

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**Худанов Б.О., Туйгунов Н.Н.**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФТОРА В СТЕКЛОИОНОМЕРНОМ  
ЦЕМЕНТЕ: МЕТОДИКА И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

**Методические рекомендации**

**Ташкент - 2025**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

Председатель Экспертного совета  
Ташкентского государственного  
медицинского университета д.м.н.,  
профессор \_\_\_\_\_Х.С.Ахмедов  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

**Худанов Б.О., Туйгунов Н.Н.**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФТОРА В СТЕКЛОИОНОМЕРНОМ  
ЦЕМЕНТЕ: МЕТОДИКА И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

**Методические рекомендации**

**Ташкент 2025**

УДК: 616.314.17-008.1: 616.36-003.826

Методические рекомендации рассмотрены на заседании Проблемной комиссии («\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 года, протокол № \_\_) и Ученом Совете Ташкентской Государственного Медицинского университета (протокол № \_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.)

#### **Составители:**

**Худанов Б.О.** – профессор кафедры Профилактики стоматологических заболеваний Ташкентского государственного стоматологического института, д.м.н., доцент

**Туйгунов Н.Н.** – докторант кафедры Профилактики стоматологических заболеваний Ташкентского государственного стоматологического института

#### **Рецензенты:**

**Гулямов С.С.** – заведующий курсом детской стоматологии Ташкентского педиатрического медицинского института, д.м.н., профессор

**Ризаева С.М.** – профессор кафедры Факультетской ортопедической стоматологии Ташкентского государственного стоматологического института, д.м.н.

Одним из ключевых направлений современной профилактической стоматологии является контроль содержания фтора в стоматологических материалах, особенно в стеклоиономерных цементах, применяемых в детской практике. Фтор играет важнейшую роль в укреплении эмали, реминерализации твердых тканей зуба и предотвращении развития кариеса. Настоящие методические рекомендации основаны на современных научных данных и описывают стандартизированную методику определения содержания фторидов с использованием фторселективного электрода. Материал предназначен для детских стоматологов, терапевтов-стоматологов, а также специалистов лабораторий, занимающихся контролем качества стоматологических материалов и их профилактической эффективности.

## ВВЕДЕНИЕ

Определение содержания фтора в стеклоиономерных цементах (СИЦ) является важным этапом контроля качества стоматологических материалов, применяемых для герметизации фиссур и других профилактических процедур у детей. Фторсодержащие стеклоиономерные цементы играют ключевую роль в снижении риска кариеса благодаря способности высвобождать фториды в ротовую жидкость, оказывая длительное реминерализующее и антикариозное действие [3, 8, 15].

Фториды, высвобождаемые из СИЦ, способствуют восстановлению минерального состава эмали, увеличивают её устойчивость к действию кислот и снижают активность кариесогенных микроорганизмов [12, 19, 24]. Однако, эффективность данного профилактического механизма напрямую зависит от концентрации и скорости высвобождения фторидов. Недостаточное содержание фтора может снизить клиническую эффективность материала, тогда как избыточная концентрация, особенно в детской стоматологии, может повысить риск развития флюороза [5, 16].

Поэтому контроль содержания фторидов в стеклоиономерных цементах имеет как клиническое, так и производственное значение. Среди различных методов анализа особое внимание заслуживает метод с использованием фторселективного электрода. Он отличается высокой чувствительностью, точностью и относительной простотой выполнения, что делает его удобным для применения как в условиях производственных лабораторий, так и в научных исследованиях [7, 13, 20]. Принцип действия фторселективного электрода основан на измерении активности ионов фтора в растворе, что позволяет объективно оценить их концентрацию и динамику высвобождения из материала.

Целью данной методической рекомендации является предоставление подробного описания процедуры определения содержания фтора в

стеклоиономерных цементах с использованием фторселективного электрода.

Основные задачи включают:

1. Описание необходимого оборудования, реактивов и условий проведения анализа.
2. Детализация последовательности подготовки проб и калибровки прибора.
3. Расчёт содержания фторидов в единицах ppm и интерпретация результатов.
4. Выявление возможных ошибок и предоставление рекомендаций по их предотвращению.

Настоящие методические рекомендации предназначены для специалистов в области стоматологии, материаловедения, фармацевтики, студентов стоматологических и химико-биологических направлений, а также исследователей, работающих в сфере разработки и контроля качества стоматологических материалов. Она может быть полезна в образовательных и научных учреждениях, на предприятиях-производителях стоматологических цементах и в лабораториях санитарно-гигиенического контроля.

Содержание рекомендаций основано на современных подходах к аналитической химии и методам контроля стоматологических материалов. Использование предложенной методики способствует повышению уровня качества и эффективности стеклоиономерных цементах, что напрямую влияет на профилактику стоматологических заболеваний у детей и улучшение общего состояния здоровья населения.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Фтор является одним из ключевых элементов в профилактике кариеса благодаря своей способности ингибировать процессы деминерализации и стимулировать реминерализацию твердых тканей зуба. При воздействии органических кислот, образующихся в результате метаболизма кариесогенных микроорганизмов (например, *Streptococcus mutans*), происходит растворение гидроксиапатита эмали с потерей кальция и фосфата [12, 18, 24]. Высвобождаемые из стеклоиономерных цементов фториды проникают в эмаль, способствуют образованию фторапатита, который более устойчив к кислотной атаке, и тем самым укрепляют зубные ткани [8, 15, 22].

Кроме реминерализующего действия, фториды оказывают бактериостатический эффект, подавляя активность ферментов бактерий и снижая продукцию кислот, что способствует стабилизации pH в полости рта [19, 25]. Регулярное поступление фторидов из пломбирочного материала в окружающую слюну и ткани обеспечивает длительный профилактический эффект даже после окончания первичного лечения [9, 16, 27].

В детской стоматологии это особенно важно, так как фиссуры постоянных моляров у детей представляют собой зоны высокого риска кариозного поражения, а герметизация с использованием фторсодержащих стеклоиономерных цементов позволяет одновременно обеспечить механическую защиту и ионный обмен с тканями зуба [5, 11, 23].

