

Всероссийский конкурс юных исследователей окружающей среды им. Б.В.
Всесвятского
(Федеральный уровень)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ
ЙОДА В БУРЫХ ВОДОРΟΣЛЯХ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА РОССИИ

Автор:

Мельников Эрнест Викторович

Россия, Мурманская область, г. Мурманск, Гимназия №3, класс 11 «Б»

ГАНОУ МО «ЦО «Лапландия», Детский технопарк «Кванториум»

Биоквантум. Проектная группа

Научный руководитель:

Соколан Нина Ивановна, педагог дополнительного образования детского
технопарка «Кванториум», ГАНОУ МО «ЦО «ЛАПЛАНДИЯ»

Мурманск, 2025

Оглавление

Введение.....	3
Литературный обзор	3
Материалы и методы исследования.....	4
Результаты и обсуждения.....	9
Выводы	10
Заключение	10
Благодарность.....	11
Список литературы	11
Приложение	12

Введение

Актуальной задачей для Арктического бассейна является рациональное использование его сырьевой базы, включающее переработку морских водорослей. Разработка и организация производства пищевых продуктов, содержащих высокое количество эссенциальных нутриентов, является эффективным и доступным путем ликвидации существующего в настоящее время дефицита незаменимых пищевых веществ, особенно для населения, проживающего в Арктическом регионе. Однако для расчёта рецептуры пищевой продукции, обогащенной йодом за счет использования водорослей, необходимо знать содержание в них йода.

В прошлой своей работе «Определение содержания йода в бурых водорослях арктического региона России» мы проводили оптимизацию процесса обжига при пробоподготовке водорослей для метода основанного на титровании; в этом исследовании нашей целью является сравнительный анализ обоих методов определения йода в водорослях: на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА» и титрованием по методике, представленной в статье М. И. Крыловой.

Чтобы достичь описанные цели, мы поставили перед собой следующие задачи:

- Оптимизация процесса озоления (минерализации) водорослей для дальнейшего определения содержания йода;
- Определение содержания йода в бурых водорослях Баренцева моря (материалы – фукусы пузырчатый и двухрядный) методом титрования;
- Определение содержания йода в бурых водорослях Баренцева моря на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА»;
- Обработка данных, анализ и сравнение методов определения йода.

Литературный обзор

Арктический бассейн чрезвычайно богат различными природными ресурсами: согласно исследованию журнала Science от 2009 года в Арктике находится около 13% неразведанных мировых запасов нефти и 30% — природного газа, многочисленны месторождения дефицитных в России руд, а также многообразие биоресурсов [1].

Одним из таких биоресурсов являются водоросли. Морские бурые водоросли продуцируют большое количество различных химических соединений, обладающих выраженным биологическим и фармакологическим действием в отношении различных тканей, органов систем и функций животных организмов.

Выявлено, что в составе морских бурых водорослей находятся элементы, которые имеются в тканях и крови человека, а также в морской воде. Вследствие этого водоросли способны возмещать нехватку элементов и содействовать нормализации обмена веществ [2,С.1-2]. Препараты на основе

морских водорослей широко используются в лечебно-профилактической практике. Ниже перечислены некоторые из таких компонентов и их воздействие на организм.

Альгиновая кислота морских водорослей характеризуется способностью к восстановлению иммунной системы и увеличению устойчивости организма человека к инфекциям [2,С.3-4]. Биологически активные добавки, в составе которых имеются соли альгиновой кислоты, незаменимы при лечении желудочно-кишечных заболеваний [3,С.157].

Не менее интересны сульфатированные полисахариды, в состав которых входят фукоиданы. Фукоиданы проявляют чрезвычайно широкий спектр биологических активностей. Так, в литературе имеются сообщения о противоопухолевых [4], иммуномодулирующих [5], антибактериальных [6], антивирусных [7], противовоспалительных и других свойствах фукоиданов. Фукоидан является мощным природным антиоксидантом и защищает клетки от повреждения свободными радикалами.

В ходе одного исследования выявлено, что фукоидан из фукуса пузырчатого (*Fucus vesiculosus*) может предотвращать гибель холинергических нейронов при нейродегенеративных заболеваниях. Значит, сульфатированные полисахариды могут оказывать нейрозащитное действие [8].

Главной же особенностью клеток морских бурых водорослей является способность накапливать йод. Сырьем для промышленного получения йода в России служат нефтяные буровые воды, тогда как в зарубежных странах, не обладающих нефтяными месторождениями, используются морские водоросли, а также маточные растворы чилийской селитры, щёлок калийных и селитряных производств. Содержание йода, представленного в виде йодидов и йодатов, может достигать от 0,03% до 0,3% от сырой массы водорослей. В Арктическом бассейне содержание бурых водорослей составляет в среднем 8-10 кг биомассы на квадратный метр, что делает их достаточно доступным альтернативным источником йода.

