.

Стенфордська професорка білоруського походження Лера Бородіцкі відома, наприклад, своїми дослідженнями австралійських аборигенів із невеликої спільноти Помпурау 29, 30. У тих у мові відсутні відносні напрямки (ліворуч, праворуч, уперед, назад). Натомість вони завжди використовують напрямки абсолютні (схід, захід, північ, південь). Помпураець, наприклад, скаже "Посунути чашку на південний захід" замість "Посунути чашку ліворуч", а традиційне привітання складається із запитання "Куди йдеш?" і відповіді з точним географічним напрямком на кшталт "Далеко на південь південний захід". Як неважко здогадатися, цей народ феноменально орієнтується в просторі. Помпурайця можна водити заплутаними коридорами офісної будівлі, довго крутити в різні боки, а він все одно пам'ятатиме, де північ, а де південь.



В експерименті помпурайцям (а також контрольній групі американців) давали кілька фотографій чоловіків різного віку, від немовляти до старого, і просили розкласти на столі перед собою в правильному порядку. Американці, звісно, розкладали фотографії зліва направо, а ось помпурайці чинили інакше: вони клали немовля зі східного боку, а старого із західного, незалежно від орієнтації стільця, на якому вони сиділи. Мабуть, для помпурайця схід означає "початок" так само, як для американця - лівий бік. В останньому випадку це може бути пов'язано з напрямком письма. Справді, у схожих експериментах носії іврити, яким пишуть справа наліво, вважають за краще відповідним чином розкласти фотографії. У випадку ж аборигенів східно-західна течія часу, ймовірно, пов'язана зі сходом сонця. Час - абстрактне поняття, яке не можна помацати або побачити. Те, як ми його розуміємо, визначається мовою.

Мова може змінювати сприйняття і більш наочними способами. У російській мові синій і блакитний - це різні кольори, а в англійській - один і той самий, "blue". Ще один експеримент Бородіцкі показує, що росіяни, порівняно з контрольними американцями, краще розрізняють відтінки синього³¹. Це само по собі цікаво, але ще не доводить, що мова безпосередньо впливає на розпізнавання кольору, можливо, річ в особливій увазі російської культури до блакитного, що проявляється як у візуальній чуйності, так і в додатковому слові. Щоб перевірити активну участь мови у сприйнятті, російським поціновувачам відтінків одночасно з головним завданням, яке тестує колірні здібності, давали відволікаюче уявне завдання на кшталт "повторюйте в голові числа від одного до п'яти" або "крутіть у пам'яті трикутник". Так от, коли відволікаюче завдання було геометричним, росіяни продовжували чудово відрізняти блакитний від синього, а коли завдання було лінгвістичним, ця надздібність раптово зникла і чутливість до відтінків синього зрівнювалася з американцями з контрольної групи. Отже, саме мова дає змогу росіянам бачити два кольори там, де інші бачать один.

Неоуорфіанськими можна вважати й ідеї Деніела Еверетта. Як пояснювалося вище, він стверджує, що "універсальна граматики" Хомського насправді засвоюється ззовні, що добре відповідає "принципу лінгвістичної відносності" Ворфа.

Пірахан, щасливі діти Амазонки з пташиною мовою, в принципі є чудовим прикладом того, як мова впливає на мислення. Наприклад, у них відсутні слова, що позначають числа. Є два слова, що означають "мало" або "багато", але "два", наприклад, у різних ситуаціях може бути мало або багато. Слова можуть супроводжуватися жестами з різною кількістю пальців, але ці кількості теж не фіксовані: один палець може означати "два", два - "п'ять", а п'ять - "три". Якщо їм показати десять горіхів і попросити викласти на столі стільки ж батарейок, вони впритул не можуть відтворити точне число³². Піраханців просто не хвилюють точні числа. На запитання, скільки в них дітей, вони скажуть "багато", але не зможуть назвати або показати пальцями точну кількість.

Чим, інакше як незвичайною мовою, пояснити настільки карикатурну математичну відсталість? Можна було б припустити, що піраханці відрізняються особливостями гормонального фону або розвитком мозку, але вільні статеві стосунки означають, що піраханці обмінюються генами з оточуючими племенами і тому біологічно навряд чи можуть серйозно відрізнитися від решти людства. Якщо піраханську дитину з раннього дитинства помістити в середовище типової бразильської сім'ї, можна не сумніватися, що з неї виросте типова бразильська людина з типовими бразильськими здібностями до арифметики. У піраханців усе гаразд із мозком - у них просто відсутній математичний модуль мови, а разом з тим і математичний модуль мислення. Числа - це когнітивна технологія, і піраханці цієї технології не мають, як не мають технології книгодрукування або тваринництва³³.

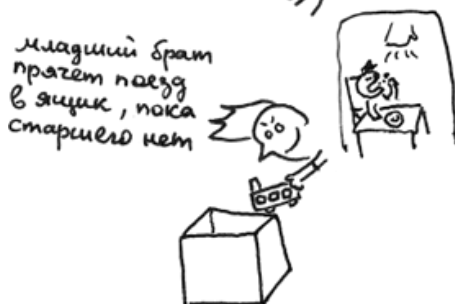
Про що думає старший брат

І все ж таки найкраще вплив мови на мислення ілюструють нікарагуанці з інтернату для глухонімих. На їхньому унікальному прикладі блискуче простежується те, як еволюція мови веде до еволюції мислення^{23, 24}.

В одному з досліджень випускникам різних років (тобто тим, що володіють або "ранньою", або "пізньою", більш розвиненою мовою) показували один і той самий сюжет, викладаючи перед ними послідовність карток з малюнками коміксами. На малюнках два брати: товстий старший і кволий молодший. Старший брат забирає в молодшого іграшковий паровоз і кладе під ліжку, а потім іде в іншу кімнату (там він їсть). У цей час молодший брат зі злісною посмішкою дістає паровоз із під ліжка і перекладає його в шухляду з іншого боку кімнати, а сам тікає. Тут, наївшись, повертається старший брат і задумливо встає посеред кімнати з іграшковими рейками в руках.

Питання до випускника: куди піде шукати паровоз старший брат? Піддослідним пропонували два варіанти розв'язки: товстун лізе під ліжку, куди він поклав паровоз (це, зрозуміло, правильна відповідь), або ж прямує до ящика з іншого боку кімнати. В експерименті 2001 р. старші з випробовуваних, які вступили до школи для глухонімих між 1977 і 1984 р., відповідали правильно тільки в 10 % випадків. Молодша група випускників давала правильну відповідь у 90 % випадків²³.

