



УДК 577.15.086.83:002:51—7

© П. В. Танатар, 1990

НАУКОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ НАУЧНОЙ ПРОБЛЕМЫ: НА ПРИМЕРЕ МАТЕРИАЛОВ ПО БИОСЕПСОРАМ

В результате структурного анализа проблемы построен классификатор, с помощью которого содержание рефератов массива информации было переведено в набор чисел (индексы). Затем осуществлена математическая обработка формально описанного массива информации и последующая экспертная оценка полученных данных.

На протяжении двух последних десятилетий в здравоохранении, экологии, ряде отраслей промышленности и сельского хозяйства появилась потребность в широком спектре аналитических устройств, предназначенных для идентификации и измерения концентрации ряда органических и неорганических веществ.

Выяснилось, что возможности традиционных методов анализа не удовлетворяют возрастающие требования, в особенности, в плане селективной чувствительности, времени обработки информации, компактности, надежности, экономичности.

В настоящее время в качестве одного из перспективных направлений решения проблемы анализа рассматривается создание нового класса аналитических устройств — биосенсоров, использующих достижения молекулярной биологии и микроэлектроники.

Несмотря на постоянно возрастающий спрос на биосенсоры, современный объем производства таких устройств незначителен. Потребности рынка стимулируют выделение ассигнований на проведение целенаправленных научных исследований в рамках указанной проблемы.

Важной предпосылкой успешного развития таких исследований является всестороннее изучение и глубокий анализ специальной литературы, отражающей накопленные по проблеме результаты.

Первые работы по биосенсорам появились в начале 60-х годов и были направлены на создание ферментных электродов для измерения концентрации газов. К настоящему времени по проблеме опубликовано около 500 экспериментальных и обзорных работ, описано более 200 патентов [1]. Основная часть публикаций приходится на 80-е годы. Обилие опубликованных материалов требует выработки и применения специальных подходов и критериев для сопоставления и объективной оценки известных данных. Такая задача, как правило, представляет определенные трудности для специалистов, работающих непосредственно в прикладной области.

Нами проведена работа по оценке состояния и тенденций развития научных исследований в области биосенсоров с помощью наукометрических методов. Методика исследования включает ряд последовательных процессов: построение классификатора проблемы; формирование и формальное описание массива информации по данной проблеме; формирование публикационных массивов проблемы; математическая обработка и анализ публикационных массивов [2].

Построение классификатора проблемы «Биосенсоры». На основе обзорных материалов [1, 3—13] проведен струк-

турный анализ проблемы, что позволило выделить ее основные параметры и присущие каждому параметру характеристики (свойства). Построенная на базе структурного анализа классификационная схема представлена в табл. 1.

В рабочем классификаторе проблема описывается в виде трех обобщенных параметров: биорецепторы (биологически активная субстанция) (I); датчики (преобразователи химических сигналов в физические, преимущественно электрические) (II); субстраты (регистрируемые вещества) (III). Каждому обобщенному параметру соответствует совокупность конкретных понятий. Например, параметру «Биорецепторы» соответствуют следующие понятия: «ферменты», «антитела» «микробные клетки» и т. д.; параметру «Датчики» — «электрод», «полевой транзистор», «термистор» и др.; параметру «Регистрируемые вещества» — соответственно «белки», «аминокислоты», «продукты распада белков» и т. д. Понятия каждого параметра пронумерованы (кодированы). Совокупность кодов, взятых в строго фиксированном порядке, образует классификационный индекс. Согласно принятой схеме, первым числом в индексе является код рецептора, вторым — код датчика, третьим — код анализируемого вещества.

Такой подход дает возможность переводить содержание рефератов публикаций в набор индексов и проводить математическую обработку массива информации по проблеме.

Анализ состояния и тенденций развития проблемы на основании вторичных публикационных массивов. Исследование проводили на массиве информации по проблеме «Биосенсоры», включающем 479 рефератов публикаций за период с 1983 по 1987 гг., взятых из выпусков РЖ «Физико-химическая биология и биотехнология», «Химия», «Электроника».