Однако, прежде чем промышленно использовать водорослевое сырьё, следует установить количество йода в образцах данного сырья. Поэтому, наш проект направлен на определения наиболее точного и наименее времязатратного метода определения.

Материалы и методы исследования

1. Предмет исследования

Сравнение методик по результатам определения содержания йода и по следующим критериям: трудозатратность, времязатратность, используемое оборудование и реагенты.

2. Материал исследования

На побережье Баренцева моря наиболее распространенными являются бурые водоросли порядка фукусовые их запасы составляют 200-250 тысяч тонн.

Строение фукуса представлено многолетним слоевищем с неправильным или дисковидным креплением или с гаптерой. Прямая часть слоевища дихотомическая или субперисто-разветвленная, уплощенная, с четким срединным ребром. Газонаполненные пневматоцисты располагаются парами, по одному с каждой стороны срединного кольца у фукуса пузырчатого, на концах ветвей у фукуса двухрядного. Кроме вышеописанного ряда функций, типичных для большинства бурых водорослей, фукус идеален для изучения размножения, репродуктивной изоляции и генов видообразования, поскольку род состоит из двух линий, как с гермафродитным, так и с двудомным видом [10, С.1-48] (Приложение 1, Рис.1).

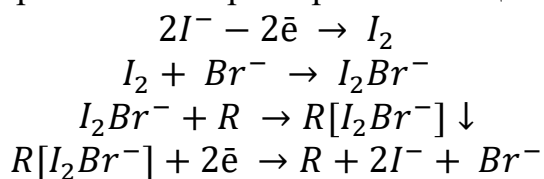
Материалом нашего исследования являлись фукус пузырчатый (*Fucus vesiculosus*) и фукус двухрядный (*Fucus distichus*), произрастающие на побережье Баренцева моря в районе Зубовки Печенгского района (фукус) весной и летом 2024 года. Данные образцы были высушены методом конвективной сушки в камерах при температуре воздуха (20 ± 1) °С, относительной влажности воздуха 35 %, скорости потока воздуха v 0,5-0,7 м/с и при температуре воздуха минус (5 ± 1) °С, относительной влажности 55%, скорости потока v 0,2-0,5 м/с. Образцы были собраны и высушены сотрудниками кафедры технологии пищевых производств Мурманского арктического университета (Приложение 1, Рис.2).

3. Объект исследования.

Объектом исследования выступил две методики определения йода в пищевой продукции:

Определение на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ВА»:

Анализ производился по аттестованной методике измерений №001-110-01 «Методика выполнения измерений массовой концентрации йода в пищевых продуктах, продовольственном сырье, пищевых и биологически-активных добавках на вольтамперометрическом анализаторе «Экотест-ва». Измерения массовой концентрации йода выполняют методом инверсионной постоянноточковой вольтамперометрии по 3-х электродной схеме. Принцип определения йода основан на электрохимическом окислении иодид-ионов до молекулярного йода, осаждении (в присутствии бромид-ионов и четвертичного аммонистого основания) малорастворимого комплексного соединения, включающего в свой состав молекулу йода, на поверхности рабочего углеродного электрода с последующим электрохимическим растворением осадка при линейной развертке потенциала:



Измеряя величину катодного тока, протекающего при растворении осадка, рассчитывают исходную концентрацию йода в растворе.

Анализ проводят по методу добавки градуировочного раствора иодид ионов (йодистого калия), которые в стехиометрическом соотношении электрохимически окисляются до молекул йода, концентрацию которого измеряют с использованием реакций 2 и 3. [9]

Минерализация. Навеску исследуемого вещества ($5,0 \pm 0,1$ г сухого вещества в зависимости от ожидаемых количеств йода) помещают в фарфоровый тигель, добавляют $5,0 \text{ см}^3$ бидистиллированной воды и $5,0 \text{ см}^3$ 1 М раствора гидроокиси калия. Далее содержимое тигля выпаривают на водяной бане досуха, высушивают в шкафу сначала при 100°C в течении часа, затем температуру повышают до 150°C - 200°C и оставляют тигель при этой температуре еще на час. После высушивания содержимое тигля накрывают крышкой, помещают в холодный муфель, закрывают дверцу и вентиляционное отверстие, чтобы исключить доступ воздуха извне, постепенно нагревают муфель до 600 в течении часа и проводят озоление при данной температуре 3 часа.

