

УДК 543.632.9

Б. К. Зуев, Е. С. Пеункова, И. Н. Фадейкина, С. В. Моржухина**Метод окситермографии для исследования распределения органического вещества и трансдермальных свойств поверхности кожи лица**

Рассматривается возможность применения метода окситермографии в косметологии с целью количественного описания распределения органических веществ на поверхности кожи лица человека. Экспериментально оценено суммарное содержание органических веществ на поверхности кожи лица в 15 точках. Рассмотрены трансдермальные свойства поверхности кожи при проникновении косметических активов на примере гиалуроновой кислоты.

Ключевые слова: окситермография, термоокислительный спектр, жирность кожи, гиалуроновая кислота, высокотемпературное окисление, количественное определение органического вещества

Об авторах

Зуев Борис Константинович – доктор технических наук, профессор кафедры химии, новых технологий и материалов государственного университета «Дубна». *E-mail:* zubor127@yandex.ru. 141980 Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19.

Пеункова Елена Станиславовна – магистрант кафедры химии, новых технологий и материалов государственного университета «Дубна».

Фадейкина Ирина Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры химии, новых технологий и материалов государственного университета «Дубна».

Моржухина Светлана Владимировна – кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой химии, новых технологий и материалов государственного университета «Дубна».

Комбинированное исследование состояния кожных покровов или отдельных показателей состояния кожи представляется важным во многих направлениях медицины и косметологии. Наибольший интерес вызывают такие параметры, как pH, жирность, увлажненность (сухость), пигментация, механические свойства, микроциркуляция и исследование внутренних структур кожи. Как правило, известные приборные системы функциональной диагностики являются дорогостоящими и предполагают использование дополнительных реагентов и расходных материалов. В работе рассматривается вариант нового безреагентного метода, который позволяет не только

количественно определять параметры жирности (липотип) кожи, но и исследовать особенности процесса переноса компонентов косметических средств во внутренние слои эпидермиса (трансдермальные свойства).

Выбор того или иного косметического средства для ухода за кожей и само состояние кожи человека зависит от ее типа. Качественные и количественные показатели состояния кожи приведены в табл. 1 и 2 [1; 4]. Необходимо учитывать неоднородное распределение типологии кожи в зависимости от строения кожного покрова, а следовательно, распределение органического вещества на теле и лице человека существенно не равномерно.

Таблица 1. Качественное определение типа кожи по внешним признакам

Нормальная	Сухая	Жирная	Комбинированная
Равномерно окрашена, гладкая, упругая, чистая и свежая. Лишена таких недостатков, как поры, угри, расширенные сосисуды и т.п.	Встречается часто и требует умелого и внимательного ухода, т.к. очень чувствительна к неблагоприятным воздействиям и быстро стареет	Выглядит толстой, грубой, блестит. Иногда она по виду напоминает апельсиновую корку. Жирная кожа встречается чаще в молодости	Чаще всего встречается распределение, при котором кожа жирная в районе лба, носа, подбородка. Вместе с этим на висках, щеках и шее и особенно вокруг глаз кожа сухая

Таблица 2. Определение параметров жирности кожи и ее типа стандартным методом себуметрии

Тип кожи по данным себуметрии (липотип)	Количественный показатель
Сухая кожа	$< 90 \text{ мкг/см}^2$
Нормальная кожа	$90\text{--}220 \text{ мкг/см}^2$
Жирная кожа	$>220 \text{ мкг/см}^2$

Появление и внедрение новых активных компонентов требует постоянного исследования их свойств, знания эффективной концентрации на поверхности кожи и их действия на кожу человека. Для этого требуется развитие новых методов обнаружения таких сложных компонентов, как гиалуроновая кислота, пептиды, витамины и т.п., а также разработка способов измерения их концентрации и изучения особенностей проникновения данных активов в кожу.

Метод окситермографии позволяет быстро, качественно, а главное, количественно определить суммарное содержание органического вещества, распределенного на коже человека, с последующим определением типа кожи.

Метод окситермографии

Метод основан на высокотемпературном окислении органического вещества в потоке газа и количественном определении мо-

лекулярного кислорода (в составе газового потока), затраченного на это окисление (принципиальная схема прибора представлена на рис. 1). Результаты анализа получают в виде окситермограммы – зависимости изменения содержания кислорода в потоке газа, выходящего из реактора, от времени или температуры образца в ходе его окисления [1–3]. Эти окситермограммы являются характерными для органических и других окисляемых кислородом воздуха веществ. Ключевой параметр – площадь пика под кривой – характеризует суммарное количество кислорода, пошедшее на окисление, выраженное в единицах термического потребления кислорода ($\text{мгO}_2/\text{см}^2$), которое эквивалентно $C_{\text{орг}}$ в пробе и соответствует общему содержанию веществ, находящихся на поверхности кожи.