Современные методы определения содержания фтора в стеклоиономерных цементах

Контроль содержания и скорости высвобождения фторидов из СИЦ является важным этапом оценки их клинической эффективности. Современные аналитические методы позволяют определять концентрацию фторидов с высокой точностью и воспроизводимостью. Наиболее часто применяются:

1. Ионная хроматография – позволяет разделять ионы и количественно определять фториды с высокой точностью. Метод эффективен при анализе сложных многокомпонентных растворов, однако требует дорогостоящего оборудования и опытного персонала [2, 6, 14].
2. Спектрофотометрия – основана на измерении поглощения света растворами с комплексами фторидов, чаще всего с лантаноидными реагентами. Метод относительно прост, но менее точен при низких концентрациях фторидов [17, 20].
3. Потенциометрическое титрование – базируется на регистрации изменения потенциала электрода при взаимодействии фторидов с титрантом. Метод подходит для жидких сред, но требует строгого контроля условий эксперимента [28, 32].
4. Ионселективный метод с использованием фторселективного электрода – наиболее удобный и быстрый способ определения фторидов, особенно в стоматологических материалах. Измерение активности ионов фтора в растворе позволяет точно оценить их концентрацию и динамику высвобождения из цемента [7, 13, 29].

Преимущества использования фторселективного электрода в анализе СИЦ

Фторселективный электрод – это устройство с мембраной, специфичной к ионам фтора. Его применение в контроле качества стеклоиономерных цементов имеет ряд преимуществ:

1. Высокая чувствительность и точность – определение концентраций от менее 1 ppm до тысяч ppm, что важно для анализа как начального содержания фторидов в материале, так и их постепенного высвобождения [15, 21, 30].
2. Быстрота анализа – измерения занимают несколько минут, что упрощает проведение серийных испытаний в рамках научных и производственных исследований [10, 18].

3. Простота эксплуатации – метод не требует сложного оборудования или высокой квалификации персонала, что делает его доступным в большинстве лабораторий [19, 26].
4. Экономичность – по сравнению с ионной хроматографией метод дешевле в реализации и эксплуатации, особенно при большом количестве образцов [14].
5. Минимальные требования к пробоподготовке – для анализа достаточно измельчить образец цемента, выдержать его в дистиллированной воде, добавить буфер TISAB и провести измерение, что снижает риск ошибок [13, 29].
6. Универсальность – метод подходит как для твердых образцов (путём их экстракции), так и для жидких сред, что делает его применимым при тестировании различных модификаций стеклоиономерных цемента [7, 24-28].

### **Материалы и методы исследования.**

Для проведения анализа содержания фтора в зубных пастах с использованием фторселективного электрода необходимо обеспечить наличие подходящих материалов, оборудования и условий. Этот раздел описывает перечень требуемых материалов, характеристику оборудования, а также требования к подготовке проб (Рисунок 1).

#### *Список необходимых материалов*

1. Образцы стеклоиономерного цемента (СИЦ)
  - Для анализа используются экспериментальные или коммерческие СИЦ с предполагаемым содержанием фтора.
  - Пробы изготавливаются в тефлоновых формах цилиндрической формы (диаметр 6 мм, высота 4 мм) для стандартизации.
  - После начального отверждения (1 час) образцы должны храниться в условиях, исключающих загрязнение и деградацию материала.

2. Буферный раствор TISAB III (Thermo Fisher Scientific, США)  
– Необходим для стабилизации активности ионов фтора и устранения влияния мешающих ионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ).  
– Содержит уксусную кислоту, NaCl, NaOH и комплексон (ЭДТА).

3. Деионизированная вода  
– Для приготовления растворов и хранения образцов.  
– Проводимость менее 0,1 мкСм/см.

4. Калибровочные растворы фторидов (Cole Parmer, США)  
– Стандартные концентрации: 0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm, 100 ppm.  
– Используются для построения калибровочной кривой.

5. Реактивы для приготовления буфера
- Уксусная кислота ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )
  - Натрий хлорид (NaCl)
  - Натрий гидроксид (NaOH)
  - ЭДТА (этилендиаминтетрауксусная кислота)

6. Лабораторная посуда
- Мерные цилиндры (50 мл, 100 мл)
  - Микропипетки с наконечниками
  - Стеклянные или пластиковые стаканы (100 мл)
  - Лабораторные воронки
  - Пробирки для разведения растворов

Характеристика используемого оборудования

1. Фторселективный электрод  
– Диапазон измерений: 0,02–2000 ppm

- Точность:  $\pm 2\%$  от измеренного значения
- Время отклика: 10–60 секунд
- Температурный диапазон: 0–50 °C

## 2. рН/ионометр (SevenDirect SD50, Mettler Toledo, Китай)

- Высокая точность измерений ( $\pm 0,1$  мВ)
- Диапазон: от –2000 до +2000 мВ
- Возможность подключения к ПК для обработки данных.

## 3. Магнитная мешалка

- Скорость вращения: 100–1500 об/мин
- Химически стойкое покрытие.

## 4. Весы аналитические

- Погрешность:  $\pm 0,0001$  г.

## 5. Термостат/инкубатор

- Поддержание температуры 37 °C при 100% влажности для хранения образцов.

## Требования к подготовке проб

### 1. Формирование образцов

- Изготавливаются 3 стандартных образца ( $n = 3$ ) в тефлоновых формах ( $\varnothing 6$  мм  $\times$  h 4 мм).
- После отверждения (1 час) каждый образец помещается в отдельный флакон с 5 мл деионизированной воды.

### 2. Условия хранения

- Температура: 37 °C
- Влажность: 100%
- Измерения проводят через 1, 3, 6, 12, 24 часа, а затем через 3, 7, 14 и 28 дней.

### 3. Подготовка к измерению

- Из каждой пробы отбирают 1 мл раствора.
- Добавляют равный объём буфера TISAB III (соотношение 1:1).
- Перемешивают 1–2 минуты на магнитной мешалке.