Пробоподготовка. После охлаждения тигля полученную золу переносят в центрифужную пробирку вместимостью $10,0 \text{ см}^3$, смывая её несколькими порциями воды объёмом $\sim 1,0$ - $1,5 \text{ см}^3$. Суспензию в центрифужной пробирке нейтрализуют до $\text{pH} = 4$ - 6 , добавляя по каплям концентрированную серную кислоту (ч.д.а.). Доводят уровень жидкости в пробирке до метки водой, получая конечный объем раствора равный $10,0 \text{ см}^3$. Проводят центрифугирование полученной суспензии в течении 20 мин при скорости 1500 об/мин.

Подготовка импрегнированного графитового электрода. Для проведения анализа поверхность рабочего электрода должна быть зачищена посредством полировки. Предварительная «грубая» полировка осуществляется с использованием наждачных бумаг маркировок P320, P600 и P1200 для устранения сколов и неровностей. Электрод следует расположить перпендикулярно плоскости смоченной бидистиллированной водой наждачной бумаги, затем аккуратно, но уверенно начать полировку электрода движением по форме «8»; нажим – постоянный и умеренный. Продолжать полировку о получения равномерной электродной поверхности, после чего перейти к рутинной полировкой. Рутинная полировка проводится между измерениями разных образцов, а также после грубой очистки. Выполняется тем же методом, что и грубая зачистка, только в последовательном ряду наждачной бумаги зернистости P3000 → P5000 → P7000. Между полировками следует промывать электрод бидистиллированной водой и высушивать фильтровальной бумагой. По окончанию всей очистки электрод также следует протереть этиловым спиртом.

Проведение измерений. В стеклянный стакан электрохимической ячейки последовательно вносят пипетками $0,5 \text{ см}^3$ раствора четвертичного аммониевого основания; $2,5 \text{ см}^3$ М раствора серной кислоты, $1,0 \text{ см}^3$ раствора бромистого калия, 21 см^3 бидистиллированной воды. Регистрируют вольтамперограмму полученного фонового раствора. Затем, в тот же стакан вносят пипеткой раствор пробы объёмом от $0,5$ до $2,0 \text{ см}^3$ (выбирается в

зависимости от концентрации йода в пробе). Регистрируют вольтамперограмму раствора с пробой. Наконец, в тот же стакан добавляют градуировочный раствор KI; объем и концентрацию добавки подбирают таким образом, чтобы после её внесения высота пика на вольтамперограмме увеличилась в 1,5–2 раза. Если нужной высоты пика не удалось достичь после первой добавки, вносят вторую добавку и снова регистрируют вольтамперограмму (Приложение 1, Рис.9).

Определение пиков и обработка результатов измерения. И выделение пиков, и расчет концентрации по ним автоматически проводится программой по формуле:

$$C_m = \frac{(S_x - S_\phi) \cdot C_d \cdot V_d}{(S - S_x) \cdot V + S \cdot V_d}$$

где S_x – площадь пика йода на вольтамперограмме анализируемого раствора пробы;

S_ϕ – площадь пика йода на вольтамперограмме фонового раствора;

S – площадь пика йода на вольтамперограмме анализируемого раствора пробы с добавкой градуировочного раствора йодистого калия;

C_d – концентрация иодид-ионов в градуировочном растворе йодистого калия, мг/дм³;

V – объем анализируемого раствора пробы в ячейке до внесения добавки, см³;

V_d – объем добавки градуировочного раствора йодистого калия, см³.

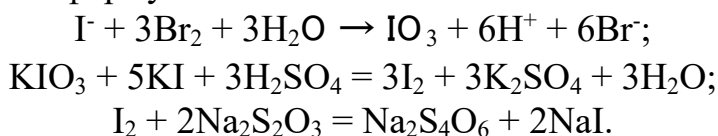
Определение титриметрическим методом:

Методика определения йода в водорослях, представленная в статье М. И. Крыловой 1963 г. [10], в которой по сравнению с методом, изложенным в методических указаниях МУК 4.1.1106 «Определение массовой доли йода в пищевых продуктах и сырье титриметрическим методом» [11], была уточнена масса навески исследуемого образца, необходимая для анализа водорослей, и незначительно изменен ход определения йода. *Минерализация.* Навеску исследуемого вещества (0,1–2 г сухого вещества в зависимости от ожидаемых количеств йода) помещают в фарфоровый тигель, добавляют небольшое количество бидистиллированной воды (до получения кашицеобразного состояния), 1 мл 2 н. раствора едкого калия, перемешивают и оставляют на сутки. Реакция должна быть щелочной (рН не ниже 8.0). Далее содержимое тигля выпаривают на водяной бане досуха, высушивают в шкафу сначала при 100 в течении 30 минут, затем температуру повышают до 160 и оставляют тигель при этой температуре еще на 30 минут. После высушивания содержимое тигля накрывают крышкой, помещают в холодный муфель, закрывают дверцу и вентиляционное отверстие, чтобы исключить доступ воздуха извне, постепенно нагревают муфель до 600 в течении часа и проводят озоление при данной температуре 3 часа.