Таблица 1
Классификатор проблемы «Биосенсоры»
«Biosensors» problem classifier

Виды рецепторов	Типы датчиков	Виды субстратов
1. Ферменты	1. Электроды	1. Белки
2. Антигены (антитела)	2. Полевые транзисторы	2. Полипептиды
3. Рецепторы отдельных органов	3. Термисторы	3. Продукты распада белков
4. Органеллы	4. Пьезокристаллы	4. Аминокислоты
5. Микроорганизмы	5. Оптические приборы	5. Липиды
6. Клетки животного происхождения и вытяжки из них		6. Сахара
7. Клетки растительного происхождения и вытяжки из них		7. Другие углеводы
8. Субклеточные структуры		8. Продукты распада углеводов
		9. Гормоны
		10. Антибиотики
		11. Медиаторы
		12. Канцерогены
		13. Антигены (антитела)
		14. Клетки
		15. Неорганические соединения
		16. Витамины
		17. Ферменты
		18. Алкалоиды
		19. Низкомолекулярные органические соединения
		20. Нуклеиновые кислоты и продукты их распада
		21. Определенные биохимической потребности в кислороде
		22. Стероиды
		23. Ингибиторы

Содержание рефератов информационного массива с помощью рабочего классификатора проблемы было переведено на формальный язык, т. е. каждой библиографической записи был присвоен индекс (набор кодов). На основании формального описания вторичные документы были объединены в группы. Каждой группе соответствовало конкретное значение индекса, отражающее то или иное направление развития проблемы. Совокупность всех образовавшихся групп (с распределением публикаций по годам в пределах каждой из них) составила полный публикационный массив (матрицу) проблемы. За рассматриваемый период времени массив насчитывает 65 ненулевых групп, каждая из которых представляет определенное направление. Однако основную часть исследований по проблеме проводили в пределах 35 направлений. Остальные группы представлены единичными публикациями, что не позволило их охарактеризовать на данном этапе исследования. Полный публикационный массив информативен, но сложен в интерпретации, поэтому при математическом анализе проблемы были использованы его производные — массив разработанности проблемы и массив развития проблемы.

Массив разработанности проблемы представляет собой распределение публикаций по группам (направлениям) за весь анализируемый

Таблица 2

Ранжирование направлений по количеству публикаций
Trends arranging values in publications numbers

Индекс направления	Количество публикаций*
1	87 (52,8)
1.1.6	32 (43,7)
1.11.8	22 (36,3)
1.1.3	20 (70)
1.1.4	11 (54,5)
1.2.20	9 (44,4)
1.1.13	8 (50)
1.1.55	8 (25)
1.1.10	7 (71,4)
5.1.15	7 (28,5)
5.1.4	6 (50)
1.2.6	4 (25)
1.1.16	4 (25)
1.1.17	4 (25)
1.1.19	4 (50)
1.2.4	4 (75)
5.1.6	4 (75)
1.1.1	3 (33,3)
5.1.8	3 (66,6)
1.1.11	3 (66,6)
3.1.4	3 (100)
1.2.8	3 (100)
2.1.24	3 (100)
7.1.4	2 (0)
1.1.7	2 (0)
5.1.1	2 (0)
5.1.3	2 (0)
1.2.10	2 (0)
2.1.1	2 (0)
1.5.3	2 (50)
5.1.21	2 (50)
1.1.9	2 (50)
5.1.20	2 (50)
1.2.20	2 (100)
2.5.1	2 (100)

* В скобках указано значение индекса новизны (р), %.

