

БИОНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ

УДК 612.86.001.57

В. Н. ОХОТСКАЯ

(Новосибирск)

ОБ ОДНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ ЗАПАХА

Предлагается использовать некоторую совокупность ответов моделей обонятельных рецепторов, имеющих специфическую чувствительность к различным запахам, в виде n -мерной характеристики для оценки качества запаха.

В процессе эволюции в живых организмах выработалось оптимальное приспособление для обнаружения и распознавания по запаху различных веществ. Однако многочисленные исследования, проводимые в течение длительного времени, не могли установить механизм восприятия и распознавания запахов, механизм воздействия пахучих веществ на обонятельный анализатор. Более того, мы еще далеки от понимания того, что такое запах, какие физические или химические свойства вещества определяют его запах, какие критерии могут быть использованы для измерения интенсивности запаха и его качественных характеристик.

Тем не менее задачи, возникающие в химической, пищевой, парфюмерной, горной и в ряде других отраслей промышленности, настоятельно требуют изучения природы запаха, механизмов восприятия и различения запахов живыми организмами для создания автоматических приборов и систем, не только измеряющих концентрации пахучих веществ, но и дающих возможность количественно определить качественные их признаки.

Поэтому попытка найти возможные пути объективной оценки качества запаха вызывает определенный интерес.

Ниже предлагается некоторое представление о запахе, которое может дать один из возможных методов оценки качества запаха вне зависимости от того, какова природа запаха и какие конкретные механизмы имеют место в обонятельном анализаторе.

Результаты электрофизиологических и психофизических экспериментов [1—6] позволяют предположить, что периферическая часть обонятельного анализатора содержит n типов рецепторов, отличающихся по чувствительности к различным запахам, обладающих определенной специфичностью для восприятия запахов*. Ощущение запаха, по-видимому, определяется сигналами отдельных типов рецепторов, представляющих n -мерную характеристику запаха в виде некоторой последовательности выходных сигналов рецепторов.

* Возможна некоторая аналогия со спектральной чувствительностью рецепторов сетчатки [7].

На основании упомянутых выше психофизических экспериментов покажем далее, что в действительности множество запахов в том виде, как оно нами воспринимается, удовлетворяет аксиомам линейного пространства [8]. Известно, что из двух запахов A_i и A_j , принадлежащих множеству запахов A , можно получить новый сложный запах $A_k = A_i + A_j$; $A_k \in A$. Например, из цветочного, мятного и эфирного запахов можно получить фруктовый запах; можно синтезировать запах и кедрового дерева (кедрового масла) из камфароподобного, мускусного, мятного и цветочного запахов [3].

Известно также, что для любого запаха существует возможность изменения его интенсивности в широких пределах без изменения его качества [9, 10], т. е. для $A_i \in A$ и некоторого вещественного числа a , определяющего интенсивность запаха $aA_i \in A$. При $a=0$ ($A_0=0A_i$) ощущение запаха отсутствует.

Ощущение запаха не зависит от порядка смешивания его компонент: $A_k = A_i + A_j = A_j + A_i$ и $A_k = (A_i + A_i) + A_j = A_i + (A_i + A_j)$.

Для некоторого запаха $A_x \in A$ можно найти другой дополнительный запах $A_y \in A$, чтобы $A_x + A_y = 0$. Такое явление носит название компенсации, или нейтрализации* запахов, когда при сочетании определенных концентраций двух веществ, обладающих в отдельности довольно сильными запахами, запах смеси не ощущается. Явление компенсации имеет место и тогда, когда пары пахучих веществ подаются параллельно в разные носовые отверстия. Тогда исключается возможность смешивания двух веществ и, следовательно, химической реакции между ними до достижения и в области обонятельного эпителия. Примерами веществ с такими нейтрализующимися запахами могут служить парафин и резина, воск и резина, скатол и кумарин, этилмеркаптан и эвкалиптовое масло [11].

Любой запах можно оценить количественно и качественно (пока в основном органолептическим методом), можно выяснить степень его сходства с другим запахом при равной (единичной) интенсивности этих запахов [6, 12].

Существует возможность увеличения интенсивности запаха от $a'A_i = A_k$ до $aa'A_i = A_i$; таким образом, к запахам можно применить и правило $a(a'A_i) = aa'A_i$ для любого $A_i \in A$ и коэффициентов интенсивности a и a' .

Все изложенное выше позволяет получить выражения $(a + a')A_i = aA_i + a'A_i$ и $a(A_i + A_j) = aA_i + aA_j$, определяющие применимость закона суперпозиции к запахам, и поэтому считать достаточно обоснованным постулирование n -мерного линейного пространства запахов.