Автори цієї роботи, Дженні Паєрс і Енн Сенгас, вважають, що річ у мові, якою користуються випробовувані для опису подій - як у мовленні, так і у власних думках. Вчені показували нікарагуанцям відеоролики на кшталт сюжету з братами, де люди хочуть зробити щось одне, але припускаються помилки, бо не знають якихось умов. Випробовуваних просили пояснити, що сталося, і заміряли, скільки разів ті використовують слова, що стосуються бажань (наприклад, "вона хоче взяти ключі"), і слова, що стосуються думок ("вона думає, що вони в шухляді"). Дві групи випускників різного віку користувалися однаковою кількістю "бажаних" слів, але "розумових" слів серед молодшої групи було майже в сім разів більше.



Цікаво, що під час повторного експерименту через два роки старша група почала користуватися "мисленневими" словами набагато частіше. Автори вважають, що вся справа в товаристві глухонімих, яке за минулий період стали відвідувати члени групи і де вони спілкувалися з молодшими товаришами, переймаючи від них мовні звички. У тому ж повторному експерименті істотно підвищилася частка правильних відповідей і в завданні з братами та паровозом, так що між старшими і молодшими групами вже не було великої різниці.

Мабуть, десь у другій половині 1980-х рр. у нікарагуанській мові жестів виникло слово "думати". Половина випускників зі старшої групи взагалі жодного разу не користувалися жодними "мисленневими" словами. Перебіг їхніх думок під час аналізу ситуації з братами і паровозом можна зрозуміти: старший брат піде до ящика, він же хоче знайти паровоз. Молодші ж випускники, які володіють "розумовою мовою", пояснювали свою версію подій інакше: старший брат полізе під ліжку, він же думає, що паровоз під ліжком.

Це, мабуть, найближче до прямого доказу гіпотези Сепіра - Ворфа, що можна собі уявити. Кількох років, що розділяють дві групи випускників нікарагуанської школи, виявилось достатньо для культурної еволюції нового слова і водночас із тим - нової ідеї, що розширює можливості мислення.

Суспільний фрактал

Виходить, мова - щось на кшталт операційної системи. Вона встановлюється в мозок як програмне забезпечення і дає змогу ним краще керувати. Ми думаємо словами, і від того, яких слів нас навчили, залежить те, як ми думаємо.

Але як тоді бути з Хомським, який начебто довів, що мова - це вроджений розумовий апарат? Що робити з його аргументами про те, що мову неможливо було б вивчити з нуля, якби не закладений у мозок від природи лінгвістичний модуль? Невже Голіаф лінгвістики справді переможений Давидом - Деніелом Евереттом, який виявив мову без рекурсії та спростував тим самим будь-яку "універсальність"?

Оскільки сам я далекий від лінгвістики, у полеміці з Голіафом Хомським мої доводи - це так, комар пискнув (або, як висловлювався один мій приятель у третьому класі, "жук пукнув"). Але мені, жуку, здається, що жодного протиріччя тут немає. Просто Хомський вважає свою рекурсію в синтаксисі (багаторівневість речень) чимось принципово унікальним саме для речень. Насправді ж така рекурсія є не що інше, як організуючий принцип кори великих півкуль, вищого відділу нашого мозку: ієрархія абстракції, характерна і для зору, і для слуху, і взагалі для всього, чим кора займається.

У розділі 10 ми побачили, що кора - це машина абстракції, яка витягує з хаотичного сенсорного світу ("калейдоскопа вражень", як його блискуче описав Ворф) патерни, патерни патернів, патерни патернів патернів і так далі, рівень за рівнем. Що це, якщо не рекурсія? Усі ці патерни прагнуть самоорганізуватися в єдину систему, за якої всі вищі за рівнем патерни синхронізовані з нижчими. Що це, якщо не сформульована пропозиція? Креслення Хомського, що демонструють ієрархічну структуру мови, прекрасно лягають на ієрархічну схему кори.

Людина, як і будь-який ссавець, проводить дитинство, вивчаючи закономірності довкілля і відкладаючи їх у структурі власного мозку. Її кора впізнає в сигналах сітківки обриси, предмети і категорії, розділяє частоти повітря, що коливається, на звуки, групує звуки в комбінації звуків, асоціює ці комбінації з тактильними відчуттями або наборами запахів. У результаті в голові в людини формується багаторівнева модель реальності, в якій кожен її аспект складається з комбінацій інших аспектів і сам входить до складу інших комбінацій. Висловлюючись математично, наш розумовий простір - це фрактал.

Мова - це теж фрактал, як на неї не поглянь. Зі структурного погляду будь-яка форма мови складається з більших елементів, які розкладаються на більш дрібні, ті розкладаються на ще більш дрібні і так далі, аж до частот звуку, форми букв або базових жестів. У семантичному, смисловому аспекті мова теж має фрактальні властивості. Абзаци - це зазвичай закінчені думки, які розкладаються на більш дрібні думки, виражені в реченнях. Речення складаються зі слів - ще дрібніших одиниць смислу. Це тільки верхівка айсберга, тому що слова - це не просто асоціації звуків із предметами, а смислові "вузли", що з'єднують у собі найскладніші патерни думок. Слова визначаються не через реальні предмети, а через інші слова. Найпростіше слово "дім", наприклад, стосується і дерев'яних хатинок, і залізобетонних хмарочосів, і абстрактної території, обраної як початок координат.

Якщо розглядати рекурсію Хомського як окремих випадок фрактальності, то немає нічого суперечливого в мові пірахан: просто в їхній мові менше рівнів. Проте рівні ці вочевидь є: згадайте, наприклад, конструкцію "пібойї со", що складається зі слова "пібойї" ("йде дощ") і суфікса "со" ("не зараз", тобто або в минулому, або в майбутньому). Хіба це не та ж сама фрактальність смислу, за якої одиниці вищого порядку формуються з комбінацій одиниць меншого порядку?

ДО РЕЧІ

"Фрактальність", тобто багаторівневість мови, добре видно на пацієнтах з афазією Брока, спричиненою пошкодженням відповідної ділянки кори - зони Брока. Деякі пацієнти розуміють, що їм кажуть, але не можуть нічого сказати, окрім одного двох складів: у них не працює складання слів зі звуків³⁴. Інші нормально вимовляють окремі слова, але вимовляють їх "списком", зовсім як народ пірахан: замість "У мене боліли коліна, і тому я сховався до лікаря", вони кажуть "Коліна, біль, ходити, лікар"³⁵. У таких пацієнтів не працює складання речень зі слів. Це збирання потрібне як для продукування мови, так і для розуміння її сенсу. Ті самі пацієнти зазвичай розуміють сенс речень на кшталт "Яблуко, яке їсть дівчинка, зелене", тому що їх можна вловити на основі смислів окремих слів: дівчатка не бувають зеленими, і яблука їх не їдять, тож у списку слів "яблуко, їсти, дівчинка, зелений" немає неоднозначності. Речення на кшталт "Хлопчик, який біг за дівчинкою, високий" пацієнти з ушкодженнями зони Брока не розуміють, бо для цього його треба "розібрати" на рівні та зрозуміти, що слова "біг" і "високий" належать до хлопчика, а не до дівчинки³⁶. Загалом, одна й та сама ділянка кори відповідає за одну й ту саму операцію збирання / розбирання, застосовувану однаково на різних рівнях мовної структури: слова зі складів, речення зі слів.