Таблица 3

Ранжирование направлений по показателю новизны
Trends arranging values in novelty index

Индекс направления	Показатель новизны (р), %	Примечание
7.1.4	0 (2)	Случайные (или поисковые)
1.1.7	0 (2)	
5.1.1	0 (2)	
5.1.3	0 (2)	
1.2.10	0 (2)	
2.1.1	0 (2)	
1.2.6	25 (4)	Слаборазвивающиеся (или завершающиеся)
1.1.16	25 (4)	
1.1.17	25 (4)	
1.1.5	25 (8)	
5.1.15	28,5 (7)	
1.1.1	33,3 (3)	Развивающиеся
1.1.3	36,3 (22)	
1.1.8	43,7 (32)	
1.2.3	44,4 (9)	
1.1.15	50 (8)	
5.1.4	50 (6)	
5.1.21	50 (2)	
1.1.9	50 (2)	
1.1.19	50 (4)	
5.1.20	50 (2)	
1.5.3	50 (2)	Интенсивно развивающиеся
1.1.6	52,8 (87)	
1.1.20	54,5 (11)	
5.1.8	66,6 (3)	
1.1.11	66,6 (3)	
1.1.4	70 (20)	
1.1.10	71,4 (7)	
1.2.4	75 (4)	
5.1.6	75 (4)	
1.2.20	100 (2)	
2.5.1	100 (2)	
3.1.4	100 (3)	
1.2.8	100 (3)	
2.1.13	100 (3)	

* В скобках указано количество публикаций.

период. На основании массива разработанности проблемы построена таблица распределения направлений по публикационному признаку. Как видно из табл. 2, наибольшее количество публикаций освещает разработку ферментных электродов для определения концентрации сахаров (индекс 1.1.6) и продуктов их распада (1.1.8). Во многих работах описаны принципы устройства ферментных электродов для определения продуктов распада белков (1.1.3), аминокислот (1.1.4), нуклеиновых кислот (1.1.20), липидов (1.1.5), неорганических соединений (1.1.15) и антибиотиков (1.1.10). Проводятся также работы в направлениях создания микробных электродов для выявления неорганических соединений (5.1.15), а также ферментных полевых транзисторов для определения продуктов распада белков (1.2.3).

О тенденциях развития сложившихся направлений и возникновении новых можно судить на основании изучения динамики изменения числа публикаций по годам. С этой целью был введен показатель новизны (p), представляющий собой процентное выражение числа публикаций за последние два года в общем числе публикаций. На основании показателя новизны построен вторичный массив развития проблемы и соответственно таблица рангового распределения направлений по показателю новизны. С учетом показателя новизны все направления условно были разделены на: поисковые (или случайные) ($p = 0$), слабо развивающиеся (или завершающиеся) ($p < 40\%$), развивающиеся ($p \sim 40-70\%$), интенсивно развивающиеся ($p \geq 70\%$), новые ($p \rightarrow 100\%$).

Если следовать такой классификации, то к числу завершающихся исследований следует отнести ферментные электроды для определения витаминов (1.1.16), липидов (1.1.5), ферментов (1.1.17), белков (1.1.1), продуктов их распада (1.1.3), микробные электроды для выявления неорганических соединений (5.1.15), ферментные транзисторные биосенсоры для детектирования сахаров (1.2.6) (табл. 3).

К числу развивающихся направлений принадлежат ферментные электроды для детектирования неорганических соединений (1.1.15), нуклеиновых кислот (1.1.20), сахаров (1.1.6), продуктов распада углеводов (1.1.8), медиаторов (1.1.11), микробные электроды для выявления аминокислот (5.1.4), нуклеиновых кислот (5.1.20), продуктов распада углеводов (5.1.8) и др.

В последние годы бурное развитие получили разработки полевых транзисторов на основе ферментных рецепторов для определения аминокислот (1.2.4), микробных электродов для детектирования сахаров (5.1.6) и ферментных электродов на антибиотики (1.1.10) и аминокислоты (1.1.4).

Значительный интерес для специалистов представляют новые направления в области биосенсоров, к числу которых, по данным табл. 3, принадлежат полевые транзисторы с использованием ферментных рецепторов для определения продуктов распада углеводов (1.2.8), нуклеиновых кислот (1.2.20), электродные иммуносенсоры для обнаружения антигенов (2.1.13), оптические иммуносенсоры для детектирования белков (2.5.1), электродные анализаторы аминокислот на основе рецепторов отдельных органов (3.1.4).