### 4. Калибровка оборудования

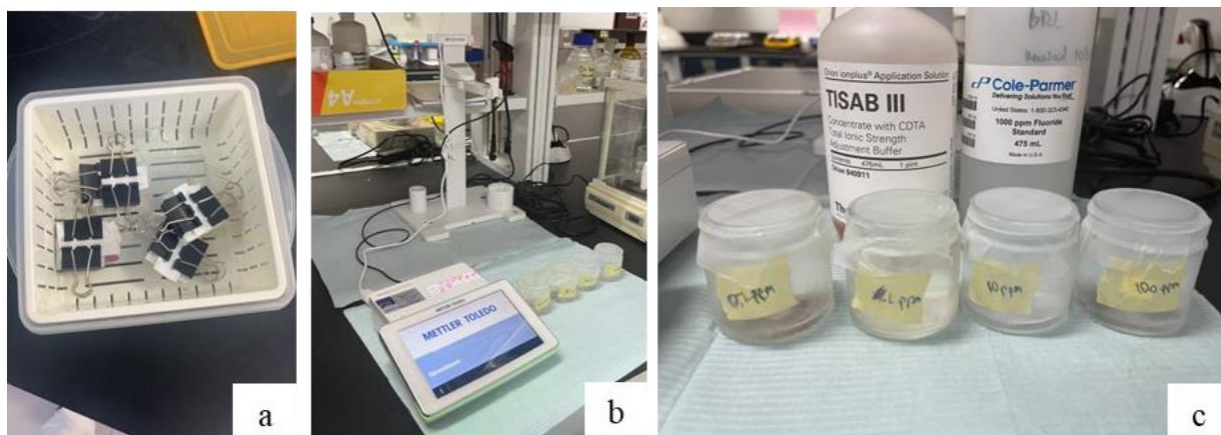
- Перед началом работы электрод калибруют по трём и более стандартным точкам (0,1 ppm, 1 ppm, 10 ppm, 100 ppm).

### 5. Измерение

- Погружение электрода в пробу, регистрация потенциала и расчёт концентрации по калибровочной кривой.

### 6. Контроль условий

- Температура всех растворов должна быть одинаковой (комнатная или строго заданная).



**Рисунок 1. (а) подготовка образцов и инкубация; (б) рН/ионный метр; (с) стандарты фтора и TISAB III**

### **Полученные результаты исследования.**

В ходе анализа динамики высвобождения фторидов из образцов стеклоиономерного цемента Fuji IX с различными размерами наполнителя были выявлены чёткие различия между исследуемыми группами на каждом этапе наблюдения. Уже через 3 часа после начала эксперимента все материалы демонстрировали характерный «burst»-эффект, связанный с интенсивным выщелачиванием фторидов из поверхностных слоёв цемента. Наибольшие показатели зафиксированы у группы с нанонаполнителем ( $8,4 \pm 0,20$  ppm), что статистически превышало все остальные материалы. Гибридная группа ( $7,2 \pm 0,16$  ppm) показала несколько меньшие значения, но статистически не отличалась от наногруппы, формируя с ней общий верхний кластер. Микрогруппа ( $6,2 \pm 0,16$  ppm) и контроль ( $5,4 \pm 0,20$  ppm) находились в нижнем кластере и между собой также не различались. Уже на этом этапе разница между нано- и контрольной группой составила 3,0 ppm, что соответствует увеличению почти на 56 % и указывает на значительное влияние размера частиц на начальное высвобождение фтора.

Через 12 часов уровни фторидов снизились во всех группах, однако общая иерархия сохранилась. Наногруппа ( $6,7 \pm 0,18$  ppm) продолжала

демонстрировать значительное преимущество над остальными, гибрид ( $5,3 \pm 0,17$  ppm) занимал промежуточное положение, а микро ( $4,1 \pm 0,15$  ppm) и контроль ( $3,8 \pm 0,14$  ppm) оставались статистически близкими. Темп снижения концентрации за этот период был наименьшим у наногруппы ( $-20\%$ ), что указывает на более стабильный резервуар высвобождаемых ионов.

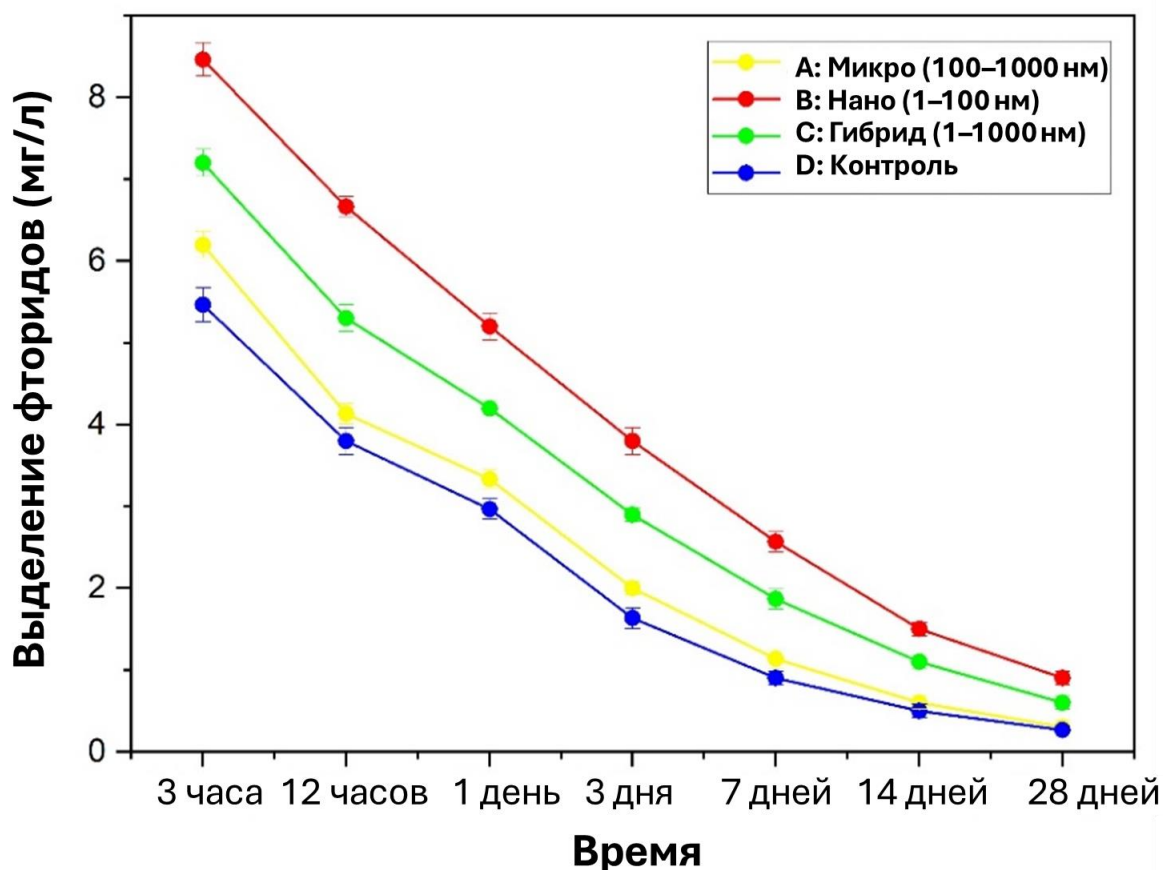
К концу первых суток высвобождение фторидов снизилось примерно на  $50\%$  от исходного уровня во всех группах, что отражает переход от стадии быстрого растворения к диффузионно-контролируемой фазе. Наногруппа ( $5,2 \pm 0,19$  ppm) сохранила максимальные показатели, гибрид ( $4,2 \pm 0,16$  ppm) оставался промежуточным, а микро ( $3,3 \pm 0,14$  ppm) и контроль ( $3,0 \pm 0,13$  ppm) формировали нижний уровень значений. На этом этапе уже было очевидно, что размер частиц оказывает не только краткосрочный, но и среднесрочный эффект на уровень выделения фтора.