Хомський абсолютно правий: у представників виду *Homo sapiens* є вроджена здатність до мов. Але ця здатність - просто особлива форма загальної здатності мозку ссавця засвоювати фрактальні властивості реальності. Як і в інших випадках, засвоєні таким чином елементи довкілля надалі виступають елементами мислення, тож від того, яких фракталів людина навчилася, залежить і глибина, і спрямованість її думок. Мову можна розглядати як загальноприйнятий уявний фрактал. Із соціального погляду російська, англійська чи нікарагуанська мови - це домовленості про певну схему дроблення світу на багаторівневі категорії. А це майже пряма цитата з Бенджаміна

Лі Ворфа. Тож мають рацію і прихильники "лінгвістичної відносності": попри вродженість мовних здібностей, мовне середовище напряму визначає те, як ми думаємо.

Суперечку хомскіанства і ворфіанства можна перефразувати і в еволюційних термінах. Яка здатність першою розвинулася в людських предків: здатність лінгвістично мислити чи здатність говорити? Хомський вважає мову наслідком рекурсивного мислення, тоді як уорфіанці вважають, що мова як метод спілкування первинна, а людське мислення на ній засноване. Але і це, на мій погляд комара (або жука), помилкова дихотомія.

Можна сказати, що в людини є особлива здатність засвоювати фрактал під назвою "мова". Але можна сказати і навпаки: що у фрактала під назвою "мова" є властива йому здатність запам'ятовуватися людиною. Мову можна розглядати як симбіотичний вірус, що вклинився в нашу загальну здатність дробити світ на багаторівневі патерни. Вірус - тому що завдяки нам мова продовжує існувати протягом століть і навіть тисячоліть. Симбіотичний - тому що зараження цим вірусом приносить нам стільки користі, що сучасне людство майже цілком складається із заражених особин. Ми живемо в симбіозі з мовою.

Хто з'явився першим: фрактал чи здатність його засвоювати? Це все одно що питати, хто з'явився першим: квіти чи запилювачі. Можна, звісно, знайти певну стадію еволюції рослин, за якої протоквітка формально перетворюється на квітку, або стадію еволюції комах, за якої вони достатньо часу порпаються в пилку, щоб вважатися запилювачами. Але головне в еволюції квітів і комах не те, хто з них першим зробив крок до спільного життя, а те, що, одного разу зустрівшись, вони кинулися назустріч один одному з обопільною еволюційною пристрасстю. Рослини розвинули ароматні запахи, солодкий нектар і кольорові пелюстки, комахи - крила, хоботки і чудовий зір. Жоден з них не пристосований під іншого - обидва пристосовані один під одного. Точно так само і мова з людським мозком - результат не просто еволюції, а коеволюції¹⁷.

Мова - це мем. Вона зародилася, згідно з більшістю антропологів, приблизно 200 000 років тому серед сигналів, які наші предки використовували для спілкування, коли ці сигнали почали передавати від людини до людини, і в такий спосіб вони перетворювалися з випадкових на загальноприйняті. Це підвищило їхню ефективність з погляду людей, а з погляду мови закріпило її в культурі як щось поновлюване, тобто меметичне. Одного разу виникнувши, меми мови зрослися з генами людини. Мозок став змінюватися, щоб краще засвоювати мову, а мова стала ускладнюватися, щоб краще вбудовуватися в завдання мозку. Як комахи і квіткові, люди і мови кинулися назустріч одна одній.

Результатом став вибухоподібний розвиток інтелектуальних можливостей в окремо взятій групі приматів, і водночас - тотальне проникнення мовного вірусу в людське населення. Ми відтворюємо мову в об'ємах, які не снилися ні птахам з їхніми піснями, ні дельфінам з їхніми свистами.

Усе це до крайності нагадує послідовність подій, що сталися з глухоними дітьми в Нікарагуа, які вигадали власну мову. Тим і прекрасна їхня історія - це ніби історія людства в мініатюрі.

Друге народження життя

На слово "життя" можна дивитися з двох точок зору. Перша - точка зору організму, особистості, покоління, соми. Це точка зору людини, яка говорить "я", позиція її нервової системи. Ми послідовно йшли до цієї точки зору з часів перших еукаріотів, які зробили ставку на прогрес у межах одного окремо взятого тіла. Друга - точка зору роду, гена, гермоплазми. Це погляд крізь покоління, що невидимою лінією з'єднує матерів із доньками, а прадідів із правнуками, точка зору, яка в принципі дає нам змогу казати "ми" про інших істот із минулого і майбутнього. Це точка зору наших статевих клітин, для яких решта тіла - допоміжний пристрій з доставки в наступне покоління.

"Я" життя - це життя матері, а "ми" життя - це життя інформації. "Я" життя триває, поки існує тіло, і закінчується, коли воно розпадається. У процесі ж "ми" життя виживають не тіла, а певні закономірності їхнього існування - ознаки, властивості, послідовності, конфігурації. Між дідом і онуком на матеріальному рівні немає нічого спільного, вони складаються з різних атомів. Спільне між ними - не матерія, а інформація, тобто конфігурація цієї матерії.

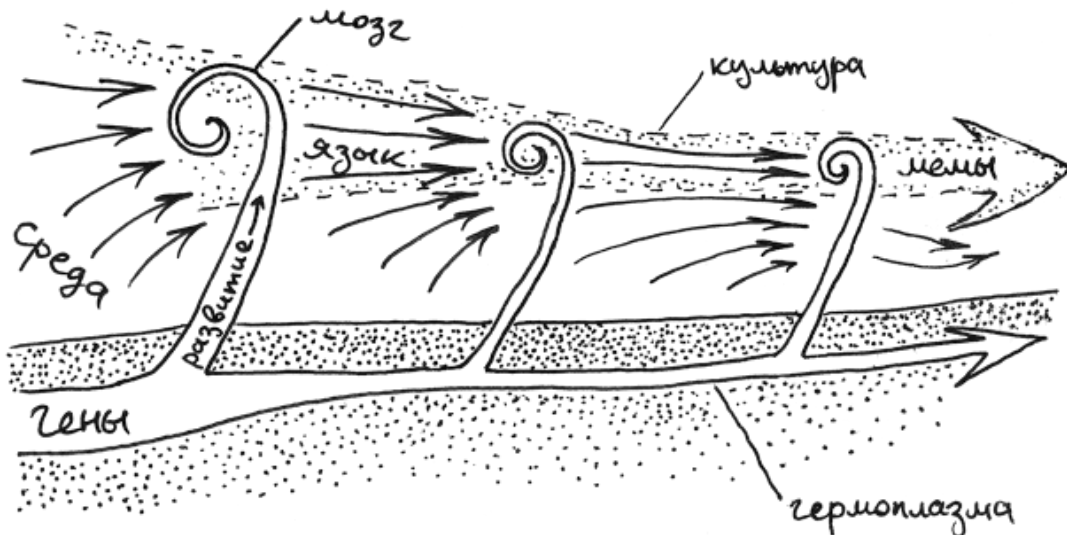
Конфігурація є у всього - у зірки, у каменя, у книги. Але здебільшого конфігурації швидкоплинні й безглузді. Вони знаходять сенс тільки тоді, коли матерія в певній конфігурації відтворює цю ж конфігурацію в іншій матерії. У цей момент конфігурація перетворюється на інструкцію. Інструкція - це інформація, яка вказує матерії, що їй робити.