Действительно, результаты экспериментальных исследований Маллинза, Манкрифа, Эймура и многих других ученых [1—6], результаты работ по синтезу запахов подтверждают наше предположение о существовании закона суперпозиции запахов.

Однако некоторые особенности в ощущении запахов вызывают справедливые сомнения в правомерности наших выводов о применимости этого закона к запахам. Так, иногда с изменением интенсивности запа-

* Следует упомянуть, что вопросы нейтрализации представляют практический интерес. Известно, например, что меркаптаны являются в большинстве случаев источниками неприятного запаха (в сточных промышленных водах, санузлах и т. д.) и имеют к тому же довольно низкие обонятельные пороги (запах меркаптана хорошо ощущается в разведении $0,5 \cdot 10^{-6}\%$). Поэтому компенсация запаха меркаптана с помощью кумарина (с запахом свежескошенного сена) или эвкалипта может найти промышленное применение [11].

ха (концентрации пахучего вещества) изменяется и качество запаха (например, концентрированный индол имеет отвратительный запах; в ряде случаев изменение качества вещества или смеси веществ происходит при добавлении небольших количеств определенного пахучего вещества [9, 10]).

Если учесть существование порогов чувствительности обонятельных рецепторов и допустить их отличие для различных запахов и их составляющих, то эти особенности, как будет показано ниже, не окажутся противоречащими основному положению об n -мерном линейном пространстве запахов.

Поэтому предполагается, что запах может быть, по-видимому, представлен некоторой последовательностью действительных чисел, определяющих точку в n -мерном пространстве запахов $A_i = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, где a_1, a_2, \dots, a_n — ответы отдельных типов обонятельных рецепторов или выходные сигналы датчиков, обладающих некоторой специфической чувствительностью к парам пахучих веществ. Орты n -мерного пространства запахов $e_1 = \{1, 0, 0, \dots, 0\}$, $e_2 = \{0, 1, 0, \dots, 0\}$, ..., $e_n = \{0, 0, 0, \dots, 1\}$ можно считать условными основными запахами* единичной интенсивности, селективно воспринимаемые отдельными типами рецепторов. Таким образом, запах представляется комбинацией n условных основных запахов, составляющих базис e_1, e_2, \dots, e_n с интенсивностью каждого из них a_1, a_2, \dots, a_n , где a_1, a_2, \dots, a_n — координаты точки, определяющей запах, в n -мерном пространстве в базисе e_1, e_2, \dots, e_n :

$$A_i = \begin{vmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{vmatrix} = a_1 \begin{vmatrix} 1 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{vmatrix} + a_2 \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \\ \dots \\ 0 \end{vmatrix} + \dots + a_n \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \dots \\ 1 \end{vmatrix}$$

В соответствии с предыдущим из двух запахов можно получить третий

$$A_k = A_i + A_j = \begin{vmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a'_1 \\ a'_2 \\ \dots \\ a'_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 + a'_1 \\ a_2 + a'_2 \\ \dots \\ a_n + a'_n \end{vmatrix}$$

Точка с координатами a (a_1, a_2, \dots, a_n) определяет тот же по качеству запах, что и (a_1, a_2, \dots, a_n) , но в a раз больший по интенсивности, и лежит на луче интенсивности, все точки которого характеризуют одно и то же качество запаха.

Восприятие данного запаха, субъективное ощущение запаха, вероятно, зависит не только от его интенсивности или интенсивности его составляющих a_1, a_2, \dots, a_n , но и от величины пороговых значений интенсивностей этих составляющих, воспринимаемых отдельными типами рецепторов $a_{1п}, a_{2п}, \dots, a_{nп}$. По-видимому, для ощущения запаха имеет значение разность интенсивности и порогового значения

* Вполне вероятно, что основные запахи в понимании Эймур могут и не существовать в природе, т. е. каждый запах может быть до некоторой степени сложным. В нашем рассуждении основной запах не имеет пока органолептической оценки.

интенсивности для каждой составляющей запаха, для каждого из основных запахов: $A_i = (a_1 - a_{1n}, a_2 - a_{2n}, \dots, a_n - a_{nn})$. Следовательно, субъективное ощущение запаха может иметь свои особенности. Действительно, при малых концентрациях вещества или смеси веществ со сложным запахом, когда интенсивность запаха близка к пороговой, для некоторых составляющих этого сложного запаха условие $a_i > a_{in}$ выполняется, а для других — не выполняется. Поэтому качество запаха вещества может изменяться с увеличением или уменьшением концентрации пахучего вещества вследствие изменения условий восприятия по субъективным причинам (влияние порогов чувствительности обонятельных рецепторов); ранее не воспринимаемая составляющая сложного запаха ($a_j < a_{jn}$) с увеличением концентрации пахучего вещества начинает восприниматься ($a_j > a_{jn}$); характер ощущения при этом меняется.

