

# Декстрановые, левановые и леваноподобные слизи в сахароварении

**В.А. СОТНИКОВ**, д-р техн. наук, ген. директор (e-mail: swa862@mail.ru)

Предприятие «ПромАсептика»

**V. WILD**, менеджер (e-mail: vwild@stern-wywiol-gruppe.de)

**U. MOISCH**, технолог SternEnzym GmbH&Co.KG, Germany

**Т.В. РУДИЧ**, зам. директора департамента коммерции и логистики

ООО «НПП «Макромер» им. В.С. Лебедева» (e-mail: commers@macromer.ru)

## Введение

Слизистое поражение на предприятиях сахарной отрасли – довольно частое явление, обусловленное жизнедеятельностью многочисленного класса слизеобразующих микроорганизмов. Среди многих исследователей и технологов бытует мнение, что основной и единственной слизистой субстанцией, которая создаёт технологические проблемы на предприятии, является декстран. Но это не так. Кроме декстрана в технологических потоках могут обнаруживаться такие слизистые полисахариды, как леван и леваноподобные слизи.

Декстран (рис. 1а) – продукт жизнедеятельности *Leuconostok mesenteroides* и *Leuconostok dextranicum* – является полисахаридом с сильно разветвлённой структурой и молекулярной

массой, превышающей 1 млн. Молекулы построены из остатков D-глюкозы с преобладанием  $\alpha(1\rightarrow6)$ - и  $\alpha(1\rightarrow3)$ -гликозидных связей.

Леван (рис. 1б) также является полисахаридом, но состоящий из D-фруктофуранозных остатков, соединённых  $\beta(2\rightarrow6)$ - и  $\alpha(2\rightarrow6)$ -гликозидными связями. Его молекулярная масса приближается к молекулярной массе декстрана. Леван является продуктом жизнедеятельности спорообразующих аэробных микроорганизмов из рода *Bacillus* и *Clostridium*, которые в большом количестве обнаруживаются в плохо отмытой, подгнившей и замороженной свёкле. Оптимальная температура их развития 35–40 °С, но они могут хорошо развиваться при 50–60 °С.

Леваноподобные слизи по химической структуре очень схожи с ле-

ваном, но в отличие от последнего полисахаридные цепочки связаны между собой фосфорными связями. Леваноподобные слизи представляют собой основу слизистых выделений свёклы, поражённой слизистым бактериозом – наиболее опасной и распространённой формой кагатной гнили, где мажорными микроорганизмами являются бактерии, относящиеся к кишечной группе (род *Erwinia*). Независимо от того, что все эти слизистые субстанции по химической структуре различны, вред, который они наносят технологическому процессу, является однотипным.

Декстраны, леваны и леваноподобные слизи практически не удаляются в процессах дефекокасации и поэтому они:

- снижают чистоту диффузионного и очищенных соков за счёт повышения в них количества белка и солей кальция;
- повышают цветность очищенных соков;
- повышают вязкость сахарных растворов, заклеивая поры фильтровальных тканей;
- затрудняют фильтрование за счёт снижения скорости образования зародышей карбоната кальция и формирования его мелкозернистого осадка;
- снижают скорость кристаллизации сахарозы при уваривании utfелей;