Наприклад, конфігурація каменю - це не інструкція, тому що камінь через свою конфігурацію не кидається виточувати собі подібні камені. Тому ми й не вважаємо його живим. Конфігурація каменю може бути дуже довговічною, але рано чи пізно вона зникне без сліду, тоді як живі істоти, постійно зникаючи поодиночки, продовжують існувати колективно мільярди років. З погляду людського "я" життя камінь здається безсмертним, але з погляду "ми" життя людина до безсмертя набагато ближча.

Аж до недавнього часу в природі існував один тип інструкцій, які примушували матерію до власного відтворення: ген. Одного разу виникнувши серед випадкових конфігурацій нуклеотидів, ген ніби заразив собою матерію, бо його виробництво замкнулося в цикл: ген змушує матерію виробляти ген, який змушує матерію виробляти ген, що змушує матерію виробляти ген, і так далі. Інші конфігурації нуклеотидів з'являлися і зникали, але ген продовжував з'являтися знову і знову, розвиваючись і ускладнюючись, підпорядковуючи собі дедалі більше й

більше матерії, не розмикаючи замкнутого одного разу циклу власного відтворення і донині. Копіювання послідовностей нуклеотидів безперервною лінією пов'язує кожного з нас із моментом походження життя.

Але з появою людини матерія заразилася ще одним незалежним типом інформації, здатної до власного копіювання. Це інформація, яку ми передаємо одне одному словами. Вона не пов'язана безпосередньо з генетичною спадщиною "ми" життя, з інструкціями, що керують зміною поколінь через статеві клітини. Ми накопичуємо її в мозку протягом життя, засвоюючи закономірності та події власного досвіду. Так чинять усі тварини, але тільки серед людей ця накопичена досвідом інформація виривається за межі організму і знаходить власне життя, подібне до "ми" життя генів, але поточне з минулого в майбутнє окремим потоком.



Людська мова - це система символів, у яких можна виражати й передавати іншим людям будь-яку конфігурацію власного мозку. "Заразивши" мозок дитини мовою, ми даємо їй доступ до величезних масивів інформації, ніяк не відображеної в її генах, - до всього, що колись думали за своє життя інші люди. Ця інформація, як і будь-яка інша інформація, що проходить через наш мозок, закріплюється в ньому у вигляді матеріальної конфігурації - змін у стані нервових клітин та їхніх з'єднань. А ця конфігурація, своєю чергою, визначає здібності мозку, зокрема й здатність говорити, а отже - передавати інформацію, що зберігається в мозку, наступному носію. Так само як гени, осідлавши матерію, отримали доступ у вічність, так і мова, заразивши людський мозок, кинулася за межі її швидкоплинного "я" життя. З появою слів стан мозку перестав бути просто його конфігурацією, він став інструкцією для інших мізків. Якщо гени - це те, що насправді живе, то слова - це альтернативна форма життя.

Таке негенетичне "ми" життя, що ґрунтується на мові і підпорядковує собі мозок за мозком, і називається людською культурою.

Перше обличчя

Що ж таке людина? З точки зору нашого генетичного минулого ми раби власної статевої лінії, роботи, запрограмовані на харчування і розмноження. З погляду нашого меметичного сьогодення ми - стадія життєвого циклу культурних одиниць, раби дискурсу, який проникає в наш мозок у дитячому віці і закріплюється в ньому набором умовностей і категорій. Невже людина - це раб?

У кінцевому підсумку до цього питання зводяться будь-які роздуми про сенс людського життя. Чи є у людини свобода волі? Чи здатен цей раб гена і мема, тіла і культури, природи і соціуму створити щось нове, не рабське, а своє власне? Знаючи в найдрібніших деталях властивості генів і мемів, чи можна передбачити людську долю?

Мені здається, що питання неправильно поставлене. Свобода волі - це свобода робити те, що заманеться. Але що означає "робити те, що заманеться", якщо на секунду забути про людину? Будь-яка фізична система за визначенням робить те, що їй заманеться, тобто те, до чого вона прагне. Камінь прагне впасти на землю, бактерія прагне до джерела їжі, мавпа прагне полоскотати родичів. Питання про свободу волі не в тому, чи вільна людина у своїх діях. Усе у світі, в принципі, вільне у своїх діях. Питання про те, що таке "свої" дії. Запитуючи "чи вільна людська воля", ми насправді запитуємо, чи вільна ця воля для мене. Керую бажаннями свого організму я чи хтось інший: гени або меми, наприклад.



Але що таке "я"? Хто ця істота, яка дивиться з моїх очей? На мій погляд, "я" - це просто ідея про все, що ми з собою асоціюємо. Фрактал, складений з усіх наших відчуттів, емоцій і спогадів, з обличчя в дзеркалі, імені на папері та букв, з яких це ім'я складається. Рух цього фрактала синаптичними каналами мозку ми і сприймаємо як перше обличчя. Тобто він же, фрактал, сам себе і сприймає, ніби уроборос - змія, що кусає власний хвіст. Наш мозок - машина розуміння всього. "Я" - це незграбна спроба мозку зрозуміти, що він таке. Незграбна - тому що мозок дивиться в дзеркало, бачить 70-кілограмового примата і ніяк не може повірити, що "я" - це насправді багатовимірний фрактал інформації. Йому здається, що "я" - це все та ж допотопна машина генів, чия мета - розмножити свою статеву лінію.

Людина відрізняється від інших живих істот тим, що вміє говорити і думати словами. Завдяки цьому її здібності до розуміння реальності і самої себе безпрецедентні. Мова і є це розуміння, закладене в зчленуваннях між рівнями смислів. Мова дає змогу людині шукати відповіді на запитання, але найголовніше, що вона дає, - це усвідомлення, що запитання в принципі існують. Без мови ми просто не знаємо, що навколо є щось таке, про що варто замислитися. Як нікарагуанські діти не замислювалися про те, що старший брат із сюжету про паровоз може не знати, де захована іграшка, так і інші тварини не замислюються про металургію, сільське господарство чи теорію еволюції. Мова не просто пояснює наш світ - вона його створює. Точно так само мова створює ідею під назвою "я".