Анализ проблемы с выделением одного параметра. Для определения состояния исследований в пределах выделенного параметра, выявления характерных особенностей этих исследований, наметившихся тенденций дальнейшего их развития было проведено распределение публикаций на группы по признакам одного параметра (два остальных параметра ранжировались по публикационному критерию изученности и новизны). Количество таких групп в пределах каждого параметра определяется количеством основных признаков данного параметра, представленных в классификационной схеме. Признаки, по которым имеются лишь единичные публикации,

на данном этапе исследования не анализировались и в табл. 4—6 не представлены.

Анализ публикаций по параметру «Рецепторы». На основании табл. 4 можно сделать вывод, что доминируют исследования, направленные на изучение ферментных рецепторов (268 вторичных документов, ВД), во многих работах рассматриваются микробные (36 ВД) и иммунорецепторы (16 ВД). Исследования других видов рецепторов отражены в незначительном количестве публикаций.

Интерес к микробным рецепторам в последние годы снизился ($p=33,3\%$), тогда как разработки ферментных рецепторов на протяжении ряда лет носят устойчивый характер ($p=49,6\%$). К числу развивающихся относятся исследования в области иммуносенсоров ($p=62,5\%$). Новыми являются разработки, связанные с использованием в качестве биосубстанции рецепторов отдельных органов ($p=100\%$).

В результате дополнения количественных показателей состояния и развития проблемы по доминантному параметру качественными характеристиками остальных параметров были получены результаты, уточняющие и расширяющие данные табл. 2 и 3.

В частности, данные табл. 4 показывают, что среди наиболее разработанных направлений в группе ферментных рецепторов — изучение электродных датчиков для анализа сахаров, продуктов распада углеводов и белков; в числе интенсивно развивающихся исследований — сочетание ферментных рецепторов с оптическими приборами и использование ферментных сенсоров для детектирования аминокислот, медиаторов, нуклеиновых кислот, антибиотиков и др. соединений.

В группе иммунных рецепторов большинство публикаций освещает

Таблица 4

Анализ публикаций по параметру «Рецепторы»
Publications analysis for «Receptors» parameter

Виды рецепторов	Общее количество публикаций	Показатель новизны (p), %	Наибольшее количество публикаций		Наибольший рост публикаций (по показателю новизны)	
			по группам анализированных веществ	по типам датчиков	по группам анализированных веществ	по типам датчиков
Ферменты	268	49,6	Сахара (93), продукты распада углеводов (38), продукты распада белков (33)	Электроды (215), полевые транзисторы (24)	Аминокислоты (68,0), медиаторы (60,0), нуклеиновые кислоты (57,1), антибиотики (54,5), сахара (51,5), продукты распада углеводов (50), неорганические соединения (50)	Оптические приборы (66,6)
Антигены	16	62,5	Антитела (5), белки (4)	Электроды (8)	Антитела (100), белки (50), гормоны (50)	Оптические приборы (100), электроды (50)
Оргanelлы	3	33,3	—	—	—	—
Микроорганизмы	36	33,3	Неорганические соединения (11), аминокислоты (6), продукты распада углеводов (5)	Электроды (26)	Продукты распада углеводов (80), сахара (75), аминокислоты (50)	Оптические приборы (100)
Растительные клетки	6	0	—	Электроды (6)	—	—
Рецепторы отдельных органов	3	100	Белки (3)	Электроды (3)	Белки (100)	Электроды (100)

использование электродных сенсоров для детектирования антител и белковых веществ, однако работы последних лет свидетельствуют о возросшем интересе к приборам на основе оптических датчиков для анализа антител, белков и гормонов.

В группе рецепторов на основе микроорганизмов хорошо разработаны исследования по использованию в биодатчиках электродов для определения неорганических соединений, аминокислот, продуктов распада углеводов, перспективны оптические сенсоры для анализа продуктов распада углеводов, сахаров и аминокислот.

Рецепторы отдельных органов нашли применение преимущественно в электродных биосенсорах для детектирования белков и в настоящее время представляют новое направление деятельности.