После охлаждения тигля золу количественно переносят в мерную колбу емкостью 50 мл с помощью горячей бидистиллированной воды, охлаждают, доводят водой до метки колбы и хорошо перемешивают. Далее содержимое колбы центрифугируют, сливая прозрачный раствор в чистую сухую колбу с притертой пробкой. Полученный прозрачный раствор служит для определения в нем йода.

Определение йода. Две порции прозрачного раствора золы (по 10 мл) переносят в плоскодонные колбы емкостью по 50 мл с притертой пробкой, добавляют в каждую колбу по 2 капли концентрированной серной кислоты, перемешивают и проверяют реакцию среды с метилоранжем. Реакция раствора должна быть кислой. Далее в раствор добавляют 3 капли бромной воды, ставят на предварительно нагретую песчаную баню, нагревают до кипения и кипятят точно 5 минут, после чего быстро охлаждают. К охлажденному раствору добавляют 0,5 мл 5% раствора йодистого калия, 3 капли 0,5% раствора крахмала и титруют выделившийся йод 0,0005 н. раствором серноватистокислового натрия (тиосульфата натрия).

Измерение концентрации йода основано на окислении йодидов до йодатов в кислой среде бромной водой с восстановлением последних до свободного йода по формуле:



По количеству затраченного на титрование серноватистокислового натрия определяют содержание йода в навеске исследуемого продукта.

Одновременно с определением йода в исследуемом образце устанавливают титр тиосульфата. Для этого в колбочку емкостью 50 мл с притертой пробкой вносят 1 мл стандартного раствора йода концентрацией 100 мкг/мл, добавляют 10 мл бидистиллированной воды, 2 капли концентрированной серной кислоты, 3 капли бромной воды и далее поступают, как описано выше. Содержание йода в исследуемом образце в мг/кг вычисляют по следующей формуле:

$$x = \frac{a \times 50 \times 10 \times 100}{10 \times 6 \times v \times 1000} \times 10,$$

где:

а — количество 0,0005 н. раствора тиосульфата, пошедшее на титрование 10 мл раствора золы (в мл); 10 в числителе — количество йода, взятое для установки титра тиосульфата (в мг);

б — количество 0,0005 н. раствора тиосульфата, пошедшее на титрование 10 мг йода (в мл); в — навеска исследуемого образца, г. [10, С.49-50].

4. Оптимизация этапа озоления (минерализации, обжига) водорослей

Перед проведением измерений и сравнений методов нами был уточнен процесс озоления пробы.

В методиках изначально предлагается проводить обжиг в муфельной печи при 600°C в течении 3 часов. Отталкиваясь от этого, в своём

исследовании мы варьировали такие параметры процесса минерализации, как температуру (500 °С и 600 °С) и/или длительность (от 2-х до 5-ти часов в вариациях), и затем определяли концентрацию йода в образцах, минерализованных при выбранных параметрах. Функцией отклика служила максимальная концентрация йода (до момента снижения концентрации йода) в исследуемых образцах. Если йодосодержание в образце при больших температуре или длительности не изменялось, выбирался более экономически выгодный вариант.

Обжиг производился с помощью муфельной печи ТРМ251 (Приложение 1, Рис.3).

Результаты и обсуждения

Проведенные исследования по оптимизации озоления показали, что результат определения содержания йода в фукусе нарастает с увеличением температуры и длительности обжига (до 500°С в течении 4 часов), после чего лишь незначительно увеличивается в течении следующего часа, далее наблюдается снижение содержания йода в образцах. Следовательно, оптимальным вариантом является обжиг при 500°С в течение 4-х часов, так как дальнейшее озоление показало незначительное повышение определяемого йода с последующим его снижением. (Приложение 1, Рис. 5).

По усовершенствованным методикам нами были проведены исследования образцов фукуса двухрядного и фукуса пузырчатого при разной температуре конвективной сушки, а также контрольных образцов (сырья).

