

УДК 665.347.8:544.723.2

ББК 35.782

У-17

Убаськина Юлия Александровна, кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории заказного органического синтеза Федерального государственного унитарного предприятия «Институт химических реактивов и особо чистых химических веществ Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»; e-mail: baseou@yandex.ru

АДСОРБЦИЯ ХЛОРОФИЛЛА *a* И ФОСФОЛИПИДОВ НА ДИАТОМИТЕ ПРИ РАФИНАЦИИ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА

(рецензирована)

*Данная статья посвящена исследованию механизма адсорбции хлорофилла *a* и фосфолипидов при рафинации подсолнечного масла на отбеливающих землях, полученных из диатомита. Обнаружено, что хлорофилл *a* преимущественно сорбируется при низких значениях pH, а фосфолипиды – при высоких значениях pH. Найдено, что при адсорбционной очистке подсолнечного масла в кислой среде хлорофилла *a* препятствует адсорбции фосфолипидов.*

Ключевые слова: *подсолнечное масло, адсорбционная очистка масла, отбеливающие земли, диатомит, хлорофилл *a*, фосфолипиды, изоэлектрическая точка.*

Ubaskina Julia Alexandrovna, Candidate of Chemistry, a researcher of the Laboratory for Custom Organic Synthesis of the Federal State Unitary Enterprise “Institute of Chemical Reagents and Highly Pure Chemicals of the National Research Center” “Kurchatov Institute”; e-mail: baseou@yandex.ru

ADSORPTION OF A CHLOROPHYLL AND PHOSPHOLIPIDES ON A DIATOMITE DURING SUNFLOWER OIL REFINING

(reviewed)

This article is devoted to the study of the mechanism of a chlorophyll and phospholipids adsorption in sunflower oil refining on the refining earth obtained from diatomite. A chlorophyll is found to be predominantly sorbed at low pH values, and phospholipids at high pH values. It's been found that during the adsorption refining of sunflower oil in an acidic medium, a chlorophyll prevents adsorption of phospholipids.

Keywords: *sunflower oil, adsorption oil refining, refining earth, diatomite, a chlorophyll, phospholipids, isoelectric point.*

Введение

Основной проблемой, с которой сталкивается российская пищевая промышленность, является постоянная нехватка дешевых, доступных отечественных вспомогательных материалов. Такими материалами, например, являются адсорбенты, широко применяемые для очистки жидкостей в различных областях пищевой отрасли. Одной из областей применения адсорбентов в пищевой промышленности является адсорбционная очистка (отбеливание) – важная стадия процесса рафинации растительного масла при его промышленной переработке с применением отбеливающих земель.

Отбеливающие земли производят, в основном, на основе бентонитов за границей Российской Федерации. В связи с этим становится особенно актуальным производство отбеливающих земель на основе отечественного сырья.

Известно, что в качестве сырья для производства отечественных отбеливающих земель могут использоваться опал-кристобалитовые породы, в частности, диатомит [1-6]. Для того, чтобы использовать отбеливающие земли на основе диатомита максимально эффективно, необходимо исследовать, как и каким образом происходит адсорбция веществ, окрашивающих подсолнечное масло в темный цвет – фосфолипидов, β -каротина, хлорофилла *a*. Ранее в работе [5] нами было показано, что степень извлечения β -каротина (как неполярного вещества) из подсолнечного масла зависит, в основном, от количества адсорбента. В отношении же адсорбции хлорофилла *a* и фосфолипидов подсолнечного масла на диатомите остается много неразрешенных вопросов.

В связи с этим целью данной работы стало исследование механизма адсорбции хлорофилла *a* и фосфолипидов на диатомите при адсорбционной очистке подсолнечного масла.

Объекты и методы исследований

В качестве исходного сырья применяли диатомит Инзенского месторождения (Ульяновская область, РФ). Для получения отбеливающих земель карьерный диатомит с влажностью 47-48 мас. % дробили вручную до размера частиц 10- 20 мм, сушили в трех зонах вращающейся электрической печи с частотой вращения 2,8 оборотов/мин при температурах соответственно 280-270-260°C до влажности 2-3 %, измельчали сначала на щековой дробилке с установленным зазором до 4-5 мм, а затем на шаровой мельнице в течение 40 мин., куда дозировали 2,3 мас. % (от массы диатомита) 11 %-го раствора серной кислоты. Затем полученную смесь раствора кислоты и диатомита помещали в емкость с лопастной мешалкой и перемешивали в течение 40 мин. Полученные отбеливающие земли охлаждали до 21°C и далее использовали для экспериментов.