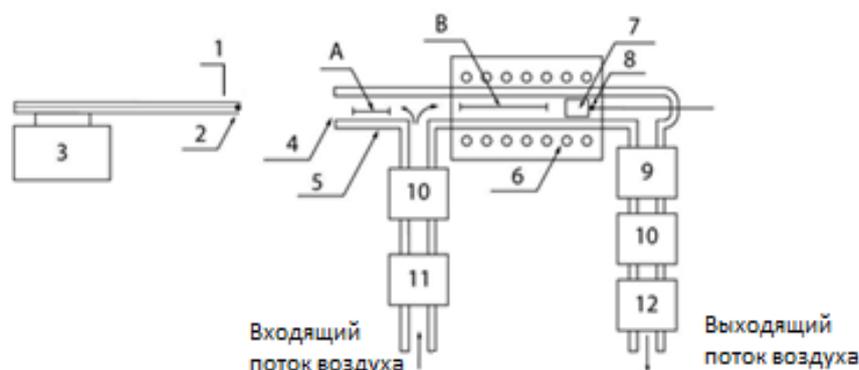


Рис. 1. Принципиальная схема установки окситермографа:

1 – кварцевая палочка; 2 – термопара для контроля температуры палочки; 3 – механизм перемещения палочки по программе «Профиль движения»; 4 – входное отверстие высокотемпературного реактора; 5 – реактор – кварцевая трубка с отростком; 6 – высокотемпературная печь для нагрева реактора; 7 – катализатор; 8 – термопара для контроля температуры в реакторе; 9 – датчик кислорода; 10 – ротаметр; 11 – газовый компрессор; 12 – побудитель газового потока [2]

Для градуировки окситермографа использовали водный раствор салициловой кислоты. В работе [3] показано, что термоокислительный спектр данного вещества аналогичен спектру веществ на поверхности кожи. Полученный градуировочный график (рис. 2) поз-

воляет найти зависимость между количеством кислорода, потраченного на окисление и определяемого по площади пика окситермограммы, и количеством органического вещества, отобранного с поверхности кожи ($\text{мгO}_2/\text{см}^2$).

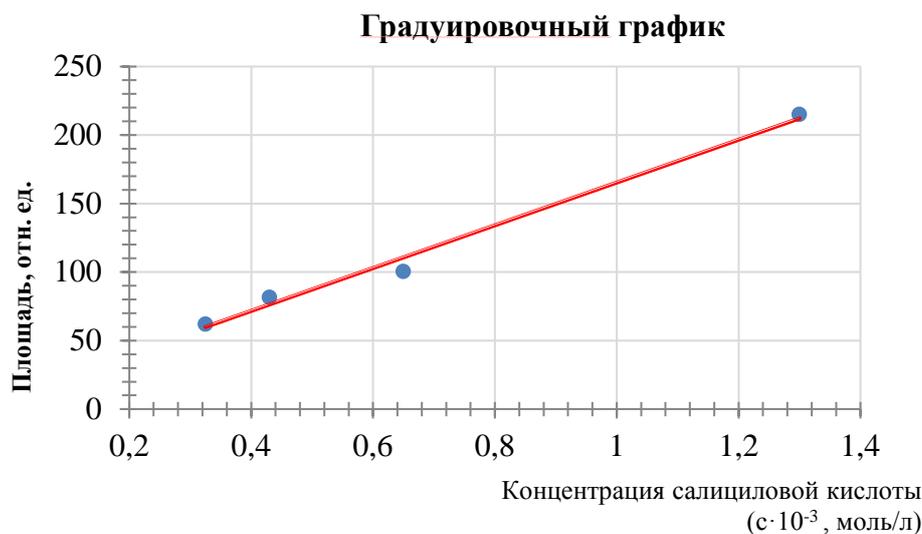


Рис. 2. Градуировочный график для определения концентрации суммарного содержания органического вещества на поверхности кожи по салициловой кислоте методом окситермографии. Рассчитанный коэффициент детерминации $R^2 = 0.9899$, что говорит о хорошем соответствии выбранной линейной регрессионной модели и полученных данных.

Экспериментальная часть

Для исследования пробы отбирались в 15 точках с поверхности кожи лица кварцевым пробоотборником с шероховатой торцевой частью. Методика пробоотбора описана в работе [2]. Точки пробоотбора показаны на рис. 3.