Вкладати "себе" у власні гени - справа ненадійна. Якби "я" полягало в унікальній послідовності ДНК, то всього за покоління від цієї унікальності залишалася б половина, за два покоління - чверть, за три - одна восьма, і за кількості років усі залишки особистості розчинялися б у генетичній річці людського виду. Але ось слова - слова живуть доти, доки їх хтось розуміє.

Епілог

"Sapiens. Коротка історія людства" Юваля Ноя Харарі починається з розділу під назвою "Нічим не примітна тварина". Ідея в тому, що до винаходу мови людина нічим не вирізнялася з-поміж типових представників біосфери, і тільки здатність говорити викликала в ній "когнітивну революцію", плодами якої стали сільське господарство, держава, наука та інші основи сучасної цивілізації¹.

Мою книжку можна вважати "фан-приквелом" до "Сапієнса": у Харарі дія відбувається від винаходу мови до наших днів, а в мене - від походження життя до винаходу мови. Якщо Харарі вважає, що до появи мови людина була нічим не примітна, то я думаю інакше. На мій погляд, якщо розглядати сьогоденний вид *Homo sapiens* як гілку дерева життя, то наша еволюційна траєкторія була "примітною" не 70 000 років, які виділили нам у книзі Харарі, а значно довше.

Моя улюблена точка відліку "примітності" людського родовету починається з еукаріогенезу. З виникненням еукаріотів ускладнення стало однією з головних світових стратегій еволюції. Поглинаючи інші живі істоти, еукаріоти отримали доступ до їхньої енергії (живлення фагоцитозом) і здібностей (мітохондрії та хлоропласти). Це дало їм змогу виробляти великі та складні організми, але водночас поставило в хворобливу залежність від власної громіздкості та від енергії, якої вічно бракує і яку постійно потрібно в когось забирати, що призводить до появи дедалі більших і складніших "забирачів". Зрештою саме до цього зводиться, наприклад, людська незадоволеність власним життям: наша система винагородить весь час штовхає нас на пошук нових ресурсів. Еволюцію еукаріотів можна порівняти з фінансовою пірамідою, якій постійно потрібні нові вливання, щоб продовжувати розвиватися. Ці перегони ускладнень у якийсь момент історії призвели до появи нового царства гіпереукаріотів - тварин.

Тварини - це теж досить примітна гілка в межах і без того примітних еукаріотів. Складаючи досить мізерний відсоток світової біомаси, тварини виділяються безпрецедентною складністю своєї багатоклітинної будови і активної, рухової поведінки. Усе це стало можливим завдяки кільком ключовим еукаріотичним винаходам. Серед них статеве розмноження - здатність еволюціонувати не перебором мутацій, а перемішуванням генів;

багатоклітинність - "орігами" із соматичних клітин; нервова система - орган синхронізації з навколишнім світом. Порівняно з рослинами, грибами, протистами тварини - кульмінація еукаріотичного стрибка в дорогу складність.

Але й у межах тваринного царства наш родовід виділяється. Ми, хребетні, особливі, бо ми величезні. Ми, амніоти, особливі, бо живемо на суходолі, підносячись над комахами як кістяні хмарочоси. Ми, ссавці, особливі, тому що пережили динозаврів і повернулися до колишнього розквіту після мільйонів років забуття, обзавівшись теплокровними тілами і неперевершеним мозком. Ми, примати, особливі, тому що змінили рідну ніч на небезпечний день і збилися в групи, захищаючи один одного від хижаків. Виникнення мови, людської свідомості та людської культури - не вибух у порожнечі, а логічне продовження цієї виняткової траєкторії розвитку.



Уся наша історія - втілення емерджентності, створення нового з комбінацій старого - еукаріотичної клітини з кількох прокариотичних, багатоклітинного організму з одноклітинних, суспільства з особистостей. Те саме можна сказати про наші мови і думки: сигнали фоторецепторів складаються в зображення, звуки складаються в слова, слова в речення, речення - в концепції, концепції - в погляди, погляди - в нас самих. Але еукаріоти, наприклад, не витіснили прокариотів з лиця планети, а продовжили існувати серед них як винятковий випадок. Рівні існування не замінюють один одного, а послідовно надбудовуються в єдину, нескінченну піраміду емерджентності. Тільки побачивши її цілком, можна належною мірою оцінити диво людського життя. Людина - це не тільки її гени, клітини, слова чи ідеї, не просто еволюція і не просто особистий досвід. Це все разом, усі рівні її організації, уся послідовність подій від походження життя і до поточного моменту, коли людина ставить собі питання про те, хто вона така. Це і є "бавовна однією долонею".

Сучасний науковий світ поділений на дисципліни таким чином, що в ньому майже не трапляються люди, одночасно обізнані з приматологією і фізичною хімією, з когнітивною нейробиологією та еволюційною ботанікою, з лінгвістикою і клітинною біологією. Типову книжку про людину пише антрополог або історик, залишаючи підручникам усе "природничо-наукове". Типову книжку про молекули і клітини пише біолог, залишаючи все "гуманітарне" на позакласне читання. Я зовсім не претендую на володіння всіма цими галузями знання. У більшості з них я просто захоплений любитель, і мої описи, скажімо, динозаврів або лінгвістики Хомського надзвичайно поверхневі. Але завданням цієї книжки було розповісти про людину не з одного погляду нейробиолога чи біохіміка, а з погляду природи, тобто з усіх точок зору одночасно.

Науковий опис світу ставить людину в центр за визначенням, як спостерігача. Наука - явище виключно людське, і тому вона не може не бути антропоцентричною. Але наука - це тільки метод вивчення реальності, а не власне реальність. Сама реальність не розглядає гуманітарне окремо від молекулярного, людське у відриві від нелюдського. Їй байдуже, як її дроблять на факультети і ріжуть на категорії. Мені хотілося розповісти історію людини не з погляду науки, а саме з погляду реальності, в якій між науковими дисциплінами немає кордонів, а сама людина - не центр Всесвіту, а дійова особа.

Як звучить "людина"?

У XVIII-XIX ст. ідеї гуманізму піднесли людину у власних очах до такої міри, що її торжество над природою здавалося незаперечним і очевидним. Технологічний ривок XX ст. закріпив це відчуття. Але до початку нинішнього XXI ст. ціною перемоги над природою стало усвідомлення того, що природа може дати здачі. Від антибіотиків виникають невиліковні інфекції. Від повороту річок висихають моря. Від спалювання нафти тануть льодовики. Від виснаження ґрунту закінчується їжа.

Сьогодні антропоцентризм уже не в моді. Малювати древо життя, в якому людина підноситься над "нижчими видами", серйозному вченому непристойно, а про поворот річок краще й не заїкатися. Якщо судити за моїми студентами, то і в їхніх колах набагато прийнятніша протилежна крайність. Людство - це не стільки цар природи, скільки хвороботворний вірус, що руйнує планету і вбиває білих ведмедів.