Образцы протонированного диатомита, протонированного диатомита с гидроксидом алюминия и модельные образцы подсолнечного масла с различным содержанием мыла получали по методикам, приведенным в работе [5]. В качестве образцов масла для исследования свойств полученных адсорбентов использовали подсолнечное масло после кислотной гидратации Лабинского маслоэкстракционного завода.

Процесс отбеливания подсолнечного масла вели по методике, приведенной в работе [5].

Содержание хлорофилла *a* в масле определяли спектрометрически на тинтометре Lovibond PFX995 по методике AOCS Cc 13d-55. Содержание фосфолипидов в масле определяли на экспресс-анализаторе АМДФ 1А (ТУ МЕРА 414311.003).

Модельные образцы масел с различным содержанием хлорофилла *a* и фосфолипидов получали, добавляя разное количество осадка нерафинированных подсолнечных масел, содержащего хлорофилл *a* и фосфолипиды, к подсолнечному маслу после кислотной гидратации.

Для определения величины предельной адсорбции хлорофилла *a* на отбеливающих землях использовали динатриевый медный комплекс хлорофиллина *a* (препарат Sapre PCL, изготовленный из листьев тутового дерева, содержание основного вещества – 0,6 %),

растворимый в воде и окрашивающий раствор в интенсивный зеленый цвет, и отбеливающие земли на основе диатомита. Динатриевый медный комплекс хлорофиллина *a* является производным хлорофилла *a*, полученным по реакции, приведенной в работе [7]. Готовили 10%-й водный раствор динатриевого медного комплекса хлорофиллина *a* и титровали им 0,5 г отбеливающих земель, приливая по 0,5-1 мл. После каждой новой порции раствора суспензию перемешивали и затем каплю раствора наносили стеклянной палочкой на бумажный фильтр, вплоть до обнаружения отчетливо заметного ореола. Это свидетельствовало об окончании титрования и достижении величины предельной адсорбции динатриевого медного комплекса хлорофиллина *a* на отбеливающих землях. Затем полученное значение предельной адсорбции динатриевого медного комплекса хлорофиллина *a* пересчитывали на значение предельной адсорбции хлорофилла *a* (по реакции, приведенной в работе [7]).

Для определения влияния начального содержания хлорофилла *a* в подсолнечном масле на содержание хлорофилла *a* и фосфолипидов в масле, прошедшем адсорбционную очистку на отбеливающих землях из диатомита, рафинированное подсолнечное масло нагревали до 35-40°C и растворяли в нем соевый лецитин, затем перемешивали до однородности. Готовили 4 образца масла с соевым лецитином, добавляя в них источник природного хлорофилла *a* – 0, 10, 20, 30 г конопляного масла. Каждый из четырех образцов делили на две пробы. Одну из проб подвергали адсорбционной очистке с помощью отбеливающих земель, другую оставляли для контроля начального содержания хлорофилла *a* и фосфолипидов. Затем во всех 8 полученных пробах определяли содержание хлорофилла *a* и фосфолипидов.

Для того чтобы исследовать полученные корреляционные зависимости, рассчитывали коэффициент Пирсона, используя программу Microsoft Excel, и определяли уровень его значимости по таблице критических значений коэффициента корреляции Пирсона (r) [8].

Результаты и их обсуждение

На основании сделанных ранее в работе [9] выводов, было выдвинуто предположение, что при адсорбции пигментов подсолнечного масла на адсорбенте, полученном из диатомита, определяющее значение имеет строение молекул хлорофилла *a* и фосфолипидов и их способность проявлять анионные или катионные свойства при разных значениях pH.

В молекуле хлорофилла *a* содержится четыре пиррольных кольца, одно из которых находится в восстановленной форме. Эти четыре кольца образуют единую сопряженную систему – хлориновое кольцо. Координационно оно связано с ионом Mg^{2+} . Также в молекуле хлорофилла есть циклопентановое кольцо, которое содержит карбонильную, а также карбоксильную группы, связанные эфирной связью с метиловым спиртом. Боковая цепь в молекуле хлорофилла *a* представляет собой остаток фитола ($C_{20}H_{39}OH$) – производного ненасыщенного углеводорода изопрена, который присоединен сложноэфирной связью к карбоксильной группе заместителя в кольце, которое находится в восстановленной форме. Остаток фитола придает молекуле хлорофилла *a* липидные свойства и обеспечивает закрепление и ориентацию его в хлоропласте.