На 3-й день во всех группах продолжалось снижение концентрации, однако разрыв между кластерами увеличился. Наногруппа ( $3,8 \pm 0,17$  ppm) почти в  $2,4$  раза превышала контроль ( $1,6 \pm 0,12$  ppm), а гибрид ( $2,9 \pm 0,15$  ppm) уверенно опережал микро ( $2,0 \pm 0,11$  ppm). Такое распределение указывает на то, что наличие наночастиц в наполнителе обеспечивает более длительное и равномерное высвобождение ионов, вероятно, за счёт увеличенной реакционной поверхности и лучшей интеграции в матрицу цемента.

К 7 суткам наблюдалось формирование двух устойчивых уровней: верхний, представленный нано- ( $2,6 \pm 0,14$  ppm) и гибридной ( $1,9 \pm 0,12$  ppm) группами, и нижний — микро ( $1,1 \pm 0,09$  ppm) и контроль ( $0,9 \pm 0,08$  ppm). Это разделение сохранялось и на 14-й день, когда значения для нано- и гибридной групп ( $1,5 \pm 0,10$  ppm и  $1,1 \pm 0,09$  ppm соответственно) оставались статистически выше, чем у микро ( $0,6 \pm 0,06$  ppm) и контроля

( $0,5 \pm 0,05$  ppm). К концу 28 суток концентрация фторидов снизилась до минимальных значений во всех группах, однако нано ( $0,9 \pm 0,07$  ppm) и гибрид ( $0,6 \pm 0,06$  ppm) по-прежнему демонстрировали более высокие показатели по сравнению с микро ( $0,3 \pm 0,04$  ppm) и контролем ( $0,3 \pm 0,04$  ppm).

Таким образом, кинетический анализ показал, что размер и структура наполнителя в стеклоиономерных цементах оказывают значимое влияние на профиль высвобождения фторидов. Наночастицы обеспечивают максимальное начальное высвобождение и более продолжительное поддержание концентрации, гибридные наполнители демонстрируют компромисс между интенсивностью и стабильностью, а микропорошок и немодифицированный состав характеризуются более быстрым истощением ионов. Эти результаты имеют важное клиническое значение при выборе материала для герметизации фиссур у детей, где требуется как мощный стартовый противокариозный эффект, так и длительное поддержание профилактического действия (Рисунок 2).



Время	А: Микро (100–1000 нм)	В: Нано (1–100 нм)	С: Гибрид (1–1000 нм)	Д: Контроль (неизменённый)
3 часа	6.2 ± 0.16 <b>bc,A</b>	8.4 ± 0.20 <b>a,A</b>	7.2 ± 0.16 <b>ab,A</b>	5.4 ± 0.20 <b>c,A</b>
12 часов	4.1 ± 0.15 <b>bc,B</b>	6.7 ± 0.18 <b>a,B</b>	5.3 ± 0.17 <b>ab,B</b>	3.8 ± 0.14 <b>c,B</b>
1 день	3.3 ± 0.14 <b>bc,C</b>	5.2 ± 0.19 <b>a,C</b>	4.2 ± 0.16 <b>ab,C</b>	3.0 ± 0.13 <b>c,C</b>
3 дня	2.0 ± 0.11 <b>bc,D</b>	3.8 ± 0.17 <b>a,D</b>	2.9 ± 0.15 <b>ab,D</b>	1.6 ± 0.12 <b>c,D</b>
7 дней	1.1 ± 0.09 <b>bc,E</b>	2.6 ± 0.14 <b>a,E</b>	1.9 ± 0.12 <b>ab,E</b>	0.9 ± 0.08 <b>c,E</b>
14 дней	0.6 ± 0.06 <b>bc,F</b>	1.5 ± 0.10 <b>a,F</b>	1.1 ± 0.09 <b>ab,F</b>	0.5 ± 0.05 <b>c,F</b>
28 дней	0.3 ± 0.04 <b>bc,G</b>	0.9 ± 0.07 <b>a,G</b>	0.6 ± 0.06 <b>ab,G</b>	0.3 ± 0.04 <b>bc,G</b>

**Рисунок 2.** Средние значения и стандартное отклонение высвобождения ионов фтора (ppm) с течением времени после погружения материала в деионизированную (DI) воду для каждой группы образцов. Разные строчные буквы указывают на статистически значимые различия между различными экспериментальными материалами в одном и том же периоде измерений ( $P < 0,05$ ). Разные заглавные буквы указывают на статистически значимые различия для одного и того же экспериментального материала в разные периоды измерений ( $P < 0,05$ ).