Титрованием были получены следующие результаты: содержание йода в фукусе пузырчатом равно 123.61 мг/кг, в фукусе двухрядном – 135.8 мг/кг. При сушке фукуса пузырчатого потери йода практически не зависели от температуры и составили 50% от его первоначального содержания в сырье. При сушке фукуса двухрядного потеря йода равняется 60% при сушке при минус 5°С и 70% при сушке при 20°С. (Приложение 1, Рис. 7)

По приборной методике, в сыром образце двухрядного фукуса содержание йода составляет 147 мг/кг; при сушке при температуре (20±1) °С потери йода составили 65%, при сушке при температуре минус (5±1) °С соответственно 60%. В сыром образце пузырчатого фукуса содержание йода чуть меньше – 106 мг/кг, а потери при сушке – 60% при $t^{\circ} = (20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ и 50% при минус (5±1) °С. (Приложение 1, Рис. 6)

Сравнивая результат, полученный на Экотест-ВА Йод, с результатами титрования (Приложение 1, Рис. 4) можно заметить, что проценты потери йода относительно одинаковы с разницей в ~5-10% при температуре сушки (20±1) °С: для двухрядного фукуса это 65% и 70%. для пузырчатого – 60% и 50% соответственно. Процент потери при сушке минус (5±1) °С идентичны в обоих методах – 60% для двухрядного и 50% для пузырчатого фукуса. Однако стоит отметить, что при практически одинаковых процентных соотношениях, численные значения разнятся: на Экотест-ВА значения йодосодержания в фукусе двухрядном после сушки были на 5-15 мг/кг выше, чем методом

Крыловой; йодосодержание в фукусе пузырчатом наоборот было на Экотест-ВА ниже. (Приложение 1, Рис. 8)

Сравнивая более субъективные признаки как время и трудозатраты, проведение обоих методов затрачивает примерно равное количество времени при исследовании одного образца, однако, когда образцов больше одного, быстрее становится анализ титриметрией. Экотест-ВА не требует постоянного вовлечения сотрудника в процесс определения (Приложение 1, Табл. 1)

Выводы

1. Установлено, что оптимальная программа обжига при минерализации фукуса пузырчатого и фукуса двухрядного составляет 500 °С в течении 4-х часов
2. Определено содержание йода титрованием: 135,8 мг/кг в фукусе двухрядном, 123,61 мг/кг в фукусе пузырчатом и на Экотест-ВА йод: 147,1 мг/кг в фукусе двухрядном, 106,1 мг/кг в фукусе пузырчатом.
3. При высушивании водорослей наблюдаются значительные потери йода. В исследованных условиях сушки водорослей оптимальными параметрами высушивания и для пузырчатого, и для двухрядного фукусов является конвективная сушка при минус $(5\pm 1)^\circ\text{C}$, так как потеря йода при данной температуре на 5-10% ниже, чем при высушивании при $(20\pm 1)^\circ\text{C}$.
4. Сравнение результатов обоих методов показало равные йодопотери при температуре сушки минус $(5\pm 1)^\circ\text{C}$ и близкие значения (разница в 5~10%) при высушивании при $(20\pm 1)^\circ\text{C}$.

Заключение

Нами были изучены и отработаны приборная и титриметрическая методики определения йода в водорослях, оптимизирован процесс пробоподготовки озолением, определено содержание йода в бурых водорослях в сырье и в образцах, высушенных различным способом конвективной сушки при разных температурах. При конвективной сушке водорослей значительная часть йода теряется. Наибольшие потери йода (до 60-65 %) отмечены при сушке фукусов методом конвективного обезвоживания при температуре $(20\pm 1)^\circ\text{C}$, наименьшие (50%) – при температуре минус $(5\pm 1)^\circ\text{C}$.

Было проведено сравнение результатов определения содержания йода обоими методами (приборным на Экотест-ВА и титрованием по Крыловой). Так, процентные результаты были примерно равны на протяжении всего исследования, с незначительными расхождениями при сушке касательно численных значений, что может быть связано с более высокой чувствительностью рабочего электрода на химический состав определенных видов водорослей или с более активным высушиванием двухрядного фукуса из-за отличного от пузырчатого фукуса строения.

Благодарность

Выражаем благодарность сотрудникам кафедры технологий пищевых производств Мурманского арктического университета в лице к. т. н., вед. науч. сотр. Курановой Людмилы Казимировны и к. т. н., ст. науч. сотр. Ершова Михаила Александровича за идею и предоставленный прибор Экотест-ВА и образцы бурых водорослей.