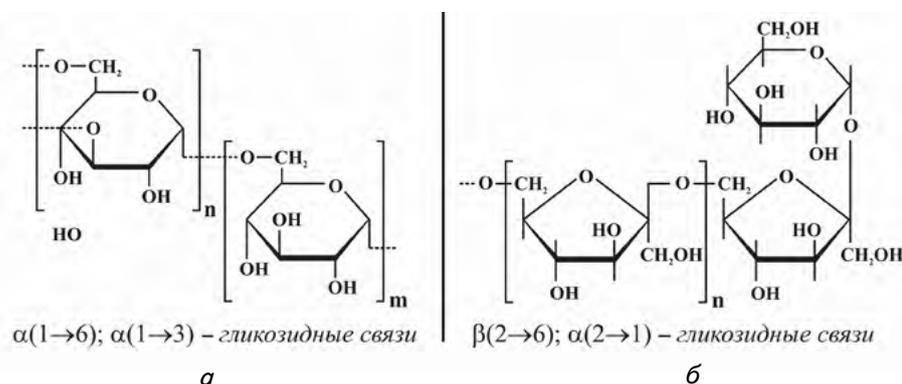


Рис. 1. Химическое строение слизистых полисахаридов: а – декстран (полимер D-глюкопиранозы); б – леван (полимер D-фруктофуранозы)

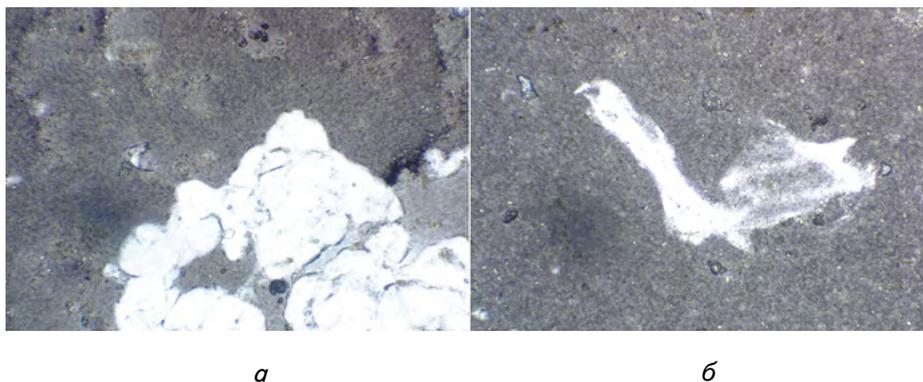


Рис. 2. Препараты: а – декстран; б – леван



Рис. 3. Реакция агглютинации манноглюканового комплекса

- затрудняют фуговку;
- влияют на форму кристаллов сахара;
- снижают потребительские свойства сахара, обуславливая помутнение сахарных водно-спиртовых растворов в производстве ликёрово-водочной продукции;
- требуют повышенных трудозатрат на очистку технологического оборудования.

В последнее время с целью уничтожения этих слизей на предприятиях отрасли начали использовать ферментный препарат «Декстраназа» под различными торговыми марками («Defonase», «Декстраназа 2F» и т. п.). Однако долгосрочная практика применения этих декстраназ (с 2006 г. и по сей день) показала либо их низкую эффективность, либо полное отсутствие технико-экономического эффекта. На наш взгляд, причиной этих неудач является использование только единственно декстраназ, нацеленных исключительно на разрушение декстрана, пренебрегая фактом присутствия других слизистых субстанций, с которыми также следует бороться.

Ещё А.Р. Сапронов [2] обращал внимание технологов на возможное присутствие левана в сахаросодержащих потоках. Другие авторы [1] подметили, что в подмороженной, а затем оттаявшей свёкле резко увеличивается кон-

центрация полисахаридов бактериального происхождения. При этом концентрация левана значительно превышает концентрацию декстрана. В соке из здоровой свёклы длительного хранения содержание полисахаридов не увеличивается.

#### **Биохимический и микробиологический мониторинг сахарных заводов Российской Федерации**

В целях выяснения качественного и количественного состава слизистых субстанций нами в период сезонов 2016–2018 гг. проводился биохимический и микробиологический мониторинг сахарных заводов Российской Федерации.

Слизистые включения в сахарных потоках оценивались методом прямого микрофотографирования [3]. По этому методу декстран в присутствии красителя «Блек 0» визуализируется в виде плотных интенсивно белых включений, напоминающих «кучевые облачка» (рис. 2а). Леван также ассоциируется с «облачками», но оптическая плотность этих «облачков» менее интенсивная и их структура больше напоминает «перистые облачка» (рис. 2б).