Усе це нагадує мені історичні взаємовідносини між західноєвропейською цивілізацією і корінними народами Америки, Африки та Австралії. Освічені діячі імперій, збудованих на кістках інків, бенгальців або конголезців, любили розмірковувати про власну перевагу. Різноманітні расові теорії, що обґрунтовують торжество білої людини над кольоровими народами, були нормою аж до Другої світової війни і досі володіють умами. Але з другої половини ХХ ст. культурний вектор змінився: манія величі змінилася на "white guilt", параноїдальне почуття провини, яке просочує стосунки білого англійця, німця або американця зі співгромадянами іншого кольору шкіри.

На мій погляд, ніхто не зробив для всієї західної психотерапії більше, ніж Джаред Даймонд, лауреат Пулітцерівської премії, з його книжкою "Рушниці, мікроби і сталь" 2, що неабиякою мірою вплинула і на мою власну. Книжка побудована як детальна відповідь на просте запитання, яке одного разу поставили Даймонду в Папуа - Новій Гвінеї, де той проводив дослідження спочатку птахів, а потім і самих новогвінейців. В острівних народів є слово "карго", яким вони позначають усе "добро", яке туди привозять білі, тобто все що завгодно, від сірників до літаків. "Чому ви, білі, - запитав Даймонда Ялі, чарівний місцевий політик, з яким вони прогулювалися берегом моря, - накопичили стільки карго і привезли його на Нову Гвінею, а в нас, чорних, свого карго було так мало?"

"Рушниці, мікроби і сталь" - блискуче дослідження історичної логіки, внаслідок якої, наприклад, європейці завоювали Америку, а не навпаки. Викласти всі скрупульозні викладки Даймонда у двох словах неможливо, але якщо коротко, то суть у хронології розвитку методів виробництва їжі (сільського господарства і тваринництва): що раніше на певній території виникає сільське господарство, то швидше там виникнуть інші технології, а також збільшиться щільність населення та підвищиться інтенсивність агресії і воєн. На території Євразії сільське господарство виникло раніше, поширювалося простіше, і його продукція була більш повноцінною в поживному сенсі. Це, своєю чергою, пояснюється такими факторами, як велика кількість придатних під одомашнення диких рослин і тварин, велика територія і протяжність континенту зі сходу на захід. Оскільки Євразія витягнута в східно-західному напрямку, в ній більші, ніж в Америці або Африці, зони з приблизно однаковим кліматом, за якими сільськогосподарські технології, що виникають, могли легко поширюватися між сусідніми народами.

Заслуга Джареда Даймонда, як на мене, полягає в тому, що він витягнув на світло питання, яке західна культура заштовхала в темні глибини підсвідомості: якщо всі люди однакові, то як так сталося, що в білих усе карго? Без належної відповіді на це запитання неможливо позбутися сверблячої ідеї про те, що все-таки чимось, чи то прихильність богів, чи то властивості мозку, білі люди мають відрізнятись. Тільки знайшовши об'єктивне обґрунтування очевидної винятковості західної цивілізації, можна позбутися цього затаєного расизму.

Мені б хотілося, щоб моя книга зробила щось схоже для взаємин людини з природою. Якщо ми не царі природи, то чому в нас усе карго? Чому тільки ми літаємо в космос і відкриваємо еволюцію, а решта тварин лежать у ставку і нічого не роблять? Без відповіді на це запитання нас завжди буде кидати в крайнощі: або видовий шовінізм, або видове самобичування. Тільки об'єктивно обґрунтувавши свою винятковість, зрозумівши її з боку, людина може жити в гармонії зі світом, який її породив.

У ХХІ ст. на людство чекає жорстке випробування: на наших очах і внаслідок наших дій клімат на планеті змінюється з величезною швидкістю. Вимирання людства поки що, на щастя, ніхто не обговорює, але катаклізми, що зачіпають мільярди людей із непередбачуваними соціальними та історичними наслідками, - практично неминучі. Для моїх студентів це привід для сорому, крах доброї волі під гнітом короткозорої жадібності корпорацій і політиків. Я їх розумію. Але, на мою думку, можна дивитися на це питання і з іншого боку. В історії клімат змінювався багато разів, а масові вимирання, зокрема і з вини живих організмів ("кисневий голокост"), відбувалися із завидною регулярністю. Єдина відмінність у нашому випадку - це те, що хтось хоча б трохи замислюється про майбутнє і намагається чомусь запобігти. Так, більшості людей складно побачити у своїх діях причину зміни чогось настільки глобального і невловимого, як клімат. Але до людини ніхто навіть не міг подумати про таке поняття, як "клімат". Так, люди схильні до жадібності й агресії. Але, якби мурахи володіли хоча б десятою часткою наших ресурсів, вони б перетворили всю планету на радіоактивну пустелю, не залишивши й каменя на камені.

Людина - це така сама тварина, як і вони. Але це тварина, якій не все одно. І цим, на мою думку, можна пишатися.

За Енгельса чи за Докінза?

Ця книжка - не тільки про людину, а й у принципі про природу живої матерії, і немає нічого, про що б ми з друзями-біологами сперечалися запекліше. Із цих баталій, до яких ми з насолодою повертаємося за будь-якої зручної нагоди, сформувалася філософська база для цієї книги. Зрозуміло, і сама книга в чорновому варіанті викликала між нами бурхливі суперечки.

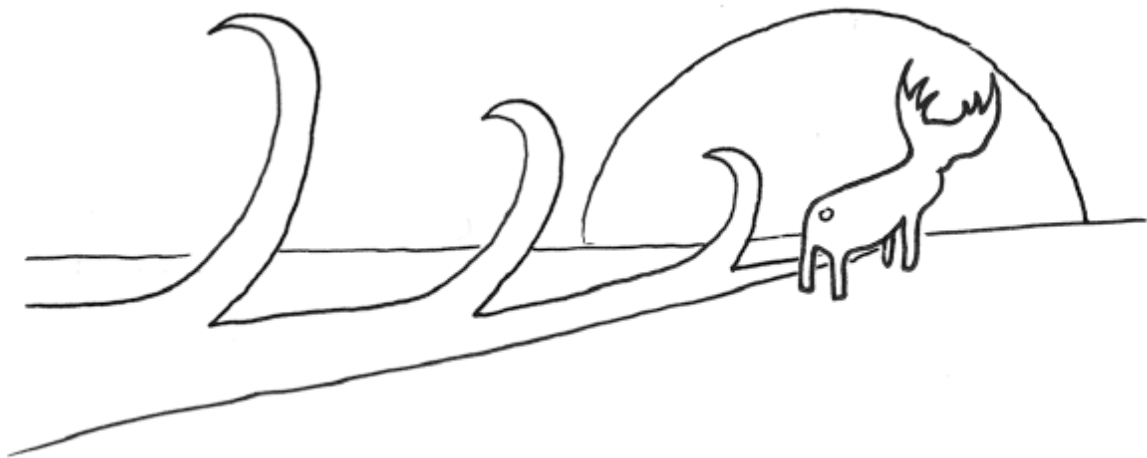
Мій друг, еволюційний біолог Йоха Колудар, звинуватив мене в "докінзівщині" і сипав гострими коментарями на полях щоразу, коли я згадував гени, мему або РНК, які самовідтворюються. Йоха - людина білків. Він вважає, що нуклеїнові кислоти - суто механічний засіб реалізації білкової волі і що життя від самого початку являло собою кооперативи білкових функцій (таке бачення життя, до речі, добре сумісне з тим, що пропонував Фрідріх Енгельс у своєму визначенні: "Життя - спосіб існування білкових тіл"). Ідею про те, що гени щось контролюють - білки, організми, - він вважає ідіотською і лає за неї Річарда Докінза страшними словами.