Список литературы

1. Арктический газ достанется России – Газета Коммерсантъ № 96 (4151) от 30.05.2009 (kommersant.ru) или Природные ресурсы Арктики. Справка - РИА Новости, 09.04.2010 (ria.ru).
2. Семенова, Е. В. Использование морских водорослей в медицине и фармации / Е. В. Семенова, А. С. Билименко, В. В. Чеботок // Современные проблемы науки и образования. – 2019. – № 5. – С. 118.
3. Подкорытова Антонина Владимировна, Рощина Анна Николаевна **МОРСКИЕ БУРЫЕ ВОДОРΟΣЛИ - ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ИСТОЧНИК БАВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО, ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО И ПИЩЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ** // Труды ВНИРО. 2021. №2
4. Ellouali, M., Boisson-Vidal, C., Durand, P., Jozefonvicz, J., Antitumor activity of low molecular weight fucans extracted from brown seaweed *Ascophyllum nodosum*. *Anticancer Res.*1993, 13, 2011—2019.
5. Zapozhets, T.S., Besednova, N.N., Loenko, I.N., Antibacterial and immunomodulating activity of fucoidan. *Antibiot. Khimioter.* 1995, 40, 9-13.
6. Shibata, H., Kimura T., I., Nagaoka, M., Hashimoto, S. et al., Inhibitory effect of *Cladosiphon* fucoidan on the adhesion of *Helicobacter pylori* to human gastric cells. *J. Nutr. Sci. Vitaminol. (Tokyo)* 1999, 45, 325—336.
7. Adhikari, U., Mateu, C.G., Chattopadhyay, K., Pujol, C.A. et al., Structure and antiviral activity of sulfated fucans from *Stoechospermum marginatum*. *Phytochemistry*, 2006, 67, 2474—2482.
8. Беседнова Н.Н., Сомова Л.М., Гуляев С.А., Запорожец Т.С. Нейропротективные эффекты сульфатированных полисахаридов из морских водорослей // Вестник Российской академии медицинских наук. 2013. № 5. С. 52-59.
9. Методика выполнения измерений массовой концентрации йода в пищевых продуктах, продовольственном сырье, пищевых и биологически-активных добавках на вольтамперометрическом анализаторе “Экотест-ВА” // аттестованная методика измерений №001-110-01, 2016.
10. М.И. Крылова **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЙОДА В МОРСКОЙ КАПУСТЕ И КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЯХ, СОДЕРЖАЩИХ МОРСКУЮ КАПУСТУ** // Гигиена и санитария. 1963. №1.
11. Методические указания МУК 4.1.1106-02 «Определение массовой доли йода в пищевых продуктах и сырье титриметрическим методом», утв. РФ 14 февраля 2002 г.

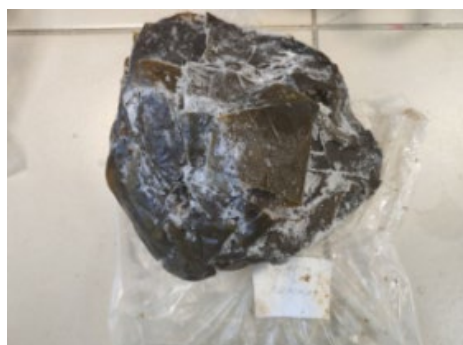


Fucus vesiculosus



Fucus distichus

Рис.1. Фукус пузырчатый (*Fucus vesiculosus*) и фукус двурядный (*Fucus distichus*)



Фукус двурядный (сырье)



Фукус пузырчатый (сырье)



Фукус двурядный (сушка при + 20 °С)



Фукус (сушка при + 20 °С)



Фукус двурядный (сушка при - 5 °С)



Фукус (сушка при - 5 °С)

Рис.2. Объекты исследования



Рис.3. Муфельная печь TRM 251



Рис.4. Определения содержания йода в исследуемых образцах с помощью «Экотест ВА Йод». Ход работы.

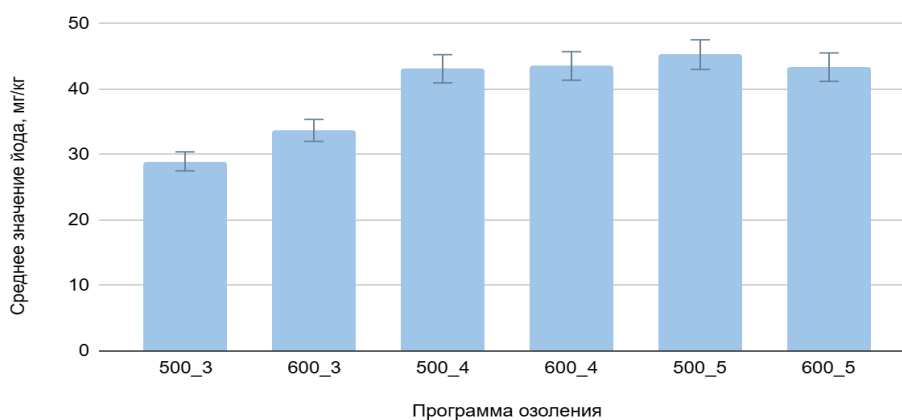


Рис.5. Содержание йода в фукусе пузырьчатом при разных параметрах (программах) озоления