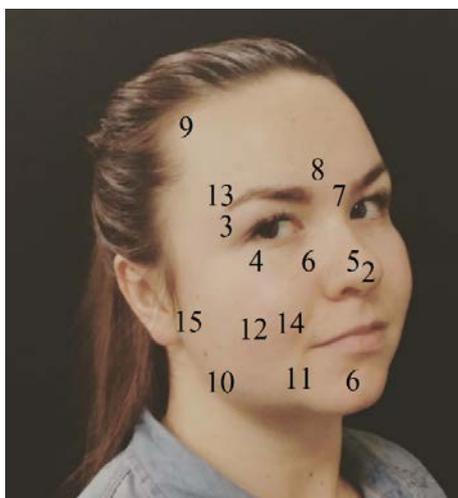


Рис. 3. Точки пробоотбора

Особое внимание было уделено методике пробоотбора. Усилие, с которым прикладывается кварцевый пробоотборник, может оказать значительное влияние на количество перенесенного органического вещества и, соответственно, повлиять на результат исследований.

Была проведена серия экспериментов для выявления влияния данного фактора на определение жирности кожи. Установка, с помощью которой проводились исследования, показана на рис. 4. Полученные результаты представлены в табл. 3

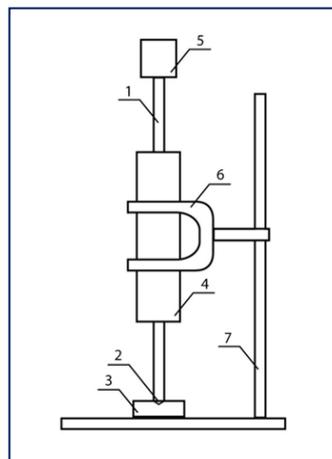


Рис. 4. Схема установки для изучения влияния силы нажатия на перенос органического вещества с поверхности:

- 1 – пробоотборник в виде кварцевой трубочки с торцевой шероховатой поверхностью на торце;
- 2 – место контакта шероховатой поверхности пробоотборника с упругой поверхностью анализируемого тела;
- 3 – упругое твердое тело;
- 4 – вертикальное направляющее устройство;
- 5 – груз, создающий контролируемое давление на поверхность анализируемого тела;
- 6 – держатель направляющего устройства;
- 7 – штатив

Таблица 3. Влияние величины давления пробоотборника на определение площади пика ($S_{орг.}$) для окситермограммы перенесенного органического вещества

Вес нажатия, г	Давление, Н/м ²	$S_{орг.}$, отн.ед
121	6.1×10^{-6}	1049±4
101	5.1×10^{-6}	1049±4
92	4.6×10^{-6}	993±4
72	3.6×10^{-6}	993±4
60	3.0×10^{-6}	995±8
40	2.0×10^{-6}	995±8
20	1.0×10^{-6}	895±3

На основе полученных данных для проверки гипотезы влияния приложенного усилия на пробоотбор органического вещества с поверхности кожи был проведен однофакторный дисперсионный анализ стандартным пакетом *MS Excel*.

Для уровня значимости $\alpha = 0,05$ соотношение $F_{расч}(0,036) \ll F_{кр}(2,84)$ показывает, что воздействие рассматриваемого фактора на полученные данные несущественно. Таким образом, дисперсия полученных данных не зависит от приложенного в данном диапазоне давления и носит случайный характер.

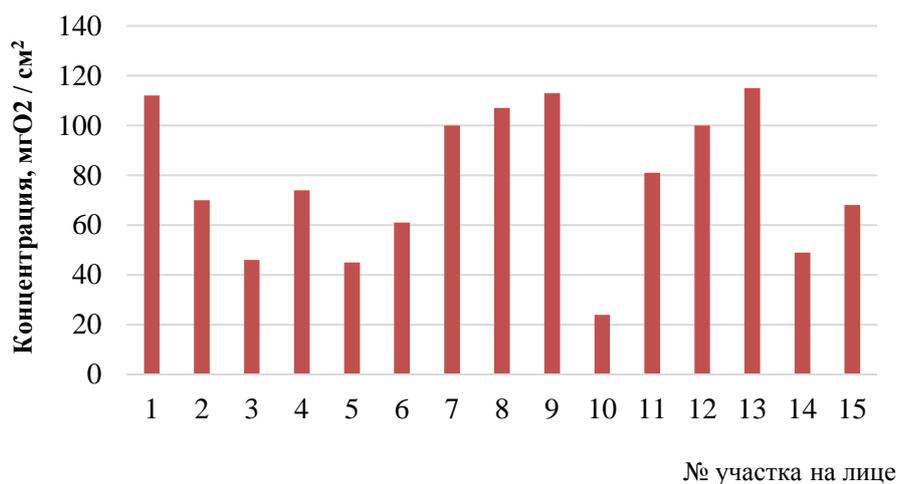


Рис. 5. Распределение органического вещества на коже лица методом окситермографии

Проведенный эксперимент по определению жирности кожи показывает, что распределение органического вещества на лице неоднородно и хорошо согласуется с известными данными о проблемных зонах кожи лица. Из рис. 5 видно, что минимальная концентрация органического вещества на поверхности кожи обнаружена при переходе лицо–шея и составляет 24 мгО₂/см² (сухая кожа (менее 87)), тогда как максимальное значение больше практически в 5 раз (115 мгО₂/см² – нормальная кожа (87–127)) было достигнуто при отборе вещества с надбровной дуги.