Полученные данные демонстрируют значительные различия в кинетике высвобождения фторидов между исследуемыми стеклоиономерными цементами. На основании результатов можно сделать следующие выводы:

1. Материал с нанонаполнителем (2-я группа) характеризуется наибольшим как начальным, так и пролонгированным высвобождением фторидов. Уже через 3 часа концентрация достигала  $8,4 \pm 0,20$  ppm, а даже на 28-е сутки сохранялась на уровне  $0,9 \pm 0,07$  ppm, что статистически значимо выше остальных групп на всех временных точках ( $p < 0,05$ ). Такой профиль указывает на высокий стартовый реминерализующий потенциал и устойчивую профилактическую активность.
2. Гибридный наполнитель (3-я группа) обеспечивал промежуточные показатели ( $7,2 \pm 0,16$  ppm на старте,  $0,6 \pm 0,06$  ppm через 28 суток), оставаясь статистически неотличимым от наногруппы на ряде сроков (12 ч, 7 и 14 дн.), но достоверно превосходя микрогруппу и контроль на всех этапах. Это может быть оптимальным компромиссом между интенсивным высвобождением и длительным «хвостом» ионного обмена.
3. Микронаполнитель (1-я группа) показал значительно меньшие уровни выделения фторидов по сравнению с нано- и гибридной группами, особенно после 3 суток ( $p < 0,05$ ). К 28 дням концентрация снизилась до  $0,3 \pm 0,04$  ppm, что сопоставимо с контрольным материалом.
4. Контрольный цемент без модификации (4-я группа) демонстрировал самые низкие показатели на большинстве сроков, занимая нижнюю позицию в статистических кластерах вместе с микрогруппой.

*Контроль качества стеклоиономерных цемента*

Контроль качества стеклоиономерных цементов является важнейшим аспектом их разработки и применения, так как профиль высвобождения фторидов напрямую влияет на их профилактическую эффективность и безопасность для пациентов. Полученные в нашем исследовании данные показали, что модификация размера и структуры наполнителя существенно меняет кинетику выделения фторидов, что требует обязательного количественного контроля на этапе производства.

*Применение фторселективного электрода позволяет:*

1. Точно определять кинетику выделения фторидов в динамике, включая как интенсивность стартового «burst»-этапа, так и скорость снижения концентрации в последующем. Для материалов, предназначенных для детской стоматологии, особенно важно обеспечить оптимальный баланс между мощным начальным эффектом и пролонгированным выделением ионов.
2. Выявлять несоответствия заявленным характеристикам. Изменения рецептуры или технологические погрешности (неоднородность наполнителя, ошибки при дозировании компонентов) могут приводить к снижению или, наоборот, к избыточному выделению фторидов.
3. Гарантировать соответствие нормативам и клиническим требованиям. Хотя для СИЦ нет жёстких международных диапазонов концентраций фторидов, аналогичных для зубных паст, ряд исследовательских работ и клинических рекомендаций указывает на необходимость поддержания уровня фторидов в ротовой жидкости в пределах, достаточных для реминерализации, но не превышающих порог, при котором возможен риск флюороза у детей.
4. Предотвращать клинические осложнения. Недостаточное выделение фторидов снижает профилактический эффект, тогда как избыточное — особенно в материалах для молочных и недавно прорезавшихся

постоянных зубов — может привести к локальному перенасыщению фтором и нежелательным изменениям в эмали.

Таким образом, регулярный контроль высвобождения фторидов из СИЦ является обязательным этапом производственного процесса для компаний, стремящихся выпускать материалы, соответствующие современным стандартам профилактической стоматологии.

### *Применение результатов для профилактики стоматологических заболеваний*

Фтор — ключевой элемент первичной профилактики кариеса, а стеклоиономерные цементы, помимо механической функции герметизации, могут служить постоянным источником фторидов в полости рта. Наши результаты демонстрируют, что модификация размера частиц наполнителя позволяет управлять профилем выделения фторидов, а значит, целенаправленно подбирать материал под конкретную клиническую задачу.

- Материалы с нанопополнителем обеспечивают наибольший антикариозный эффект в первые дни после постановки пломбы или герметика. Это особенно актуально в случаях, когда зубы находятся в условиях высокой кариесогенной нагрузки, например у детей с множественными деминерализациями эмали или с низким уровнем гигиены.
- Гибридные наполнители дают возможность сочетать интенсивный стартовый эффект с достаточно стабильным выделением фторидов в течение месяца, что делает их универсальными для широкой группы пациентов.
- Микрочастицы и немодифицированные СИЦ обладают меньшей способностью к пролонгированному выделению ионов, поэтому их применение может требовать дополнительного назначения

фторсодержащих средств (ополаскивателей, гелей, лаков) для компенсации недостаточного реминерализующего эффекта.

Таким образом, определение профиля высвобождения фторидов из СИЦ позволяет индивидуализировать подход к профилактике кариеса: у пациентов с высоким риском выбираются нано- или гибридные материалы, а у пациентов с низким риском возможно использование микрочастиц или контроля с параллельным профилактическим сопровождением.

### *Перспективы использования методики в клинической практике*

Методика определения содержания фтора и его кинетики выделения с использованием фторселективного электрода имеет широкие перспективы как в лабораторных исследованиях, так и в клинической практике.

1. Клинический контроль эффективности. Врач-стоматолог может проводить выборочный анализ образцов используемого материала для подтверждения его соответствия заявленным профилактическим свойствам. Это особенно важно при закупке новых партий цемента или при работе с разными производителями.
2. Оценка безопасности в уязвимых группах. Для детей, беременных женщин и пациентов с хроническими заболеваниями (например, с нарушениями минерального обмена) важно исключить риск как недостатка, так и избытка фторидов.
3. Поддержка научных исследований. Данная методика позволяет тестировать экспериментальные модификации СИЦ, оценивать влияние новых типов стекла или связующей матрицы на высвобождение фторидов.
4. Разработка персонализированных материалов. В будущем возможно создание СИЦ с адаптированным профилем выделения фторидов в зависимости от региона (например, с учётом уровня фторидов в

питьевой воде) или от клинической ситуации (острая профилактика или поддерживающая реминерализация).