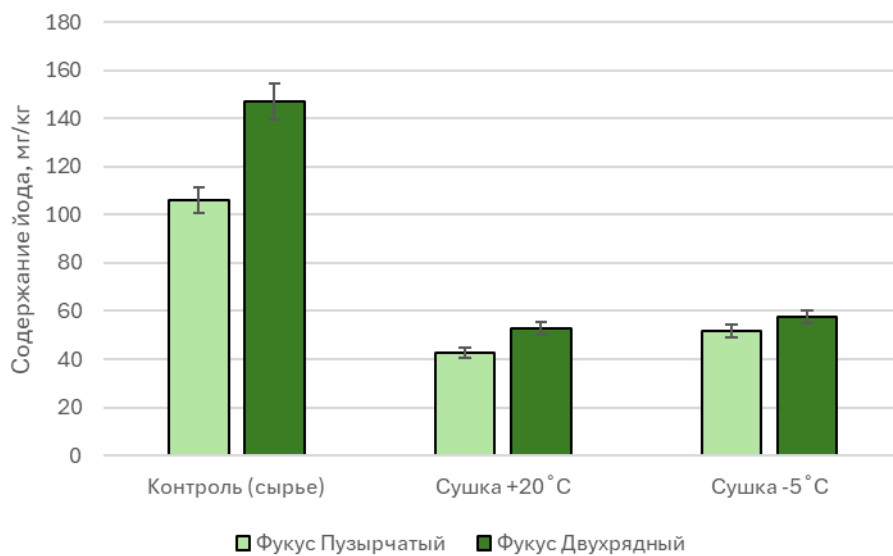


Рис.6. Содержание йода в бурых водорослях при разных условиях сушки (на Экотест-ВА Йод)

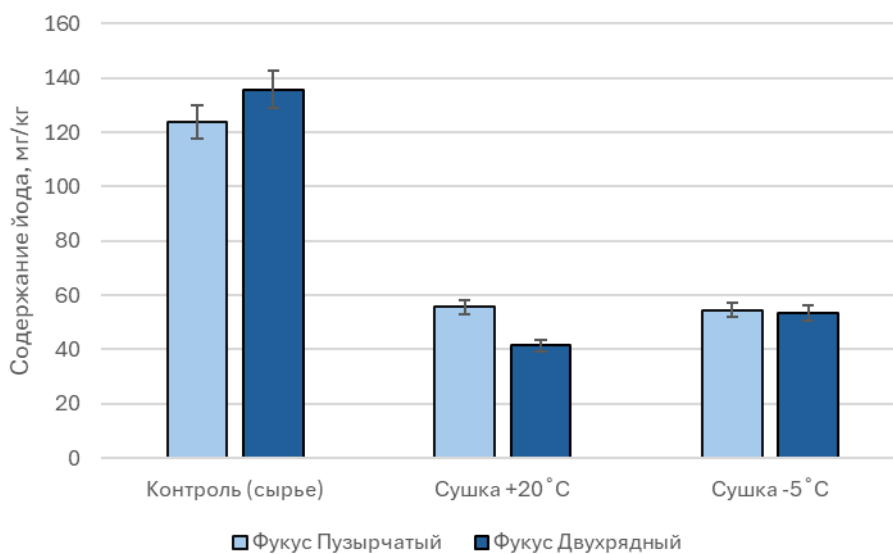


Рис.7. Содержание йода в бурых водорослях при разных условиях сушки (Титрованием по Крыловой)