Так как визуализация «кучевых и перистых облачков» может вызвать у технолога затруднения в интерпретации характера слизи, мы применили иной, менее

субъективный метод анализа. Этот метод дифференциальной диагностики основан на способности декстрана, в отличие от левана и леваноподобных слизей, давать положительную реакцию агглютинации (осаждения) суспензии фракции манноглюканового комплекса (МГК) (рис. 3). На фрагменте 3а представлена стабильная водная взвесь исходной (контрольной) суспензии МГК. При добавлении в эту суспензию дифсока, поражённого декстрановой слизью, наблюдается видимое осаждение суспензии МГК (фрагмент 3б). При добавлении в МГК левана реакции осаждения не наблюдалась (фрагмент 3в).

Результаты мониторинга (рис. 4) выявили взаимосвязь между географическим расположением сахарных предприятий и составом слизистых субстанций, обнаруженных в технологических потоках на этих предприятиях.

Так, химический состав слизистых субстанций на заводах, зонально расположенных в южных и юго-западных регионах России, представлен на 71 % декстраном и на 25 % леваноподобными слизями. При этом истинный леван на этих заводах практически не

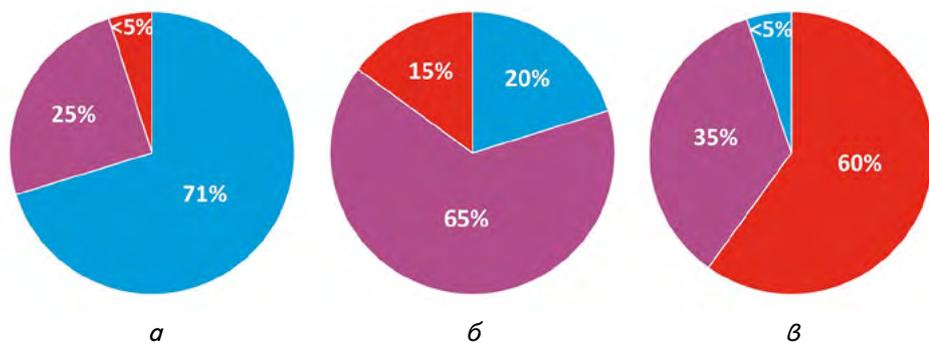


Рис. 4. Взаимосвязь между географическим расположением сахарных предприятий и составом слизистых субстанций: а – южные и юго-западные регионы; б – западные регионы; в – северо-западные и восточные регионы (■ – декстран; ■ – леван; ■ – леваноподобные слизи)

встречался. По мере передвижения в западном направлении доля декстрана в слизях снижается до 20 % с возрастанием доли левана и леваноподобных субстанций. На заводах, расположенных на северо-западных и восточных направлениях, случаи декстранового поражения редки (менее 5 %), а в состав слизей входит преимущественно леван. Причём было замечено, что леваноподобные субстанции встречаются на предприятиях, перерабатывающих свёклу, поражённую слизистым бактериозом, а левановая инфекция заводится чаще там, где свёкла прошла многократные эпизоды замораживания-оттаивания, или в случае, если была сильно загрязнена и плохо отмыта.

Выявленная картина биохимического разнообразия слизистых субстанций побудила нас разработать технологические вспомогательные средства универсального действия, которые могли бы одинаково успешно гидролизовать (разрушать) как декстран, так и леван с леваноподобными слизями.

На основании проведённых научно-исследовательских работ предприятием «ПромАсептика» были созданы мультиэнзимные ферменто-антисептирующие препараты и налажено их производство.

Приведём краткую характеристику компонентов, входящих в состав этих препаратов (табл. 1).