Основным типом регистрирующих устройств в датчиках, использующих растительные клетки, являются электроды.

Результаты, представленные в табл. 4, дают возможность судить не только о состоянии проблемы в отношении признаков доминантного параметра «Рецепторы», но и получить дополнительные сведения по остальным параметрам («Детекторы» и «Субстраты»), общая характеристика которых представлена в табл. 5, 6.

Так, из табл. 4 следует, что в числе наиболее разработанных биосенсоров следующие приборы: для определения сахаров, продуктов распада углеводов и продуктов распада белков, неорганических соединений, белков, а в числе перспективных — анализаторы продуктов распада углеводов, аминокислот, сахаров, медиаторов, антител, нуклеиновых кислот, антибиотиков, белков, неорганических соединений. Из регистрирующих устройств чаще других используются электроды, однако в последние годы активно разрабатываются оптические приборы.

Анализ публикаций по параметру «Датчики». Табл. 5 иллюстрирует неравномерное развитие исследований по типам регистрирующих устройств. В большинстве работ рассматриваются электродные биосенсоры (248 ВД), многие публикации (26 ВД) освещают биодатчики транзисторного типа. Значительно меньше разработок по оптическим анализаторам (12 ВД).

Изучение публикаций в динамике свидетельствует об опережающем развитии оптических биодатчиков ($p=83,3\%$) по сравнению

Таблица 5
Анализ публикаций по параметру «Датчики»
Publications analysis for «Sensors» parameter

Типы датчиков	Общее количество публикаций	Показатель новизны (p), %	Наибольшее количество публикаций		Наибольший рост публикаций (по показателю новизны)	
			по группам анализируемых веществ	по видам рецепторов	по группам анализируемых веществ	по видам рецепторов
Электроды	248	46,4	Сахара (93), продукты распада углеводов (37), аминокислоты (32), продукты распада белков (25)	Ферменты (213), микроорганизмы (26)	Антибиотики (66,5), аминокислоты (62,3), нуклеиновые кислоты (53,8), сахара (53,6)	Антигены (50)
Полевые транзисторы	26	42,3	Продукты распада белков (9)	Ферменты (24)	Продукты распада углеводов (100)	—
Термисторы	2	50	—	Ферменты (2)	—	Ферменты (50)
Оптические приборы	12	83,3	Белки (4)	Ферменты (6)	Белки (75)	Антигены (100), микроорганизмы (100), ферменты (66,6)

с электродными ($p=46,4\%$) и транзисторными ($p=42,3\%$) устройствами.

Среди разработанных направлений в группе электродных датчиков — ферментные электроды для анализа сахаров, аминокислот, продуктов распада углеводов, среди перспективных — сенсоры с использованием в качестве рецептора антигенов для анализа антибиотиков, аминокислот и др. соединений.

Наиболее разработанными биосенсорами из группы полевых транзисторов являются ферментные датчики для определения продуктов распада белков, а наиболее перспективными — сенсоры, позволяющие анализировать продукты распада углеводов.

Таблица 6
Анализ публикаций по параметру «Субстраты»
Publications analysis for «Substrata» parameter