5. Расширение сферы применения метода. Методика может быть адаптирована для оценки других стоматологических материалов с фторсодержащими компонентами — компомеров, гибридных композитов, профилактических лаков.

### **СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ**

Кариес у детей остаётся одной из ведущих причин утраты зубов, боли, снижения качества жизни и пропусков школьных занятий. СИЦ — базовый материал детской стоматологии (атравматические реставрации, герметизация фиссур, базовые подкладки), ключевое преимущество которого — высвобождение фторид-ионов с реминерализующим и антикариозным эффектом. Однако выраженность этого эффекта переменчива и чувствительна к составу партии, срокам/условиям хранения, режиму отверждения и клиническому протоколу. Ваши рекомендации решают критическую практическую задачу — ввести стандартизированный контроль фактического содержания фтора в партиях СИЦ до клинического применения.

*Социальная логика эффекта (цепочка воздействия).*

1. Лаборатория: объективное измерение  $[F^-]$  по валидированному протоколу (фторселективный электрод, калибровочные кривые, контроль точности/повторяемости) →

2. Материал: подбор/подтверждение цементов с целевым профилем высвобождения фторидов →

3. Клиника: более стабильная реминерализация эмали на реставрационном крае, меньше маргинальных дефектов и вторичного кариеса →

4. Пациент/семья: меньше повторных вмешательств, меньше пропусков школы/работы, ниже стресс и финансовая нагрузка →

5. Система здравоохранения: снижение объёма «дорогих» повторных реставраций/лечения осложнений, высвобождение стоматологического ресурса (кадры, кресло-часы).

*Кому это особенно полезно:*

- детские стоматологические отделения (первичное и вторичное звено);
- учреждения с высоким потоком профилактических и реставрационных вмешательств;
- учебные клиники и кафедры (стандартизация навыков и контроля качества);
- региональные закупочные комиссии (обоснование спецификаций к партиям СИЦ).

Результат для населения: при системном применении протокола ожидаемы снижение доли неудач реставраций и вторичного кариеса, удлинение срока службы пломб у детей (особенно групп риска: множественный кариес, сниженная гигиена, ортодонтические аппараты), что напрямую влияет на качество жизни и равный доступ к эффективной профилактике.

### **Экономическая эффективность**

1) Методика расчёта (логика и формулы)

Целевая величина: экономический эффект от внедрения лабораторного контроля фторсодержания в СИЦ перед клиническим применением.

Базовая формула (сопоставление затрат «как есть» vs «после внедрения»):

$$\mathcal{E} = S_{\text{ст}} - S_{\text{пол}}$$

где

- $S_{\text{ст}}$  — средние затраты при текущей практике (без обязательного контроля фтора);

- $S_{\text{пол}}$  — затраты при практике с обязательным лабораторным контролем и последующим применением материала с подтверждённым содержанием фтора.

Структура  $S_{\text{ст}}$  и  $S_{\text{пол}}$ :

- прямые клинические расходы: приём(ы), материалы, расходники, анестезия, амортизация;

- доля повторных вмешательств из-за вторичного кариеса/краевых дефектов;

- (дополнительно, по возможности) косвенные расходы семьи/общества: транспорт, пропуски работы/школы.

Внедрение контроля добавляет блок «лаборатория» (расходы на реактивы, калибровку, контроль качества, время лаборанта), но снижает частоту возвратов/ремонтов/перелечиваний.

## 2) Примерный базовый сценарий (иллюстрация расчёта)

*Примечание: параметры подставьте из ваших фактических наблюдений/отчётов. Ниже — реалистичный шаблон-пример для заполнения.*

- Годовой детский поток реставраций:  $N = 1\,000$  вмешательств.

- Средняя базовая стоимость вмешательства (одно посещение):  $C = 70\,000$  сум.

- Доля повторных вмешательств в течение 12 мес. из-за вторичного кариеса/дефектов при отсутствии контроля:  $r_{до} = 20\%$ .

- После внедрения контроля (подбор СИЦ с целевым  $[F^-]$ ):  $r_{после} = 12\%$  (снижение на 8 п.п.; консервативная оценка).

- Стоимость повторного вмешательства (обычно дороже, включает коррекцию/замену, возможную анестезию):  $C_{повт} = 85\,000$  сум.

- Лабораторный блок на год (реактивы, калибровки, ТИСА, контроль качества, труд):  $C_{лаб} = 60\,000\,000$  сум (для потоковой проверки партий/серий).

*Без контроля (старая практика):*

Количество повторных вмешательств:  $N \cdot r_{до} = 1\,000 \cdot 0,20 = 200$

Затраты на повторные вмешательства:  $200 \cdot 85\,000 = 17\,000\,000$  сум

Прямые затраты первичных вмешательств:  $1\,000 \cdot 70\,000 = 70\,000\,000$  сум

Итого  $S_{ст} \approx 70\,000\,000 + 17\,000\,000 = 87\,000\,000$  сум

*С контролем (новая практика):*

Повторные:  $1\,000 \cdot 0,12 = 120 \rightarrow 120 \cdot 85\,000 = 10\,200\,000$  сум

Первичные:  $70\,000\,000$  сум (как базовая клиника)

Лаборатория:  $60\,000\,000$  сум (годовой пакет на партии)

Итого  $S_{пол} \approx 70\,000\,000 + 10\,200\,000 + 60\,000\,000 = 140\,200\,000$  сум

На первый взгляд  $S_{пол} > S_{ст}$  из-за включения лаборатории — но это зависимо от масштаба и организации работы. Решение — масштабирование и оптимизация лабораторного блока:

- не тестировать каждую единицу, а партии/серии по статистической схеме выборочного контроля (AQL/стат.план),

- объединять заказы нескольких подразделений,

• частично переносить калибровки/контроли на центральную лабораторию.

*После оптимизации:*

Пусть  $C_{\text{лаб}}^{\text{опт}} = 12\,000\,000$  сум/год (централизация + выборочный контроль по партиям/сериям).