Как указано авторами работы [10], хлорофилл *a* является амфотерной молекулой, его $pH_{ИЭТ}$ в водной среде находится между значениями pH 3 и 4, при этом $pH_{ИЭТ}$ и $pH_{ТНЗ}$

для хлорофилла *a* совпадают. Слева от $pH_{ИЭТ}$ преобладает адсорбция протонов, в результате чего его поверхность заряжается положительно, а справа от $pH_{ИЭТ}$ преобладает адсорбция гидроксидов – поверхность хлорофилла *a* заряжается отрицательно, причем установлено преобладание адсорбции ОН-ионов [10] – об этом свидетельствует смещение $pH_{ИЭТ}$ хлорофилл *a* в сторону низких значений рН.

В работе [11] отмечены особенности химических свойств хлорофилла *a*, определяющих амфотерность его молекулы: нестойкость хлорофилла *a* к действию разбавленных кислот и солей двухвалентных металлов, которые могут вытеснить магний из хлоринового кольца, нестойкость фитольного остатка к щелочи, приводящая к его элиминированию из молекулы, возможность переэтерификации фитольного остатка низшими спиртами. Отмечено, что более сильные кислоты могут гидролизовать остаток метилового спирта или расщепить изоциклическое кольцо.

Было изучено изменение степени извлечения хлорофилла *a* адсорбентом на основе диатомита от массовой доли мыла в масле. Было обнаружено, что при увеличении массовой доли мыла в масле, то есть, при увеличении значения рН среды, степень извлечения хлорофилла *a* адсорбентом на основе диатомита уменьшается ($r = -0,966 \pm 0,005$, $p < 0,001$, $n = 12$). Это может быть связано с тем, что при высоких значениях рН происходит омыление хлорофилла *a* с образованием соли хлорофиллина *a*, метанола и фитола [7]. Полученные соединения, по всей видимости, не сорбируются гидроксильной поверхностью диатомита, а остаются в масляном растворе.

Можно сделать вывод, что хлорофилл *a* со значением $pH_{ИЭТ}$ 3-4 (в водной среде) преимущественно сорбируется на поверхности адсорбента на основе диатомита при низких значениях рН. Ранее в работе [9] нами было показано, что в области низких рН на диатомите преимущественно адсорбируются анионы.

Было выдвинуто предположение, что хлорофилл *a* в кислой среде удерживается на поверхности диатомита не только за счет адсорбции протонов на поверхности протонированного кислотой диатомита, но и за счет повышения своей анионной активности в кислой среде.

Для того чтобы проверить данное предположение, к обработанному кислотой (протонированному) диатомиту добавляли 1 мас. % гидроксида алюминия. Гидроксид алюминия также является амфотерным соединением и его поверхность положительно заряжена ниже $pH_{ИЭТ}$, равной 7-9,7 [12, 13]. При добавлении гидроксида алюминия к обработанному кислотой диатомиту положительный заряд поверхности должен возрасти. Это должно способствовать электростатическому притяжению хлорофилла *a*, проявляющего в кислой среде анионную активность. Было обнаружено, что применение обработанного кислотой диатомита с добавкой гидроксида алюминия в качестве адсорбента для отбеливания подсолнечного масла позволяет повысить степень извлечения хлорофилла *a* в 1,5 раза, по сравнению с адсорбентом без добавления гидроксида алюминия при аналогичной концентрации адсорбента в масле.

Следовательно, при адсорбции протонов на поверхности диатомита в кислой среде хлорофилл *a* сорбируется не только за счет образования ковалентных и водородных связей с протонированным диатомитом, но и за счет отрицательного заряда (анионной активности) его молекулы. По-видимому, повышение анионной активности хлорофилла *a* в кислой среде и увеличение степени извлечения хлорофилла *a* при повышении величины

положительного заряда поверхности адсорбента происходит вследствие наличия в нем активных анионных центров – хлоринового кольца, в котором в кислой среде ион магния легко заменяется на два протона, и кислорода карбонильной и карбоксильных групп.