«Декстраназа» (производство SternEnzym, Germany) – ферментный препарат, катализирующий процесс гидролиза декстрана путём разрыва α(1-6)- и α(1-3)-гликозидных связей. Отличительной особенностью декстраназы является её высокая активность и способность функционировать в широком диапазоне рН со смещением в щелочную зону (5,7–8,8 ед. рН), что выгодно отличает её от аналогов других производителей.

«Леваназа» – новейший ферментный препарат, не имеющий аналогов в мире, является продуктом совместного производства SternEnzym и российского предприятия «ПромАсептика». Леваназа катализирует процессы гидролиза по β(2-6)- и α(2-1)-гликозидным связям левана и ле-

ваноподобных полисахаридов, что в конечном счёте приводит к их разрушению.

«Фитаза» (производство SternEnzym, Germany) – термоустойчивый (выдерживает даже кипячение) ферментный препарат, гидролизующий кальциевые комплексы фитиновой кислоты, или фитаты. Фитаты – это природные соединения фосфора, входящие в состав леваноподобных полисахаридов, что делает их устойчивыми к воздействию леваназ. «Фитаза», разрушая фитаты, делает более доступной полисахаридные цепочки левана к атакующему действию леваназы, что в четыре раза повышает эффект разрушения леваноподобных слизей.

С целью демонстрации эффекта разрушения слизей препаратом «Дефеказа» нами была проведена серия экспериментов, где моделировались процессы дефекозазации диффузионного сока, поражённого теми или иными слизистыми полисахаридами.

Диффузионный сок получали из здоровой свёклы и инфицировали его соответствующими чистыми или накопительными культурами *Leuconostoc*, *Vacillus* и *Erwinia* с целью принудительного накопления в соке декстрана, левана и леваноподобных слизей. В ослизленный диффузионный сок вносили препарат «Дефеказа» и выдерживали при температуре 45 °С в течение 10 минут. Контролем служил диффузионный сок здоровой свёклы. Далее проводили процесс основной дефекации и внесения суспензии I сатурации) с последующим процессом сатурации. Дефекозазированный сок фильтровали на бу-

Таблица 1. Состав ферменто-антисептирующих препаратов «Дефеказа» и «Фильтраза»

Наименование препарата	Наименование компонентов и их содержание, %		
	«Декстраназа»	«Леваназа»	«Фитаза»
«Дефеказа»	20	60	10
«Фильтраза»	15	45	40

мажном фильтре с определением скорости его фильтрования. Как показали эксперименты (рис. 5), все слизистые субстанции ухудшали скорость фильтрации сока в среднем в три раза. Внесение в диффузионный сок препарата «Дефеказа» практически нивелировало это отрицательное явление, и скорость фильтрования была практически соизмерима со скоростью фильтрации сока здоровой свёклы.

В экспериментах с препаратом «Фильтраза» мы также оценивали скорость фильтрования суспензии, но в модельных экспериментах использовали нативную суспензию I сатурации, отобранную с предприятия, перерабатывающего к концу сезона дефектную свёклу, сильно поражённую леваном и леваноподобными слизями.

Препарат «Фильтраза» вносили в горячую (85 °С) нативную суспензию с рН 11,4–11,6. Контролем служила та же нативная суспензия, но без добавления «Фильтразы». Скорость фильтрования нативной суспензии была критически низкой, и при отъёме 20 % отфильтрованного сока процесс фильтрования практически остановился (см. рис. 5). Внесение препарата «Фильтраза» в нативную суспензию мгновенно её разжижило, и скорость фильтрования увеличилась в семь раз.

**Технология совместного применения ферменто-антисептирующих препаратов «Декстрасепт 1» и «Дефеказа»**

Универсальные препараты «Декстрасепт 1» и «Дефеказа» рекомендованы к применению в случаях инфицирования предприятия бактериями, образующими все виды слизи (декстран, леван и леваноподобные слизи).