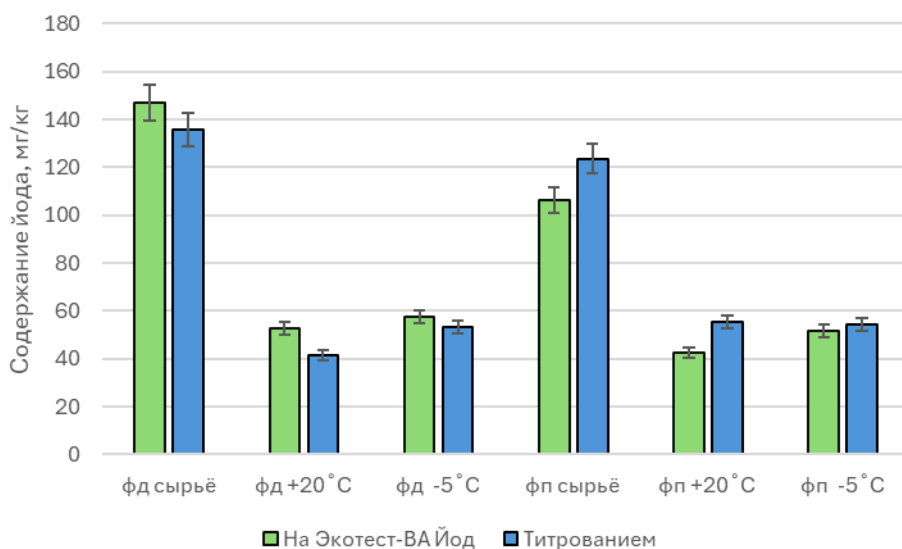


Рис.8. Сравнение результатов содержания йода в бурых водорослях при разных условиях сушки обоим методам

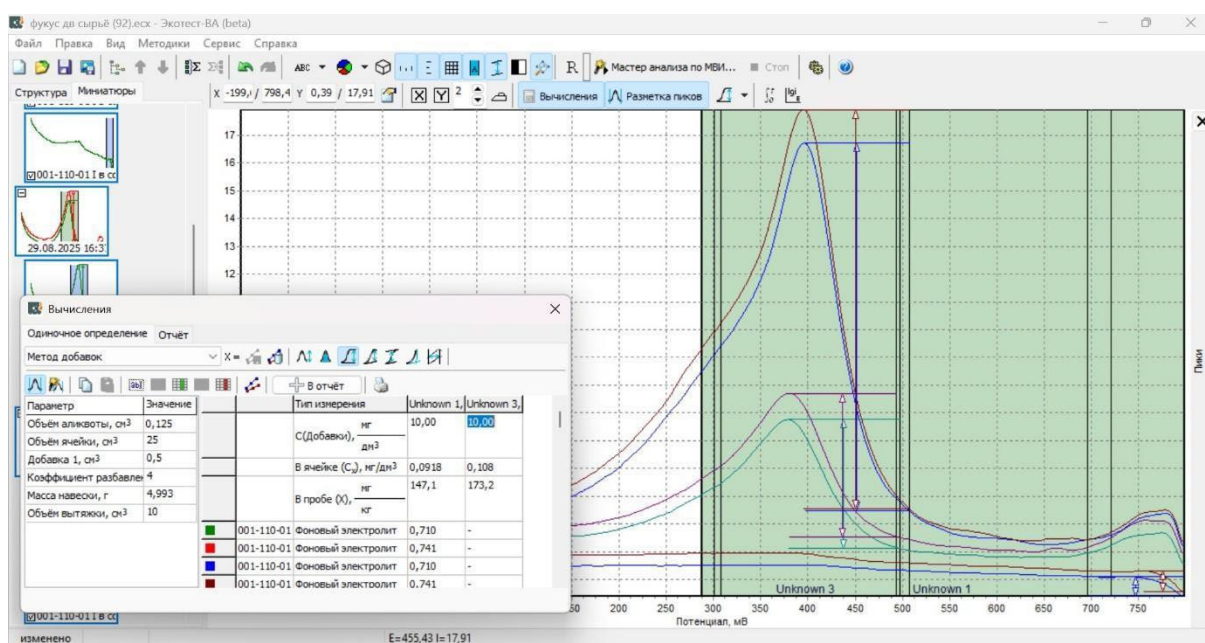


Рис.9. Характерный вид вольтамперограммы «Экотест ВА Йод» (фукус двурядный, сырьё)

Табл. 1. Сводная таблица сравнения других характеристик методов

Критерий	Титрование	Экотест-ВА
Времязатраты на одно определение	<i>~ 2 часа</i>	<i>~ 1,5 час</i>
Времязатраты на несколько параллельных определений	<i>+ 15 мин. за каждый доп. образец</i>	<i>+ 1 час за каждый доп. образец</i>
Трудозатраты (вовлечение в работу)	<i>Требует вовлечение человека на каждом этапе работы</i>	<i>Требует вовлечение на этапе зачистки (~30 мин за образец) и контроль каждые 10 мин во время работы прибора.</i>
Расходуемые реагенты и др. доп. оборудование	<i>Серная к-та конц., бромная вода, 5% р-р йодистого калия, 0,5% р-р крахмала, 0,0005 н. р-р тиосульфата натрия, р-р йода концентрацией 100 мкг/мл.</i>	<i>Углеродный электрод, Серная к-та конц., серная кислота 1М р-р, ЧАО насыщ. р-р, бромид калия 0,1М р-р, р-р иодида калия концентрацией 100 мг/л</i>