Была измерена предельная адсорбция хлорофилла *a* на отбеливающих землях на основе диатомита с использованием в качестве источника хлорофилла *a* его водорастворимой соли – динатриевого медного комплекса хлорофиллина *a*. Было обнаружено, что предельная адсорбция хлорофилла *a* на отбеливающих землях при рН 4,03 составляет 56 мг хлорофилла *a*/г адсорбента. Это достаточно большое значение, учитывая, что в зеленом травяном конопляном масле, природном источнике хлорофилла *a*, его концентрация составляет всего 22,19 мг на 1 г масла. Высокое значение предельной адсорбции хлорофилла *a* на отбеливающих землях на основе диатомита свидетельствует о большом адсорбционном потенциале отбеливающих земель на основе диатомита по отношению к рафинируемым растительным маслам по хлорофиллу *a*. Это также подтверждается экспериментами по исследованию влияния начальной концентрации хлорофилла *a* на его адсорбцию на различных образцах адсорбентов на основе диатомита.

Исследовали влияние начальной концентрации хлорофилла *a* на величину его адсорбции на различных образцах адсорбентов, полученных из диатомита. В первом эксперименте к маслу после кислотной гидратации добавляли различное количество осадка нерафинированных подсолнечных масел, в качестве адсорбента использовали обработанный кислотой диатомит с добавлением 1 мас. % гидроксида алюминия. Было найдено, что при увеличении начального содержания хлорофилла *a* в подсолнечном масле, мг/1 кг масла, величина адсорбции хлорофилла *a*, мкг/г адсорбента, возрастает ($r = 0,988 \pm 0,004$, $p < 0,001$, $n = 8$). Во втором эксперименте в качестве источника природного хлорофилла использовали конопляное масло, в качестве рабочей среды – рафинированное подсолнечное масло, в качестве адсорбента – отбеливающие земли на основе диатомита. Результаты второго эксперимента также показали, что при увеличении начального содержания хлорофилла *a* в подсолнечном масле, мг/1 кг масла, величина адсорбции хлорофилла *a*, мкг/г адсорбента, на отбеливающих землях, полученных из диатомита, возрастает ($r = 0,992 \pm 0,005$, $0,001 < p < 0,01$, $n = 6$).

На основании полученных данных можно сделать вывод, что отбеливающие земли на основе диатомита являются крайне эффективным адсорбентом для рафинации растительных масел с точки зрения адсорбции хлорофилла *a*.

Однако, несмотря на это, фосфолипиды, содержащиеся в масле, могут препятствовать его эффективной адсорбционной очистке с помощью отбеливающих земель на основе диатомита.

В подсолнечном масле, согласно данным авторов [14], фосфолипидов содержится от 0,52 до 1,15 мас. %. Авторы работы [14] также отмечают, что фосфолипидный комплекс растительных масел имеет очень сложный состав.

Фосфолипиды растительных масел так же, как и хлорофилл *a*, амфотерны. Авторами работы [15] показано, что рН_{изт} соевого лецитина в водной среде составляет $6,7 \pm 0,2$. Расчетная изоэлектрическая точка лецитина (из констант диссоциации) должна быть равна 7,5. Слабокислотное значение наблюдаемой изоэлектрической точки

объясняется быстрым спонтанным разложением лецитина до жирных кислот. Отмечено, что такое же значение $pH_{ИЭТ}$ характерно для другого фосфолипида – сфингомиелина.

На основании имеющихся данных было выдвинуто предположение, что фосфолипиды склонны адсорбироваться на отбеливающих землях на основе диатомита при более высоких значениях pH , так как их изоэлектрическая точка расположена в диапазоне pH 6,7-7,5. Было исследовано изменение степени извлечения фосфолипидов подсолнечного масла адсорбентом – обработанным кислотой диатомитом с добавкой гидроксида алюминия при увеличении массовой доли мыла в масле. Было установлено, что повышение массовой доли мыла в масле вызывает увеличение степени извлечения указанным адсорбентом фосфолипидов из подсолнечного масла ($r = 0,690 \pm 0,001$, $0,01 < p < 0,02$, $n = 12$). Можно сделать вывод, что фосфолипиды более активно адсорбируются на отбеливающих землях на основе диатомита при более высоких значениях pH .