Группы субстратов	Общее количество публикаций	Показатель новизны (p), %	Наибольшее количество публикаций		Наибольший рост публикаций (по показателю новизны)	
			по видам рецепторов	по типам датчиков	по видам рецепторов	по типам датчиков
Белки	16	50	Антитела (4), ферменты (5)	Электроды (7), оптические приборы (4)	Антигены (50)	Оптические приборы (75)
Продукты распада белков	35	37,1	Ферменты (34)	Электроды (24), полевые транзисторы (9)	—	Полевые транзисторы (44,4), оптические приборы (50)
Аминокислоты	37	64,9	Ферменты (26), микроорганизмы (6)	Электроды (31), полевые транзисторы (5)	Ферменты (69,2), микроорганизмы (50)	Полевые транзисторы (80), электроды (64,5)
Сахара	100	53	Ферменты (95), микроорганизмы (4)	Электроды (92), полевые транзисторы (5)	Микроорганизмы (75), ферменты (51,6)	Электроды (53,2)
Продукты распада углеводов	44	52,3	Ферменты (38), микроорганизмы (5)	Электроды (37), полевые транзисторы (4)	Микроорганизмы (80), ферменты (50)	Полевые транзисторы (100), электроды (45,9)
Гормоны	5	40	Ферменты (3), антигены (2)	Электроды (3)	Антигены (50)	—
Антибиотики	13	53,8	Ферменты (11)	Электроды (8), полевые транзисторы (4)	Ферменты (54,5)	Электроды (62,5)
Медиаторы	6	50	Ферменты (5)	Электроды (4)	Ферменты (60)	Электроды (50)
Канцерогены	2	—	—	Электроды (2)	—	—
Неорганические соединения	23	39,1	Ферменты (10), микроорганизмы (11)	Электроды (17)	Ферменты (60)	Электроды (41,2)
Ферменты	10	10	Ферменты (10)	Электроды (9)	—	—
Нуклеиновые кислоты	19	57,9	Ферменты (15)	Электроды (13)	Ферменты (60)	Полевые транзисторы (100), электроды (53,8)
Липиды	10	30	Ферменты (9)	Электроды (8)	—	—
Витамины	4	25	Ферменты (4)	Электроды (4)	—	—
Низкомолекулярные органические соединения	4	50	Ферменты (4)	Электроды (4)	Ферменты (50)	Электроды (50)
Антитела	5	100	Ферменты (5)	Электроды (5)	Ферменты (100)	Электроды (100)

В группе оптических приборов широкое применение нашли ферментные сенсоры для определения белков, к числу перспективных относятся анализаторы белков, использующие в качестве биосубстанции антигены, микроорганизмы и ферменты.

Следовательно, данные табл. 5 по невыделенным параметрам проблемы можно суммировать следующим образом. Доминируют ферментные биосенсоры для обнаружения сахаров, продуктов распада углеводов и белков, аминокислот. Из числа перспективных выделяются иммуно-, а также ферментные сенсоры для детектирования белков, продуктов распада углеводов, антибиотиков, аминокислот и др. соединений.

Анализ публикаций по параметру «Субстраты». В рассматриваемой проблеме по параметру «Субстраты» преобладают разработки биосенсоров для анализа сахаров (100 ВД), продуктов распада углеводов (44 ВД), аминокислот (37 ВД), продуктов распада белков (35 ВД), неорганических соединений (23 ВД) и др. веществ. В последние годы большой интерес проявляется к биосенсорам для детектирования антител ($p=100\%$), аминокислот ($p=64,9\%$), нуклеиновых кислот ($p=57,9\%$), сахаров ($p=53,0\%$), антибиотиков ($p=53,8\%$) и продуктов распада углеводов ($p=52,3\%$) (табл. 6).

Данные табл. 6 по двум остальным параметрам свидетельствуют о том, что больше других разработаны ферментные электроды, интенсивнее остальных развиваются исследования ферментных, а также микробных и иммунных сенсоров с использованием электродных и транзисторных детекторов.

В заключение рассмотрим, каким образом данные основной (по тому или иному параметру) таблицы дополняются данными двух остальных таблиц (неосновных для исследуемого параметра). Из табл. 4, основной для параметра «Рецепторы», следует, что к числу наиболее разработанных рецепторов относятся ферментные системы, широко исследуются микробные и иммунные. Остальные виды рецепторов отражены в единичных публикациях.

Табл. 5 и 6 уточняют приведенные в предыдущей таблице результаты. В частности, из них следует, что в аналитических приборах для определения неорганических соединений в качестве рецепторов помимо ферментов используют преимущественно микроорганизмы, а для детектирования белков — антигены. В отношении остальных типов датчиков и групп анализируемых веществ наиболее разработанными являются биосенсоры на основе ферментов.