Целесообразность совместного применения антисептирующего препарата «Декстрасепт 1» и фер-

менто-антисептирующего препарата «Дефеказа» продиктовано необходимостью одновременного уничтожения слизиобразующей микрофлоры и растворения слизей, которые продуцируются этой микрофлорой. Ранее нами был доказан синергический эффект от совместного воздействия этих двух препаратов, когда препарат «Дефеказа», растворяя слизи, усиливает антисептирующие свойства препарата «Декстрасепт 1», а он, в свою очередь, уничтожая бактерии, надёжно предотвращает образование слизи [4].

В табл. 2 указаны нормы расхода препаратов в зависимости от степени инфицированности слизистыми бактериями.

Оценить эти степени инфицированности технолог может по трём критериям:

– на сколько снижается величина рН в диффузионном соке по срав-

нению с величиной рН в нормальном соке свёклы. Однако следует помнить, что снижение рН наблюдается только в случаях инфицирования предприятия молочнокислыми микроорганизмами, слизистым бактериозом и левановой инфекцией. Если предприятие инфицировано лейконостоковой инфекцией, то рН, как правило, резко не снижается;

– в каком количестве обнаруживаются «облачка» слизи в осадке, взятом из преддефекатора. На рис. 6 (а–д) представлены типичные картины микроскопирования осадков, поражённых слизями в различных степенях инфицирования;

– наблюдаются ли нарушения в процессах сокоочистки. По мере нарастания степени инфицированности слизями скорость фильтрования сока I сатурации снижается. Начиная со II степени может

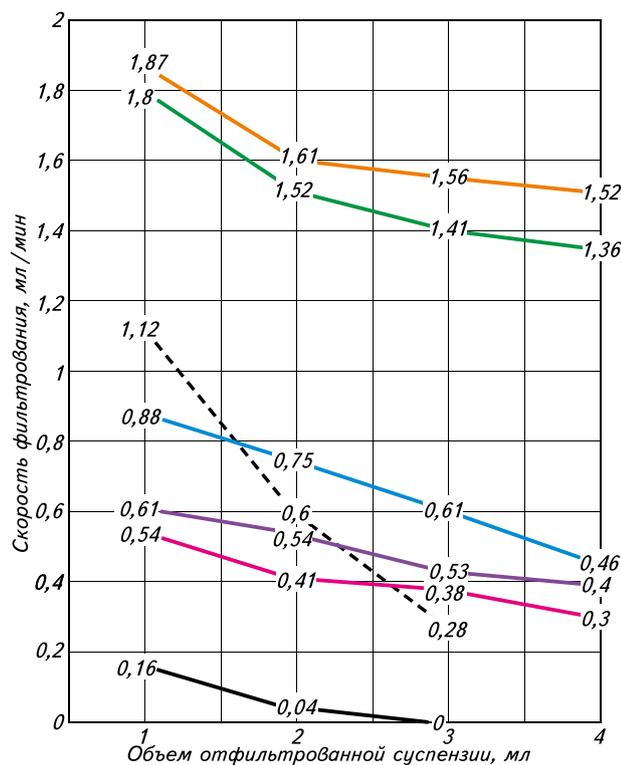


Рис. 5. Скорость фильтрования суспензии в зависимости от её объёма: — контроль; — леван; — дефеказа; — леваноподобные слизи; — декстран; — суспензия нативная; - - - - фильтраза

снижаться скорость фильтрования осадка II сатурации. Сок в преддефекторе может приобретать оранжевый цвет, доброкачественность очищенного сока снижается, возрастает цветность сока.

**Технологические точки внесения ферменто-антисептирующих препаратов**

*Препарат «Декстрасепт 1»*

Основное место внесения препарата – диффузионные аппараты. Препарат «Декстрасепт 1» вносят в растворённом состоянии непрерывно.

Для наклонного дифаппарата: в III зону.

Для колонного дифаппарата оптимальным местом внесения является срединная часть колонны. В отсутствие этой точки ввода препарат вносят либо в линию подачи сокоотружечной смеси из ошпаривателя в колонну, либо в верхнюю часть колонны с потоком жомопрессовой воды.

