



# О ВКУСАХ

Человек умеет распознавать 5 вкусов<sup>1</sup>. В большинстве языков есть слова только для четырёх из них: сладкого, горького, кислого и солёного. Для пятого вкуса учёные взяли слово одного из немногих языков, в которых оно есть, – японского. Это мясной вкус, он называется *умами*. Один из вкусов – горький – неприятный; два – сладкий и умами – приятные; про два остальных – кислый и солёный – невозможно однозначно сказать, приятные они или нет. В этой статье мы не будем рассматривать солёный и кислый вкусы, потому что в их случае сигнал в клетку передается совсем другим способом.

Рецепторы горького вкуса должны быть высокочувствительными. Если в еде есть что-то неприятное, хорошо бы об этом знать, даже если этого неприятного вещества немного. Ещё они должны быть разнообразными: неприятные вещества не обязательно похожи, а человек должен чувствовать их все. У человека более 25 генов рецепторов горького вкуса.

А вот рецепторы приятных вкусов не должны быть высокочувствительными: мы должны чувствовать, что фрукт сладкий, а мясной бульон – вкусный, только когда питательных веществ достаточно, чтобы они представляли пищевой интерес.

Сделать рецептор низкой чувствительности – совсем непростая биохимическая задача. Чтобы мы почувствовали вкус, для начала рецептор должен «захватить» соответствующее вещество, которое называется *лигандом*. Это происходит с помощью разных связей: чем их больше и чем лучше подходят друг к другу молекула рецептора и лиганд, тем выше будет чувствитель-



Листок-ловушка венериной мухоловки. Обратите внимание на чувствительные волоски.

Фото: [wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Venus_fly_trap.jpg), Noah Elhardt

<sup>1</sup> См. по этому поводу статью В. Винниченко «Вкусовой код» в «Квантике» № 7 за 2015 год.

ность. Для «вкусных» рецепторов эти связи не должны быть слишком крепкими: чтобы не блокировать надолго рецептор, и чтобы он не реагировал на ничтожные количества «вкусного» вещества, не представляющие питательной ценности. Но этих связей должно хватить на то, чтобы в молекуле рецептора произошли достаточно большие перемещения и рецептор запустил бы дальнейшие внутриклеточные сигналы.

Рецепторы сладкого вкуса и умами построены по «принципу венериной мухоловки». Венерина мухоловка – это насекомоядное растение. У него есть специальные листья-ловушки. Когда муха садится внутрь ловушки, она не приклеивается. Но внутри ловушки есть чувствительные волоски, и если муха их заденет, лист захлопнется и муха, хотя и не приклеилась, окажется взаперти.

Немного похоже устроены и рецепторы сладкого вкуса и умами. В молекуле рецептора есть структура, похожая на листок-ловушку: она умеет схлопываться, когда внутри оказывается лиганд. Но этого мало: как мы говорили, лиганд связывается слабо. В данном случае хитрость в следующем: рядом с молекулой рецептора находится ещё одна молекула такого же типа. Когда ловушка захлопывается, оказывается, что ловушка из второй молекулы (она не связывается ни с каким лигандом) подходит к первой, как ключ к замку, и запирает её в захлопнутом состоянии.

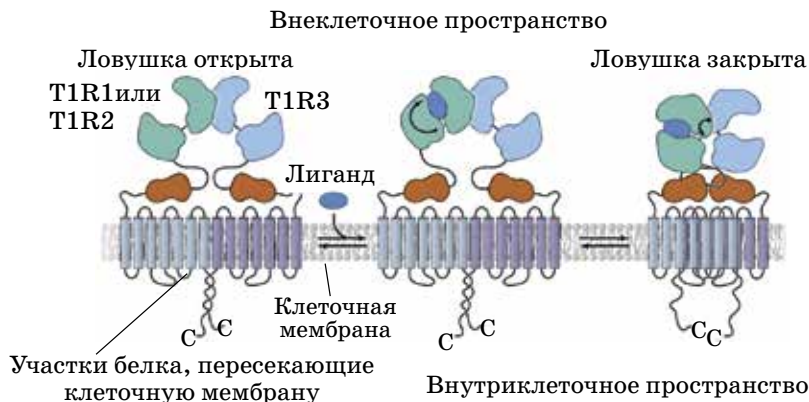


Схема взаимодействия рецепторов, построенных по «принципу венериной мухоловки». Каждая молекула рецептора пересекает клеточную мембрану семь раз. Участки, отвечающие за связывание лиганда, находятся во внеклеточном пространстве, а участки, отвечающие за передачу внутриклеточного сигнала, – внутри клетки. (Из статьи Meldrum B. S. и Rogawski M. A., 2007 год).