Согласно сведениям, представленным в табл. 4, к числу быстроразвивающихся и новых направлений принадлежат иммунные рецепторы, а также биосубстанции на основе отдельных органов. Данные табл. 5 и 6 в основном подтверждают эти выводы, однако вносят некоторые коррективы. К числу быстроразвивающихся направлений наряду с перечисленными выше субстанциями относятся ферменты и микроорганизмы в сочетании с оптическими приборами для определения белков (табл. 5) и с использованием полевых транзисторов для анализа аминокислот, продуктов распада углеводов, ферментные электроды для анализа сахаров, антибиотиков, неорганических соединений, медиаторов, нуклеиновых кислот и др. (табл. 6).

Аналогичным образом был проведен анализ результатов табл. 4—6 по параметру «Датчики». Из регистрирующих устройств биосенсоров наиболее разработаны электроды (табл. 5). В последние годы интенсивно развиваются биосенсоры на основе оптических приборов (табл. 5), но в ряде случаев для регистрации сигнала перспективны электроды (для выявления аминокислот, сахаров, антибиотиков, нуклеиновых кислот, антител (табл. 6)) и датчики, использующие в качестве рецепторов отдельные органы (табл. 4), а также полевые транзисторы (для анализа нуклеиновых кислот, продуктов распада углеводов и аминокислот (табл. 6)).

Относительно параметра «Субстраты» можно отметить следующее. Описанные биосенсоры используются преимущественно для определения сахаров, продуктов распада углеводов, аминокислот, продуктов распада белков, неорганических соединений (табл. 6). Однако биосенсоры, включающие в качестве биосубстанции антигены и рецепторы отдельных органов (табл. 4), а в качестве регистрирующих устройств — оптические приборы (табл. 5), применяются главным образом для выявления белков.

В последние годы разрабатываются преимущественно приборы для детектирования аминокислот, нуклеиновых кислот, антибиотиков, сахаров, продуктов распада углеводов (табл. 6). При использовании оптических приборов перспективны биосенсоры для определения белков (табл. 5). Появился интерес к биосенсорам, детектирующим белки на основе рецепторов отдельных органов и антигенов (табл. 4).

Оценка состояния и тенденций развития научных исследований в области биосенсоров, полученная с помощью предложенного наукометрического метода, согласуется с прогнозными исследованиями ведущих по проблеме специалистов. Как считают зарубежные эксперты [14], до 1990 года среди биосенсоров будут доминировать ферментные электроды, которые в основном предполагается использовать для целей клинического анализа и в пищевой промышленности [16]. В качестве перспективных типов ферментных сенсоров рассматриваются ионселективные полевые транзисторы, ферментные фотодиоды на основе глюкозооксидазы и люциферазы, а также и отроды [17].

Согласно предположению Гроноу [8], самое широкое применение найдут биосенсоры на основе полупроводящих пленок с иммобилизованными на этих пленках ферментами или включенными в них клетками. Автором обсуждаются также перспективы использования оптоэлектронных и иммунных биосенсоров.

По данным литературы [7], новыми в области биодатчиков являются биоаффинные сенсоры на основе иммобилизованных антител или антигенов. В последние годы предпринимаются попытки конструирования ферментных иммуносенсоров, состоящих из антител, связанных с ферментами и иммобилизованных в полимерных мембранах, которые в свою очередь прикрепляются к электродам, а также использования ферментных иммуносенсоров для создания принципиально новых оптических датчиков.

Прогнозные выводы зарубежных специалистов дополняют наши исследования по тем направлениям проблемы, которые в силу их слабой разработанности не нашли отражения в представленных результатах. В частности, Сатох Икио [18] считает, что наиболее перспективными универсальными анализаторами являются ферментные термисторы. В то же время другие исследователи [19] указывают на использование в перспективе пьезоэлектрических датчиков при конструировании биосенсоров ДНК. Финские ученые [20] относят к датчикам будущего биологические сенсоры на основе срезов тканей.

Таким образом, применяя предложенные наукометрические методы, можно получить результаты, согласующиеся с научными прогнозами и отличающиеся от последних относительной простотой и оперативностью получения.