Для роторных дифаппаратов: раствор препарата вносят в линию

**Таблица 2. Нормы расхода ферменто-антисептирующих препаратов «Декстрасепт 1» и «Дефеказа» в зависимости от степени инфицированности слизями**

Степень инфицированности слизями	Δ рН диффузионного сока	Микроскопия осадка из преддефектора	Нарушения в технологии очистки сока	Нормы внесения препарата, кг/1000 т свёклы в сутки	
				«Декстрасепт 1»	«Дефеказа»
0	0,2	Рис. 6а	Нарушений нет	0,25–0,35*	–
I	0,6	Рис. 6б	Эпизодическое и незначительное снижение скорости фильтрования	0,5–0,6	0,1–0,25
II	0,8	Рис. 6в	Постоянное снижение производительности фильтров на 20–30 %	0,7–0,8	0,4–0,6
III	1,0	Рис. 6г	Снижение производительности фильтров на 50 % и ниже	0,9–1,2	0,8–1,0
IV	Свыше 1,0	Рис. 6д	Резкое снижение скорости фильтрования вплоть до полной остановки фильтров	1,3–1,5	1,2–2,0

**Примечание:** \* – профилактическая доза, рекомендуемая в случаях, если лейконостомом и слизистым бактериозом заражена свёкла, но не затронут завод.

подачи питательной или жомопрессовой воды либо в ошпариватель.

В случаях сильного инфицирования (III и IV степени) препарат «Декстрасепт 1» вносят в технологические потоки дробно, т. е. методом «шокового» антисептирования, при закисании:

- дифсока в аппарате: в III зону дифаппарата;
- дифсока в сборнике: в пульповолушку сборника дифсока;
- жомопрессовой воды: в пульповолушку ЖПВ.

*Препарат «Дефеказа»*

Выбор точки ввода раствора препарата «Дефеказа» зависит от



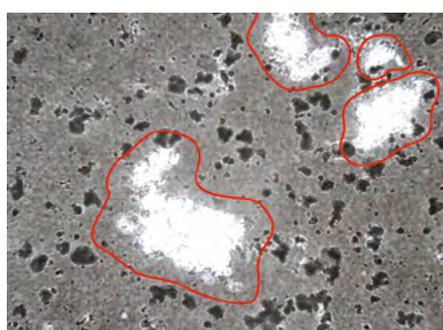
а



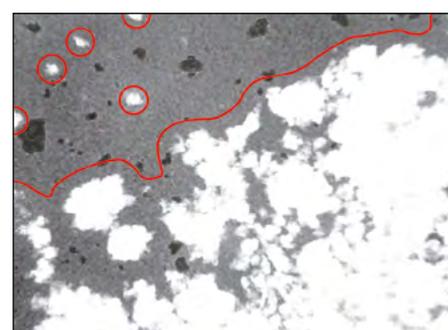
б



в



г



д

Рис. 6. Степени инфицирования корнеплодов: а – нулевая; б – первая (I); в – вторая (II); г – третья (III); д – четвёртая (IV)

**Таблица 3. Техничко-экономические показатели промышленных испытаний препаратов «Декстрасепт 1», «Дефеказа» и «Фильтраза».**

Показатели	До применения препаратов	После применения препаратов
Степень инфицированности слизями	II–III	0
Суммарное содержание слизей в диффузионном соке, мг/кг сока	400–7000	20–95
pH диффузионного сока, ед.	4,9–5,5	5,6–6,1
Содержание СВ в жоме, %	23,0 – 23,4	24,0–24,5
Скорость седиментации осадка суспензии, S <sub>5</sub> см/5 минут	18	10
Вовлечённость парка фильтрационных установок в работу, %	100	70–90
Внеплановая очистка фильтров	Проводилась	Не проводилась
Выход сахара, % от массы свёклы (III степень инфицирования)	9,5	12,5

степени инфицированности слизями:

– при I и II степени инфицированности слизями следует вносить либо на стружку, либо непосредственно на свеклорезку, либо в I зону дифаппарата;

– при III и IV степени препарат дополнительно вносится в пульполовушку дифсока.