Вкусовые луковицы содержат три разных рецептора такого типа: T1R1, T1R2 и T1R3 (от английского T – taste (вкус), R – receptor (рецептор), то есть T1R1 – это вкусовой рецептор 1-го типа). Рецептор T1R3 не связывает никакого лиганда, но он может образовывать пары либо с T1R1, либо с T1R2 – это тот самый ключ, который запирает замок. Пара T1R2/T1R3 отвечает за взаимодействие с сахарами (и, тем самым, за сладкий вкус), пара T1R1/T1R3 – за взаимодействие с веществами со вкусом умами (например, с глутаматом). Можно обмануть рецептор: искусственно сделать вещество, которое будет связываться с рецептором в сотни раз сильнее, чем естественный сахар, но не будет дальше усваиваться организмом. Такие вещества: сахарин, сукралозу, стевию – широко используют в пищевой промышленности как заменители сахара.

Обратим внимание, что разные сахара связываются с рецептором по-разному. Чувствительность человека к сахарам из фруктов – фруктозе и сахарозе – в несколько раз больше, чем чувствительность к сахару из молока – лактозе. Это не связано с какими-либо их химическими особенностями, а просто рецепторы так устроены. В таком устройстве есть глубокий биологический смысл: для вида в целом лучше, чтобы детёныш предпочитал сладкие фрукты, а не материнское молоко. Тогда мать освободится для того, чтобы родить следующих детёнышей.

Набор вкусовых рецепторов не универсален. Например, у всех кошачьих на месте гена T1R2 находится псевдоген, то есть последовательность ДНК там есть, но она испорчена: белок получиться не может. Это значит, что все кошачьи чувствуют вкус умами, но нечувствительны к сладкому вкусу. А большая панда, которая питается исключительно бамбуком, утратила рецептор T1R1, отвечающий за вкус умами.



Панды, поедающие молодой бамбук.

Фото: [www.flickr.com](http://www.flickr.com), Chi King

Казалось бы, сладкие плоды и сладкий нектар – детище цветковых растений. Классы животных, появившиеся до появления покрытосеменных растений, не должны бы были встречаться ни с чем сладким. Поэтому мы бы могли ожидать, что рецептор сладкого вкуса появится у позвоночных не раньше, чем появились цветковые растения. А что происходит у тех, кто появился раньше: у амфибий или даже у рыб?

В последние годы учёные этим заинтересовались. В наше время легко проверить, что в ДНК костных рыб есть все три варианта рецепторов: T1R1, T1R2 и T1R3. В отличие от млекопитающих, каждого из этих рецепторов несколько вариантов: от двух до восьми. То есть набор рецепторов сладкого вкуса и умами у рыб не меньше, а больше, чем у млекопитающих.

Китайские учёные подробно изучали вкусовые рецепторы у рыбы под названием *белый амур*. Как проверить, что рыбы реагируют на сладкое? Их сажали в бассейн, откуда было три выхода: в один выход давали глюкозу, в другой – фруктозу, а в третий – ничего не давали, и считали, сколько рыб приплыло в какой выход. Рыбы действительно плыли на сладкое.