Изменение качества запаха вещества или смеси веществ при введении небольшой примеси можно объяснить изменением интенсивности некоторых из основных запахов, входящих в сложный, или изменением координат точки в n -мерном пространстве, определяющих интенсивность и качество запаха.

$$A_i + A_j = \begin{vmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_n \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} a'_1 \\ a'_2 \\ \dots \\ a'_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_1 + a'_1 \\ a_2 + a'_2 \\ \dots \\ a_n + a'_n \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} k_1 a_1 \\ k_2 a_2 \\ \dots \\ k_n a_n \end{vmatrix}; \begin{matrix} \text{в общем} \\ \text{случае} \\ k_1 \neq k_2 \neq \\ \dots \neq k_n. \end{matrix}$$

Таким образом, даже особенности в ощущении запахов не противоречат нашему предположению о применимости закона суперпозиции к запахам.

Следует отметить, что существующие предположения ряда ученых о восприятии основных запахов соответствующими типами рецепторов (Маллинз предполагает существование трех типов рецепторов, Эдриан — четырех, Эймур — семи [1—4]) не исключают возможности того, что обонятельные рецепторы могут не иметь абсолютной селективности к основным запахам, постулированным Эймуром. Один и тот же тип рецепторных клеток может стимулироваться не одним, а несколькими основными запахами, но чувствительность к этим основным запахам различна [2] (т. е. эти запахи не могут быть основными в этом базисе); одно и то же пахучее вещество может возбуждать несколько типов рецепторов. Различие чувствительности отдельных типов рецепторов к пахучим веществам может определяться плотностью сил сцепления молекул в мембранах рецепторной клетки [4], селективностью адсорбции [6], размерами, формой или зарядом пахучей молекулы и рецептивного участка [3]. Но в любом случае качество и интенсивность ощущаемого запаха, по-видимому, определяются степенью возбуждения отдельных типов обонятельных рецепторов, некоторой совокупностью их ответов.

Некоторое сходство с характеристиками рецепторов имеют адсорбционные датчики. Они обладают определенными характеристиками специфичности в зависимости от материала адсорбирующих пленок [13]. Хотя механизм восприятия запахов живыми организмами вряд ли определяется только выделением тепла, сопровождающим адсорбцию молекул пахучего вещества на обонятельном эпителии, множество датчиков такого типа может быть использовано при построении мульт-

тисенсорного устройства, позволяющего получить n -мерную характеристику паров пахучего вещества для объективной оценки качества и концентрации паров вещества в воздухе.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. D. Adrian. The Basis of Sensation. Some Recent Studies of Olfaction.— Brit. Med. J., 1954, № 1.
2. R. C. Gesteland, J. Y. Lettvin, W. H. Pitts, A. Rojas. Odor Specificities of the Frog's Olfactory Receptors.— Olfaction and Taste. Proc. First Int. Symp. Wenner-Gren Center, Stockholm, ed. J. Zotterman, 1963.
3. J. E. Amoore, J. W. Johnston, M. Rubin. The Stereochemical Theory of Odour.— Scientific American, 1964, February.
4. L. I. Mullins. Olfaction.— Ann. N. Y. Acad. Sci., 1955, v. 62, № 2.
5. D. G. Moulton, D. Toker. Electrophysiology of the Olfactory System.— Ann. N. Y. Acad. Sci., 1964, v. 116, № 2.
6. R. W. Moncrieff. Olfactory Adaptation and Odor Likeness.— The Journal of Physiology, 1956, v. 133, № 2.
7. В. В. Чавчаванидзе. К аксиоматике трехцветного зрения, 1.— Труды Ин-та кибернетики АН ГрузССР, т. I. Тбилиси, Изд-во АН ГрузССР, 1963.
8. М. И. Ромакин. Элементы линейной алгебры и линейного программирования. М., изд-во «Вышая школа», 1963.
9. R. W. Moncrieff. The Chemical Senses. London, Leonard Hill, 1951.
10. A. W. Middleton. Smell—the Physical Sense.— Perfumery and Essential Oil Rec., 1956, June, July.
11. R. W. Moncrieff. Odor Compensation.— Drug and Cosmetic Industry, 1961, December.
12. R. W. Moncrieff. Olfactory Adaptation and Odor-Intensity.— The American Journal of Psychology, 1957, v. LXX, № 1.
13. В. Н. Охотская, Л. В. Юшина. Исследование специфичности адсорбционных датчиков.— Автометрия, 1966, № 4.

*Поступила в редакцию
10 июня 1966 г.*