"Це все одно що Біблія контролює католицьку церкву", - дотепно допитувався на полях Йоха, докоряючи мене за "пояснювальний танець" і релігійне поклоніння нуклеїновим кислотам, і загалом був украй розчарований. "Організм - це тільки плодове тіло гена" - ось головна думка, з якою він не згоден. "Організм і є життя. Гени лише спосіб продовжувати це життя і покращувати його, - вважає він. - Як можна мертве креслення вважати основою всього живого і згинати логіку всієї біології, щоб виправдати цю божевільну ідею?"

З моєї точки зору, принциповим є поділ не стільки між геном і організмом, скільки між інформацією і матерією. Інформація - конфігурація матерії, яка не є при цьому самою матерією. Саме інформація виживає при зміні поколінь. Матерія ж постійно розпадається і збирається в різних комбінаціях.

"Мертве креслення" - це ДНК без білків. Але ген, як я його розумію, - це не ДНК, а інформація, яка копіюється. Для мене не так принципово, чи полягає вона в послідовності нуклеотидів, чи в епігенетичній розмітці хроматину (такі інформаційні одиниці інколи називають "епігенами"), чи в якійсь іншій конфігурації цитоплазми або багатоклітинного організму. Принципово те, що з покоління в покоління копіюється не всяка конфігурація батьківського організму, а тільки певні аспекти цієї конфігурації. Їх я і називаю генами. Мене можуть звинуватити в надмірно абстрактному розумінні цього слова, яке для більшості людей означає просто шматок нуклеїнової кислоти. Але я не знаю іншого, більш підходящого слова, що описує інформацію, яка копіюється, і при цьому вважаю, що ген як проста послідовність нуклеотидів - непогана модель для розуміння такої інформації, що відтворюється, в першому наближенні.

Я справді вважаю, що організм - це плодове тіло гена, що білки і цитоплазма підпорядковуються генам, соматичні клітини - статевій лінії, а робочі мурахи - цариці. Усе це для мене прояви центральності відтворення інформації в житті на Землі. Можливо, це і є "докінзовщина", але, наприклад, принцип поділу "смертної" соми і "безсмертної" гермоплазми багатоклітинного організму був запропонований ще Августом Вейсманом у 1892 р.З.



Що при цьому вважати "власне життям" - життя матерії чи життя інформації - питання термінологічне (від нього ж, до речі, залежить, вважати чи не вважати живими віруси). В останньому розділі я спробував розв'язати це питання, увівши поняття "я" життя і "ми" життя, перше з яких позначає існування організму і, зокрема, нашого "я", а друге - відтворення інформації. Я вважаю, що "ми" життя первинне, тому що вважаю РНК прародителькою життя. Йоха, білкова людина, вважає первинним "я" життя, а РНК вважає вискочкою, оспіваною лжепророками.

Страшно навіть обговорювати таке богохульство.

Подяки

Мені завжди приголомшливо щастило з учителями, і я вдячний усім і кожному, хто коли небудь чого небудь мене вчив. Але кількох людей мені б хотілося згадати окремо.

Першими хотілося б згадати моїх шкільних учителів із пітерського ліцею № 214 - Тетяну Вікторівну Селеннову і Тетяну Василівну Мартинову. Біологія у нас була на університетському рівні, і встигнути за Тетяною Вікторівною було спочатку дуже важко. Але її все одно всі обожнювали. Стильна, молода і гостра на язик, Тетяна Вікторівна була зовсім не схожа на звичайну шкільну вчительку, але читала лекції такої космічної для десятикласників складності, що ставилися до неї, як до сивочолого професора, з шанобливою підлесливістю. До ліцею біологія асоціювалася в

мене з чимось убогим і запорошеним, а Тетяна Вікторівна показала мені, що молекула крохмалю, наприклад, - це круто, а вірусна частинка - узагалі відпад. Тетяна Василівна, наш класний керівник і вчитель з російської та літератури, справила на мене не менший вплив. Обидві ТВ нерозривно пов'язані в моїй свідомості - союз біології з мовою і літературою мені завжди здавався природним.

По-справжньому мій світогляд сформував біолого-ґрунтовий факультет СПбДУ. Коли я там навчався, мене страшенно дратувало, що потрібно слухати п'ять різних ботанік та іншу еволюційну нісенітницю, до якої мені на той час не було жодного діла. Тільки через кілька років я зрозумів усі переваги такої відносно жорсткої системи освіти, за якої у студентів майже немає вибору, які предмети слухати. Завданням біофаку було не просто дати нам навички для роботи біологом за тією чи іншою спеціальністю, а сформувати в нас єдине, цілісне уявлення про природу, яке потім, надалі, було б застосоване в приватних, спеціалізованих випадках. Тобто спочатку потрібно дізнатися все, а потім уже можна знати мале. На Заході вчених готують не так: там на біологічному факультеті ніхто не намагається зробити з тебе натурфілософа, натомість набагато більше часу приділяється практичним аспектам професії біолога. Останній підхід ефективніший, але я все таки вдячний за перший.