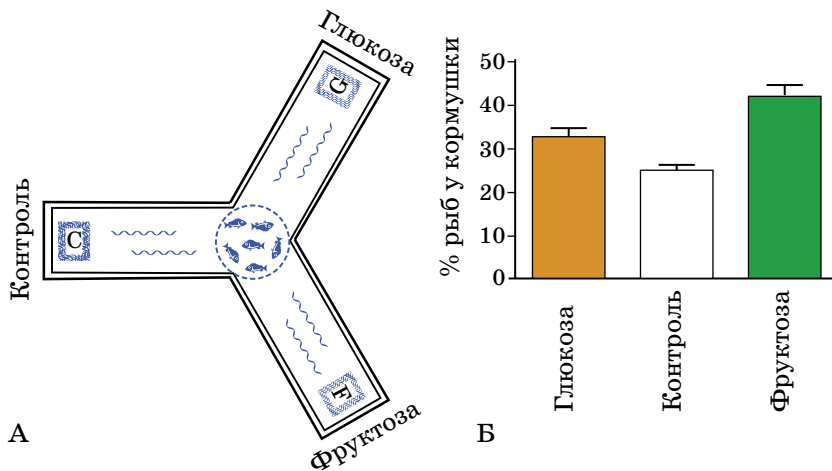
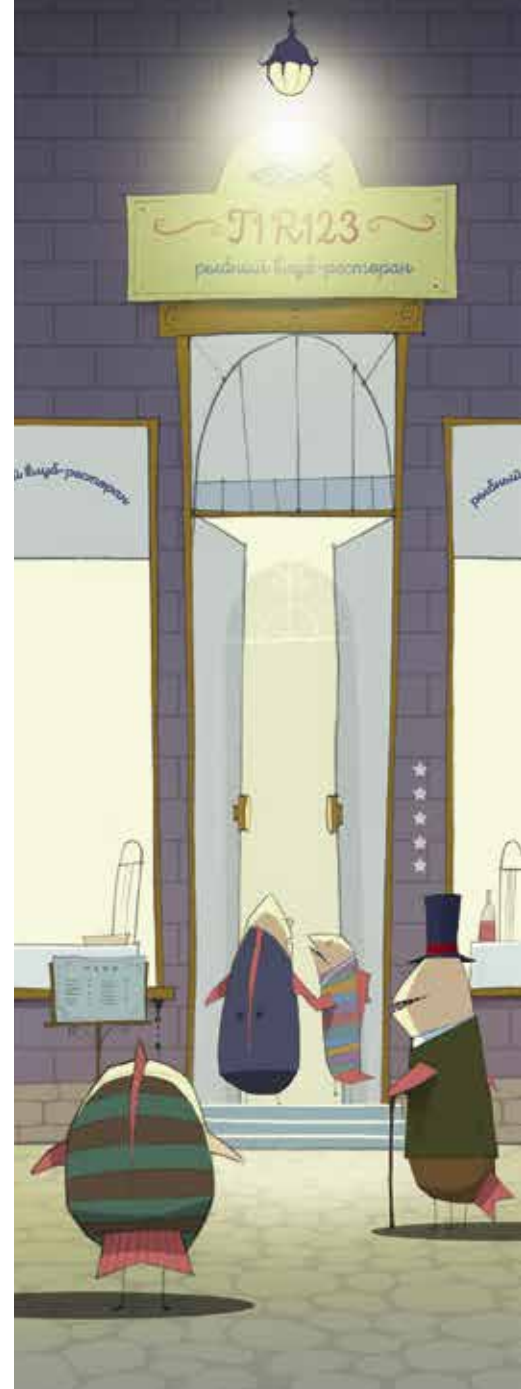


Рисунок из статьи Yuan X. C., Liang X. F., Cai W. J., He S., Guo W. J. и Mai K. S., 2020 год.

Где же они всё-таки находят сладкое в воде? Похоже, что частичный ответ можно получить, посмотрев на распределение вкусовых рецепторов по разным органам животного. Мы привыкли к тому, что вкусовые рецепторы связаны со ртом и с едой, но такая связь не обязательно очевидна. У насекомых вкусовые рецеп-





Художник Алексей Вайнер

торы (они совсем не похожи на рецепторы позвоночных) находятся на лапках, на антеннах, на яйцекладе, иногда даже на крыльях. У белого амура, помимо рта, вкусовые рецепторы находятся на жабрах, а некоторые – ещё и в кишечнике.

Современные знания о наборе генов многих животных позволяют искать новые гены вкусовых рецепторов типа T1R. Они достаточно похожи друг на друга, чтобы, увидев новую белковую молекулу, понять, что она принадлежит к этому семейству. В недавно вышедшей статье поискали такие гены у всех известных позвоночных. В общей сложности у позвоночных нашли 11 таких генов. Ни у кого нет полного комплекта из 11, но есть животные, у которых их 6 или 7. В некоторых случаях удалось найти, на какие вещества они реагируют. И часто это не те вещества, на которые реагируют наши рецепторы.

Иными словами, у нас есть два «вкусных» вкуса, а у акул или у древних лучепёрых рыб есть и ещё несколько. И, так же как у костистых рыб, вкусовые рецепторы есть не только во рту, но и в жабрах и в кишечнике. Поэтому они могут реагировать не только на свободные сахара, а на продукты переваривания более сложных сахаров, вроде крахмала, которые сами по себе не сладкие.

Древняя многопёровая рыба. У нее 6 рецепторов T1R.



Фото:

wikimedia.org, hirokiDX

Аксолотль – личинка саламандры, которая размножается, так и не доходя до взрослого состояния.<sup>2</sup> У аксолотля самые изысканные вкусы: у него 7 рецепторов T1R, больше, чем у всех известных позвоночных.



Фото:

wikimedia.org, th1098

<sup>2</sup>См. по этому поводу статью В. Винниченко «Почему мы никогда не повзрослеем» в «Квантике» № 4 за 2016 год.