Рекомендуется готовить раствор препарата «Дефеказа» из расчёта 1 кг препарата на 10 л (не менее) воды.

#### **Технология применения препарата «Фильтраза»**

Препарат «Фильтраза» используется в случаях сильного инфицирования слизями (III и IV степени), когда процесс фильтрования сильно замедлился или полностью прекратился.

С целью восстановления функционирования фильтрационных установок препарат без предварительного растворения в воде вносят непосредственно в сборник нефильтрованного сока I или II сатурации. Разовая норма расхода препарата – 0,4–0,5 л на сборник нефильтрованного сока. Препарат «Фильтраза» подают каждые

20–30 минут в ёмкость нефильтрованного сока до тех пор, пока не восстановится нормальный режим работы фильтра. Как правило, бывает достаточно одно-, двух- или трёхкратного введения препарата.

Препарат «Фильтраза» может быть использован для интенсификации процесса фильтрования сиропов с повышенной вязкостью.

В табл. 3 представлены усреднённые технико-экономические показатели промышленных испытаний (сезон 2016–2018 г.) препаратов «Декстрасепт 1», «Дефеказа» и «Фильтраза».

#### **Выводы**

Многообразие слизиобразующей микрофлоры в процессах сахароварения предопределило необходимость создания мультиэнзимных и антисептирующих композиций и обусловило их совместную синергическую эффективность в устранении не только бактериального начала, но и выделяемых ими слизей. Применение технологических средств «Декстрасепт 1», «Дефеказа» и «Фильтраза» позволило улучшить технологическое качество сахаросодержащих потоков и стабилизировать работу экстракционного и очистительного отделений сахарных заводов.

#### **Список литературы**

1. Захаров, К.П. О полисахаридах диффузионного сока / К.П. Захаров [и др.] // Сахарная промышленность. – 1980. – № 11. – С. 27–29.

2. Сапронов, А.Р. Технология сахарного производства / А.Р. Сапронов. – М. : Колос, 1999. – 494 с.

3. Сотников, В.А. Сезон 2016 года: слизистый бактериоз / В.А. Сотников, А.В. Сотников, V. Wild, U. Moisch // Сахар. – 2017. – № 3. – С. 2–7.

4. Сотников, В.А. Особенности переработки сахарной свёклы / В.А. Сотников, Т.Р. Мустафин // Сахар. – 2017. – № 12. – С. 26–29.

**Аннотация.** В статье представлены данные о многообразии слизистых субстанций, которые обнаруживаются на сахарных предприятиях вследствие их бактериологического поражения. С целью борьбы со слизиобразованием предлагаются комплексные ферменто-антисептирующие вспомогательные препараты «Декстрасепт 1», «Дефеказа» и «Фильтраза», которые позволяют улучшить технологическое качество сахаросодержащих потоков и стабилизировать работу экстракционного и очистительного отделений сахарных заводов.

**Ключевые слова:** слизистые полисахариды, декстран, леван, леваноподобные слизи, скорость фильтрования, ферменты, антисептирующие препараты.

**Summary.** The article presents data on the diversity of mucous substances that are found in sugar factories as a result of their bacteriological damage. In order to combat mucus formation, complex enzyme-antiseptic technological auxiliary products «Dextrasept 1», «Defekaza» and «Filtraza» are offered, which allow improving the technological quality of sugar-containing streams and stabilizing the work of the extraction and refining departments of sugar factories.

**Keywords:** mucous polysaccharides, dextran, levan, levan-like mucus, filtration rate, enzymes, antiseptic drugs.