Особливо хочу відзначити кілька викладачів. Усі вони справили на мене величезний вплив, і я досі пам'ятаю напам'ять шматки з їхніх лекцій. Генетик Олег Миколайович Тиходєєв заразив нас пристрастю до взаємин гена з мозком і до таємниць еволюційного минулого. Зоолог Андрій Ігорович Гранович - філософським підходом до найдрібніших деталей будови всіляких черв'яків, яких він із неприродною швидкістю креслив на дошці набором із доброго десятка різнокольорової крейди. Я і з двома крейдою ледве справляюся, коли пояснюю сортування хромосом у статевому розмноженні. Особливо вирізняла Грановича техніка кольорового заповнення фігур на дошці боковим рухом крейди - ми називали це "таб'анити". Ботаніків - Максима Павловича Баранова та Галину Михайлівну Борисовську - я назавжди запам'ятаю за їхні натхненні імітації рослинних органів ("Я - нирка"). Фізика Валентина Івановича Короткова інакше як великим професором мені не назвати. У своїх гучних декламаціях рівняння Шредінгера і шарадах про демона Максвелла він відкривав нам такі грані Всесвіту, які, напевно, відкривали своїй пастві тільки стародавні шамани. Те ж саме можна сказати про Наталю Володимирівну Чежину, яка викладала нам на першому курсі неорганічну хімію під темними склепіннями Великої хімічної аудиторії на Середньому проспекті. Професор ентомології Микита Юрійович Ключе навчав нас науки про комах на річці Свірі, де ми проходили літній студентський практикум і півтора місяця сиділи в лісі. Цей недовгий, але інтенсивний курс змінив мій погляд на природу під ногами, а сам Ключе з його елегантною бородою в теплому світлі бінокулярних мікроскопів запам'ятався мені як якийсь чарівний старець із Гогвортса. Не менший вплив на мене справила практика на Білому морі, де ми під керівництвом Дмитра Олексійовича Арістова витягали з морських глибин всіляких химерних тварин, а потім годинами витрищалися на них у мікроскопи і безуспішно намагалися намалювати. Від Георгія Георгійовича Вольського я вперше почув про аплізію, свій нинішній модельний об'єкт, а його лекції з біоенергетики сформували все моє уявлення про метаболізм. Професор імунології Олександр Віталійович Полевщиков читав лекції, ніби оратор, що волає до натовпу, з викликом і пристрастю, що межували з агресією: у його вустах запалення, викликане скалкою, перетворювалося на гостросюжетний бойовик. У професійному сенсі найцінніші знання мені дали лекції з клітинної біології Олексія Володимировича Баскакова, в яких молекули і навіть сайти фосфорилування оживали, як персонажі дивного мультфільму. Багато мультяшних персонажів цієї книжки, на кшталт оленя з підбитим оком, дебютували на полях конспектів з його лекцій. (Я знаю, що олень більше схожий на лося, але так уже склалася його еволюційна доля).

Не менш вдячний я і своїм англомовним учителям. Мій науковий керівник в Оксфорді, маленький, міцний, гордий англієць Террі Баттерс, нагадував чимось Вінстона Черчилля, чимось Вінні Пуха. Він навчив мене порядку і дисципліни наукової роботи, незважаючи на неймовірні кількості англійського елю, що випивається нашою лабораторією на щотижневій основі. І все таки головне, що Террі для мене зробив, полягає в тому, що в його лабораторії я познайомився з Кейті, своєю майбутньою дружиною. Фреду Голдбергу, моєму керівникові в Гарварді, я вдячний за інтелектуальну інтенсивність - ніде мені не доводилося так працювати головою, як у нього в лабораторії. Тому Карю, царю аплізій і моєму нинішньому начальнику в Нью-Йоркському університеті, я вдячний за свободу бути самим собою: ставити дивні запитання і рухатися туди, куди вони мене поведуть.

Одного разу, працюючи в Бостоні, я повернувся на батьківщину оновити американську візу і застряг там на два місяці. У перший же день цієї вимушеної відпустки я списався зі своєю старою подругою і колишньою однокурсницею, зіркою наукової журналістики Асею Казанцевою, з якою ми працювали над її книжкою "Хто б міг подумати" - я малював їй картинки. Я з давніх часів спорадично вів біологічний блог, і Ася запропонувала мені зайняти вільний час публікацією чогось науково популярного. Вона звела мене з Танею Коен, на той час головною редакторкою великого журналу "Метрополь" (у нинішній реінкарнації - "Ніж"). У результаті за наступні кілька років я написав сотні науково популярних статей - не тільки в "Метрополь" і "Ніж", а й у купу інших місць - від PIA "Новости" до "Афиши". Я вдячний усім, хто мене читав і публікував, але насамперед саме Асені й Тані, без яких я б і не подумав написати щось подібне до цієї книжки. Вони навчили мене писати так, щоб люди розуміли - а це, своєю чергою, навчило мене таким чином думати.

Я вдячний і решті своїх друзів, у бесідах і розмовах з якими формувалося моє уявлення про реальність. Я запозичив величезну кількість ідей у своїх найближчих друзів Йохі Колудара і Міші Костилюва, кожен з яких справив на мене вплив, що не піддається вимірюванню. Це з ними я спостерігав за пологами морської черепахи в Юкатані.

Багато тем у цій книжці було розроблено, випробувано і відточено в моїх лекціях на ліберальному факультеті Нью-Йоркського університету, де я читаю курс Life Science ("Біологічні науки"). Книжка і курс лекцій певний час існували в симбіотичних стосунках - ідеї мігрували в обидва боки, і в результаті і книжка, і курс стали багатшими матеріалом і сильнішими аргументацією. Я хочу подякувати своїм студентам, піддослідним у моїх далеко не завжди вдалим експериментах з пояснення всієї біології за один семестр.

Окреме спасибі всьому колективу видавництва "Альпіна нон фікшн", який працював над цією книгою. Перше, з чим стикається людина, що стала на шлях серйозної науки, - це емоційна м'ясорубка літератури, що рецензується: редакторам і рецензентам наукових журналів абсолютно байдуже, скільки зусиль витратив учений на подане до публікації дослідження. Порівняно з цим безжально знеособленим підходом до інтелектуальної праці, типовим для науки, працювати з колегами з "Альпіни нон фікшн", які дбайливо зважають кожне слово в цій книзі, було одне задоволення. Сергію Ястребову, моєму науковому редактору, додаткова подяка за безкомпромісну вдумливість і за те, що врятував мене від кількох відвертих ляпів.

Як чесний ссавець, усім добрим у своєму житті я завдячую насамперед своїй родині. Без неї я був би іншою людиною, а книжка була б зовсім іншою, а скоріше за все, її взагалі б не було. Дякую батькам за щасливе дитинство, а загалом, і дорослість. Я вдячний мамі за пристрасть до розуміння всього, що трапиться на очі, татові - за любов до мови і чистоти формулювання, бабусі - за хуліганські нахили, дружині - за почуття відповідальності перед майбутніми поколіннями. Ну і за те, що прощала мені нескінченні угроблені вихідні, скляні очі, сотні тисяч знаків незрозумілою їй мовою. Як чесний ссавець, усім добрим у своєму житті я завдячую насамперед своїй родині. Без неї я був би іншою людиною, а книжка була б зовсім іншою, а скоріше за все, її взагалі б не було. Дякую батькам за щасливе дитинство, а загалом, і дорослість. Я вдячний мамі за пристрасть до розуміння всього, що трапиться на очі, татові - за любов до мови і чистоти формулювання, бабусі - за хуліганські нахили, дружині - за почуття відповідальності перед майбутніми поколіннями. Ну і за те, що прощала мені нескінченні угроблені вихідні, скляні очі, сотні тисяч знаків незрозумілою їй мовою. Замість скандалів я чомусь завжди отримував їжу, а іноді й банку пива. Заради такого варто жити.

Нью Йорк, 2019