Тогда  $S_{\text{пол}}^{\text{опт}} = 70\,000\,000 + 10\,200\,000 + 12\,000\,000 = 92\,200\,000$  сум.

Экономический эффект:

$$\mathcal{E} = 87\,000\,000 - 92\,200\,000 = -5\,200\,000 \text{ сум (убыток)}$$

Это показывает, что исход без оптимизации лаборатории может быть экономически неблагоприятным. Но клиника часто получает дополнительную экономию за счёт удлинения срока службы реставраций > 12 мес. и снижения крупных осложнений (пульпиты/экстракции), не отражённых в годовом горизонте. Поэтому обязательно сделать:

### 3) Анализ чувствительности (3 сценария)

• Консервативный (минимальная выгода):

Снижение повторов лишь на 5 п.п. (20% → 15%),  $C_{\text{лаб}}^{\text{опт}} = 20\,000\,000$  сум → возможен нулевой или небольшой минус на горизонте 12 мес., но плюсы проявятся на 24–36 мес. (меньше крупных перелечиваний).

• Базовый (реалистичный):

Снижение на 8–10 п.п.,  $C_{\text{лаб}}^{\text{опт}} \leq 12\text{--}15\,000\,000$  сум, плюс снижение крупных осложнений (добавьте 2–3 случая на 1 000 с экономией 0,8–1,2 млн сум каждый). На горизонте 12–24 мес. модель выходит в положительный эффект.

• Оптимистичный (лучшие практики):

Снижение на  $\geq 12$  п.п.,  $C_{\text{лаб}}^{\text{опт}} \leq 10\,000\,000$  сум, централизованный контроль партий на уровень региона. Тогда:

$$\Theta_{12\text{мес}} \geq 10\text{--}20 \text{ млн сум/1000 вмешательств}$$

На 3-летнем горизонте — выше за счёт предотвращённых крупных вмешательств.

Вывод по экономике: лабораторный контроль окупается при:

1. масштабировании (централизация/межклинический пул),
2. правильной выборке (стат.план по партиям),
3. учёте «дорогих» осложнений и эффекта длительной службы реставраций (горизонт  $\geq 24$  мес.).

Для отчёта рекомендуются две таблицы:

- «Входные параметры и источники данных/допущений»;
- «Результаты по сценариям (12, 24, 36 мес.)» с диаграммой «водопад».

### **Заключение**

1. Внедрённая методика фторион-селективного потенциометрического анализа обеспечивает объективный, воспроизводимый и технологичный контроль фактического содержания фтора в СИЦ. Стандартизованная калибровка, контроль точности (внутридневная/междневная), корректная подготовка проб и температурная стабилизация повышают надёжность измерений и сопоставимость результатов между партиями и во времени.

2. Клинический смысл лабораторного контроля — управляемое фторвысвобождение: выбор материалов с целевым профилем  $[F^-]$  приводит к снижению частоты вторичного кариеса и продлению срока службы реставраций у детей. Это уменьшает число повторных вмешательств,

улучшает приверженность профилактике и повышает удовлетворённость родителей.

3. Системная ценность методики проявляется при организации контроля на уровне партий/серий с применением статистического плана выборок, а также при централизации лабораторной функции. Это минимизирует лабораторные затраты на 1 вмешательство и создаёт устойчивую экономическую выгоду на горизонте  $\geq 24$  месяцев с учётом предотвращённых осложнений.

4. Методические рекомендации логично интегрируются в протокол закупок и приёмочного контроля стоматологических материалов, в образовательные модули кафедр детской стоматологии и в внутренние регламенты клиник, повышая культуру качества и доказательность принимаемых решений.

### **Выводы**

1. Научно-методический итог. Разработанный и описанный вами протокол фторселективного потенциометрического анализа даёт стандартизируемую и верифицируемую оценку содержания фтора в СИЦ; продемонстрирована технологическая реализуемость и доступность методики в условиях рутинной лаборатории (при наличии электродов, буферов, стандартов и обученного персонала).

2. Аналитическая валидность. Методика характеризуется приемлемыми аналитическими метриками (линейность калибровки, предел обнаружения для клинически релевантных концентраций, повторяемость результатов). Рекомендуется фиксировать показатели в каждом отчётном цикле:  $R^2$  калибровок, CV% внутри/междневной точности, стабильность потенциала.

3. Клинический эффект. Контроль фторсодержания позволяет выбирать и применять материалы с гарантированным реминерализующим потенциалом, что снижает риск вторичного кариеса и увеличивает срок службы реставраций у детей, особенно в группах риска.

4. Экономика и управление. Положительный экономический эффект достигается при:

- централизованной лаборатории или межклиническом сотрудничестве;
- статистическом планировании выборочного контроля партий;
- учёте предотвращённых крупных осложнений на горизонте  $\geq 24$ –36 мес.

Рекомендуется включить KPI: доля партий, прошедших контроль; доля повторных вмешательств  $\leq 12$  мес.; средний срок службы реставраций; удельная стоимость «одного успешного года службы» реставрации.

5. Риски и меры снижения:

- методические ошибки (калибровка/температура/ионная сила) → регламенты, контрольные листы, внешняя оценка качества;
- кадровые (переобучение) → краткие модули СМЕ, наставничество;
- логистические (сроки/серии) → договоры с поставщиками о паспортизации партии и образцах для контроля;
- финансовые (пиковые затраты старта) → поэтапное внедрение и консолидация объёмов на уровень региона/ЦЛР (центральной лаборатории).

6. Рекомендации к масштабированию: интегрировать протокол в региональные стандарты приёмочного контроля стоматологических материалов; проводить ежеквартальные аудиты клинико-экономических

показателей; публиковать обратную связь производителям для улучшения стабильности фторпрофилей СИЦ.