В то же время анализ кинетических кривых адсорбции хлорофилла *a* и фосфолипидов на отбеливающих землях на основе диатомита, приведенных в работе [3], показывает, что в кислой масляной среде ($pH \sim 2$) хлорофилл *a* и фосфолипиды подсолнечного масла приблизительно с одинаковой скоростью сорбируются отбеливающими землями на основе диатомита.

При рассмотрении случая совместной адсорбции хлорофилла *a* и фосфолипидов с применением для получения растворов с разной концентрацией хлорофилла *a* и фосфолипидов осадка нерафинированных подсолнечных масел и подсолнечного масла после кислотной гидратации, а в качестве адсорбента – обработанного кислотой диатомита с добавкой гидроксида алюминия, было обнаружено, что при увеличении начального содержания хлорофилла *a* в подсолнечном масле, мг/1 кг масла, величина адсорбции фосфолипидов, мг/г адсорбента, уменьшается ($r = -0,640 \pm 0,090$, $0,1 < p$, $n = 6$).

Для того чтобы подтвердить влияние величины начального содержания хлорофилла *a* в подсолнечном масле на величину адсорбции фосфолипидов на адсорбенте из диатомита, в рафинированное подсолнечное масло добавляли некоторое постоянное количество соевого лецитина. Концентрацию хлорофилла *a* варьировали за счет добавления зеленого конопляного масла с высоким содержанием хлорофилла *a*. В качестве адсорбента использовали отбеливающие земли на основе диатомита. Было подтверждено, что при увеличении начального содержания хлорофилла *a* в подсолнечном масле, мг/1 кг масла, величина адсорбции фосфолипидов, мг/г адсорбента, уменьшается ($r = -0,768 \pm 0,005$, $0,05 < p < 0,1$, $n = 6$).

Был сделан вывод, что при адсорбционной очистке подсолнечного масла хлорофилл *a* препятствует адсорбции фосфолипидов в кислой масляной среде. Это может быть связано с конкуренцией хлорофилла *a* и фосфолипидов при захвате протонных центров на поверхности диатомита, обработанного кислотой.

Таким образом, для того, чтобы достигнуть максимальной эффективности использования отбеливающих земель на основе диатомита при рафинации подсолнечного масла, необходимо извлекать из него фосфолипиды до стадии адсорбционной очистки, например, с помощью растворов фосфорной или лимонной кислоты.

Заключение

Исследован механизм адсорбции хлорофилла *a* и фосфолипидов на диатомите при адсорбционной очистке подсолнечного масла. Показано, что величина адсорбции

хлорофилла *a* и фосфолипидов на диатомите при адсорбционной очистке подсолнечного масла зависит, главным образом, от значения рН среды, так как хлорофилл *a*, фосфолипиды и диатомит проявляют амфотерные свойства и способны как к адсорбции протонов, так и к адсорбции гидроксидов. Обнаружено, что при увеличении значения рН среды степень извлечения хлорофилла *a* адсорбентом на основе диатомита уменьшается ($r = -0,966 \pm 0,005$, $p < 0,001$, $n = 12$). Сделан вывод, что хлорофилл *a* со значением рН_{ИЭТ} 3–4 (в водной среде) преимущественно сорбируется на поверхности адсорбента на основе диатомита при низких значениях рН. Найдена величина предельной адсорбции хлорофилла *a* на отбеливающих землях из диатомита (при рН 4,03 – 56 мг хлорофилла *a* /г адсорбента). Высокое значение предельной адсорбции хлорофилла *a* на отбеливающих землях из диатомита свидетельствует о большом адсорбционном потенциале отбеливающих земель из диатомита по отношению к рафинируемым растительным маслам по хлорофиллу *a*. Обнаружено, что при увеличении начального содержания хлорофилла *a* в подсолнечном масле величина адсорбции хлорофилла *a* в кислой среде на диатомите возрастает. Установлено, что при увеличении значения рН среды степень извлечения фосфолипидов протонированным диатомитом, содержащим 1 мас. % гидроксида алюминия, увеличивается ($r = 0,690 \pm 0,001$, $0,01 < p < 0,02$, $n = 12$), поэтому фосфолипиды более активно адсорбируются на отбеливающих землях на основе диатомита при высоких значениях рН. Обнаружено, что при увеличении начального содержания хлорофилла *a* в подсолнечном масле величина адсорбции фосфолипидов в кислой среде на диатомите уменьшается.