Трансдермальные свойства кожи – один из главных вопросов в косметологии и дерматологии. Изучение процессов переноса веществ, например косметических активов и вспомогательных веществ, позволит определять нормы ввода компонентов в рецептуру косметического средства, механизмы воздействия и многое другое (рис. 6). Один из подходов, с помощью которого можно ответить на вопрос о переносе компонентов, – разработка метода, позволяющего быстро и точно контролировать наличие исследуемого вещества на поверхности кожи человека во времени.

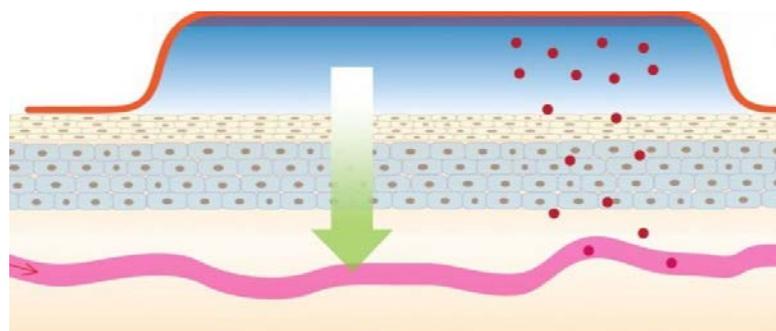


Рис. 6. Трансдермальная система доставки косметических активов [6]

Следующий этап работы – исследование процесса переноса гиалуроновой кислоты с поверхности кожи во внутренние слои, основанного на получении кинетической зависимости изменения концентрации гиалуроновой кислоты в процессе контакта с кожей [5].

Полученная зависимость представлена на рис. 7. Для нанесения использовался 1% масс. водный раствор гиалуроновой кислоты, косметический актив наносился на предварительно обезжиренную кожу.



Рис. 7. Кинетическая зависимость изменения концентрации гиалуроновой кислоты (ГК) на поверхности кожи по определенной площади пика ($S_{ГК}$) на окситермограмме с течением времени

Как видно из приведенной зависимости, в процессе переноса косметического актива наблюдается формирование «пленки» на поверхности кожи, определяемая концентрация гиалуроновой кислоты перестает изменяться примерно через 7 минут.

Выводы

Окситермография может быть использована для определения жирности кожи, метод является простым, экспрессным и безреаген-

тым. Установлено, что кварцевый пробоотборник переносит эквивалентное количество органического вещества с упругой поверхности, данный способ можно использовать в широком диапазоне прикладываемых усилий, на получаемый результат этот фактор не оказывает значимого влияния. Предлагаемый метод пробоотбора в сочетании с методом окситермографии может быть использо-

ван для изучения трансдермальных свойств кожи.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №17-03-008544.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зуев, Б.К. Определение гиалуроновой кислоты в водных растворах с использованием воздуха в качестве окислителя / Б.К. Зуев, В.Г. Филоненко, Д.С. Нестерович, П.Д. Поликарпова // Журн. аналит. химии. – 2018. – Т. 73, № 10. – С. 763.
2. Зуев, Б.К. Пробоотбор и определение гиалуроновой кислоты на упругой поверхности твердого тела (имитатор кожи человека) методом окситермографии / Б.К. Зуев, П.Д. Поликарпова, В.Г. Филоненко [и др.] // Журн. аналит. химии. – 2019. – Т. 74, № 3.
3. Пеункова, Е.С. Изучение распределения органических веществ на поверхности лица методом окситермографии / Е.С. Пеункова, Б.К. Зуев, С.В. Моржухина // Семьдесят первая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием : сборник материалов конференции. Ч. 1. Электронное издание. – Ярославль : Издательский дом ЯГТУ, 2018. – С. 253.
4. Карагадян А.Д. Аутологичная богатая тромбоцитами плазма в коррекции инволюционных изменений кожи : автореф. дис. на соиск. степ. к.мед.н. – М., 2018. – 20 с.
5. Михайлова Н.П. Влияние интрадермального введения модифицированной гиалуроновой кислоты на морфофункциональное состояние кожи у пациенток с инволюционными изменениями // Вестник дерматологии и венерологии. – 2013. – № 5. – С. 152–159.
6. Трансдермальные системы. – URL: http://cosmetic.ua/transdermalnie_sistemi_zastavlyayut_kosmetiku_rabotat (режим доступа: свободный. Дата обращения: 10.11.2018).

*Поступила в редакцию
19.07.2019*