THE SCIENTOMETRIC ANALYSIS FOR THE STATE AND TRENDS OF
DEVELOPMENT
OF A SCIENTIFIC PROBLEM: THE BIOSENSOR PROBLEM AS AN EXAMPLE

N. V. Tanatar

Vernadsky Central Scientific Library,
Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, Kiev

Summary

The analysis of information file formed on the abstract journals was used to assess the state and trends of the development of biosensor studies.

The biosensor problem has determined three integrated parameters subsequently referred to as: the substance under study, bioreceptor and sensor. The classifier based on this structure has allowed performing a formalistic description of the subject-matter of publications and made it possible to form the publication matrices. The subsequent mathematical data processing has shown that just now there are 35 main trends for further research. Following groups for their formalistic classification are possible: the casual trends, the trends to be completed, the developing ones, the intensively developing trends and new ones.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *A report on new developments in biosensor technology // Genet. Eng. and Biotechnol. Monit.*— 1988.— 4, N 21.— P. 60.
2. *Танатар Н. В.* Оценка состояния и динамики развития научных направлений на основании репродуцированных моделей проблемы // Библиотечно-информационные системы: Сб. науч. тр. — Киев: Наук. думка, 1990.— Вып. 2.— С. 99—103.
3. *Сорочинский В. В., Курганов Б. И.* Ферментные электроды // Итоги науки и техники.— М.: ВИНТИ, 1988.— 208 с. (Сер. Биотехнология; Т. 13).
4. *Стародуб Н. Ф.* Неэлектродные биосенсоры — новое направление в биохимической диагностике // Биополимеры и клетка.— 1989.— 4, № 1.— С. 5—15.
5. *Lowe C. R.* Biosensors // Trends Biotechnol.— 1984.— N 3.— P. 59—65.
6. *Карубэ М.* Перспективы разработки биодатчиков // Дэнси когё гэнпо.— 1986.— 28, № 2.— С. 14—23.
7. *Аидзава М.* Биоэлектроника // Хакко то когё.— 1985.— 43, № 12.— С. 1140—1146.
8. *Gronow M.* Biosensors // Trends Biochem. Sci.— 1984.— 9, N 8.— P. 337—340.
9. *Thompson M., Krull U. J.* Biosensors and bioprobes // Trends Anal. Chem.— 1984.— 3, N 7.— P. 173—178.
10. *Lowe C. R.* An introduction to the concepts and technology biosensors // Biosensors.— 1985.— 1, N 1.— P. 2—16.
11. *Карубэ И.* Мембранные сенсоры // Юкагаку.— 1985.— 34, № 10.— С. 799—805.
12. *Аидзава М.* Биосенсоры // Кагаку.— 1985.— 40, № 12.— С. 824—825.
13. *Карубэ Ю.* Современное состояние и проблемы разработок биодатчиков // Гэсуйдо кёкайси.— 1986.— 23, № 26.— С. 48—56.
14. *Increasing biosensor sales may put tests in hands of laymen // Pract. Biotechnol.*— 1986.— 7, N 12.— P. 11.
15. *Biosensors in living matter // Genet. Eng. and Biotechnol. Monit.*— 1988.— 4, N 21.— P. 8.
16. *Ganvirin P.* L'essor des biocapteurs // Sci. et techn.— 1986.— N 32.— P. 16—28.
17. *Аидзава М.* Ферментные электроды // Бунсэнки.— 1986.— № 5.— С. 311—315.
18. *Sato I.* New developments of enzyme thermistors // Chem. Ind.— 1987.— 38, N 11.— P. 933—939.
19. *Downs Marks E. A., Kobayashi S., Kurube I.* New DNA technology and the DNA biosensor // Anal. Lett.— 1987.— 20, N 12.— P. 1897—1927.
20. *Mela M., Jussi-Pekka S., Ryymin P.* Biosensori kemiallisessa analyysissa // Kemia-Kemi.— 1988.— 15, N 3.— P. 233—236.

Центр. науч. б-ка АН УССР, Киев

Получено 12.09.89