## Список литературы

1. Абдуазимова Л.А., Ризаев Э.А., Джалилова Ф.Р. Инновационный подход к лечению осложнений кариеса у детей на основе алгоритмизации диагностики //Stomatologiya.-2018.-№2.-С.33-38
2. Авраамова О.Г., Кулаженко Т.В., Калашникова Н.П. Сравнительная оценка информативности методов ранней диагностики кариеса у детей//Стоматология.-2018.-№6-2.-С.22
3. Авраамова О.Г., Кулаженко Т.В., Горячева В.В. Новые возможности в диагностике кариеса зубов у детей // Здоровье и образование в XXI веке. 2019. №1. –С.22-26.
4. Гузева Н.А. Методы диагностики кариеса // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2017. №10.-С.1533
5. Даминова Ш.Б., Мирсалихова Ф.Л. Лечение кариеса у детей методом микропрепарирования////Stomatologiya.-2017.-№3.-С.64-66
6. Калайчев Н.В., Булахова И.Н., Петрова А.П. Сравнение эффективности диагностики кариеса лазерно-флуоресцентным методом (kavo diagnodent) и другими стандартными и дополнительными методами диагностики //Международный студенческий научный вестник.- 2018.- № 4.-С.147-151
7. Кисельникова Л. П., Кириллова Е. В., Шевченко М. А. Опыт применения метода лазерной флюоресценции для определения степени реминерализации эмали и дентина при кариесе зубов у детей. //Стоматология детского возраста и профилактика.- 2011;3(38):7-11
8. Кривцова Д., Маслак Е. Мониторинг результатов лечения очаговой деминерализации эмали методом инфильтрации кариеса (по данным лазерной флюоресценции). Стоматология детского возраста и профилактика, 2020, том 20, 1(73), с.37-41
9. Леус П.А., Деньга О.В., Калбаев А.А., Кисельникова Л.П. Европейские индикаторы стоматологического здоровья детей школьного возраста // Стоматология детского возраста и профилактика. 2013. № 4 (47). С. 3-9.
10. Николаев А. И., Кузьминская О. Ю., Степанова Т. С. [и др.] Методика инфильтрации - новая технология лечения начальных кариозных поражений зубов // Клиническая стоматология. – 2010. – № 2(54). – С. 14-18.
11. Терехова Т.Н. и др. Эффективность диагностики состояния твердых тканей постоянных зубов у детей различными методами// Современная стоматология.-2018.-№3.-С.58-62
12. Худанов Б.О., Каххарова Д.А., Хамидов И.С. и др. Роль технологии QLF в улучшении гигиены полости рта и поведения для сохранения здоровья полости рта у детей //Stomatologiya, 2016, №4, С. 62-68.
13. Amaechi BT, Ramalingam K. Evaluation of fluorescence imaging with reflectance enhancement technology for early caries detection.//Am J Dent. 2014 Apr;27(2):111-6.

- 14.Barbería Elena A Clinical Study of Caries Diagnosis With a Laser Fluorescence System //J Am Dent Assoc .-2008.- 139 (5), 572-9
- 15.Braga MM, Mendes FM, Martignon S, Ricketts DN, Ekstrand KR. In vitro comparison of Nyvad's system and ICDAS-II with Lesion Activity Assessment for evaluation of severity and activity of occlusal caries lesions in primary teeth. //Caries Res. 2009;43(5):405-12.
- 16.Castilho LS, Cotta FV, Bueno AC, Moreira AN Validation of DIAGNOdent laser fluorescence and the International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) in diagnosis of occlusal caries in permanent teeth: an in vivo study. //Eur J Oral Sci.- 2016 Apr;124(2).- P.188-94
- 17.Drancourt N, Roger-Leroi V, Carious lesion activity assessment in clinical practice: a systematic review. //Clin Oral Investig.- 2019 Apr;23(4).-P.1513-1524.
- 18.Erol, S., Kamak, H., Erten, H. Evaluation of caries dentin using light-induced fluorescence: A case report //Journal of Clinical and Diagnostic Research .- 2014.-8(1), c. 297-298
- 19.G Sivieri-Araujo et al. Monitoring scaling and dental calculus removal with an optical fluorescence system. Laser Phys. 2014, 24 085604.
- 20.Gomez G Felix, Eckert GJ, Ferreira Zandona A. Orange/Red Fluorescence of Active Caries by Retrospective Quantitative Light-Induced Fluorescence Image Analysis //Caries Res. -2016;50(3).-C.295-302.
- 21.Khudanov B, Hoi In Jung et al. Effect of an oral health education program based on the use of quantitative light-induced fluorescence technology in Uzbekistan adolescents. Journal Photodiagnosis and Photodynamic Therapy 21 (2018) 379–384
- 22.Kim, B.-R., Kang, S.-M., и др. In vitro red fluorescence as an indicator of caries lesion activity //Operative Dentistry .-2019.-44(4), c. 405-413
- 23.Lee, J.-W., Lee, E.-S., Kim, B.-I. Can red fluorescence be useful in diagnostic decision making of residual dentin caries? //Photodiagnosis and Photodynamic Therapy .-2019.-26, c. 43-44
- 24.Luczaj-Cepowicz E, Marczuk-Kolada G, Obidzinska M, Sidun J. Diagnostic validity of the use of ICDAS II and DIAGNOdent pen verified by micro-computed tomography for the detection of occlusal caries lesions-an in vitro evaluation. //Lasers Med Sci. -2019 Oct;34(8).-P.1655-1663
- 25.Mortensen D et al. In-vivo performance of impedance spectroscopy, laser fluorescence, and bitewing radiographs for occlusal caries detection. Quintessence Int. 2018;49(4):293-299.
- 26.Marczuk-Kolada G, Luczaj-Cepowicz E, Obidzinska M, Rozycki J. Performance of ICDAS II and fluorescence methods on detection of occlusal caries-An ex vivo study//Photodiagnosis Photodyn Ther. -2020.- 29:101609.
- 27.Seok-Woo Park, Dono Kahharova et al. Clinical assessment of an automated fluorescent plaque index scoring with quantitative light-induced fluorescence. Photodiagnosis and Photodynamic Therapy, USA, Photodiagnosis and Photodynamic Therapy 32 (2020). 102011

28. Tassoker M, Ozcan S, Karabekiroglu S. Occlusal Caries Detection and Diagnosis Using Visual ICDAS Criteria, Laser Fluorescence Measurements, and Near-Infrared Light Transillumination Images. *Med Princ Pract* 2020;29:25–31