Сделан вывод, что при адсорбционной очистке подсолнечного масла в кислой среде хлорофилл *a* препятствует адсорбции фосфолипидов, поэтому использование отбеливающих земель на основе диатомита для адсорбционной очистки растительных масел эффективно при наличии предварительной стадии очистки масла от соединений фосфора.

Литература:

1. Дистанов У.Г. Кремнистые породы СССР. Казань: Татарское кн. изд-во, 1976. 412 с.
2. Пономарев В.В. Технология адсорбентов для очистки растительных масел на основе диатомита и бентонита Ростовской области: дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2010. 146 с.
3. Сtryженок А.А. Совершенствование технологии адсорбционной рафинации растительных масел: дис. ... канд. техн. наук. Краснодар, 2015. 144 с.
4. Применение отбеливающих земель на основе диатомита для отбеливания растительных масел / Бутина Е.А.[и др.] // Масла и жиры. 2012. №2. С. 17-19.
5. Убаськина Ю.А, Коростелева Ю.А. Адсорбция пигментов подсолнечного масла на поверхности диатомита // Новые технологии. 2017. Вып. 1. С. 63-69.
6. Убаськина Ю.А, Коростелева Ю.А. Отбеливание подсолнечного масла диатомитом, модифицированным лимонной кислотой // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2017. №3(44). С. 35-38.
7. Inanc A.L. Chlorophyll: structural properties, health benefits and its occurrence in virgin olive oils // Akademik Gıda. 2011. №9. P. 26-32.

8. Fisher R.A., Frank Y. *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research*, 6th ed. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1963. 146 p.
9. Убаськина Ю.А., Коростелева Ю.А. Адсорбция катионов и анионов органических соединений на поверхности диатомита // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. №10. С. 172-178.
10. Чухно А.С. Сорбция ионов H^+ и OH^- на хлорофилле, влияние рН на устойчивость водных дисперсий хлорофилла // Бутлеровские сообщения. 2013. Т. 34, №5. С. 124-130.
11. Humphrey A. M. Chlorophyll // *Food Chemistry*. 1980. Vol. 5, №1. P. 57-67.
12. Семушин В.В., Печенюк С.И., Архипов И.В. Кислотно-основные свойства поверхности гидрогелей оксигидроксида алюминия // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. 2006. №4. С. 1-5.
13. Волкова А.В. Электрокинетические свойства нанодисперсий оксида алюминия в растворах NaCl // Коллоидный журнал. 2013. Т. 75, №1. С. 54-64.
14. Арутюнян Н. С., Корнена Е. П. Фосфолипиды растительных масел: состав, структура, свойства, получение и применение. Москва: Агропромиздат, 1986. 256 с.
15. Chain E., Kemp I. The isoelectric points of lecithin and sphingomyelin // *Biochemical Journal*. 1934. Vol. 28, №6. P. 2052-2055.

Literature:

1. Distanov U.G. *Siliceous rocks of the USSR*. Kazan: Tatar Publishing House, 1976. 412 p.
2. Ponomarev V.V. *Adsorbent technology for the purification of vegetable oils based on diatomite and bentonite of the Rostov region: dis. ... Cand. of Tech. sciences*. Novocherkassk, 2010. 146 p.
3. Stryzhenok A.A. *Improving technology of adsorption refining of vegetable oils: dis. ... Cand. of Tech. sciences*. Krasnodar, 2015. 144 p.
4. *Application of refining earth based on diatomite for refining vegetable oils / Butina E.A. [and oth.] // Oils and fats*. 2012. № 2. P. 17-19.
5. Ubaskina Yu.A., Korosteleva Yu.A. *Adsorption of sunflower oil pigments on the surface of diatomite // New technologies*. 2017. Vol. 1. P. 63-69.
6. Ubaskina Yu.A., Korosteleva Yu.A. *Refining of sunflower oil with diatomite modified with citric acid // Technology and commodity research of innovative food products*. 2017. № 3 (44). P. 35-38.
7. Inanc A.L. *Chlorophyll: virgin olive oils // Akademik Gida*. 2011. No. 9. P. 26-32.
8. Fisher R.A., Frank Y. *Statistical Tables for Biological Agriculture, Agricultural and Medical Research*, 6th ed. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1963. 146 p.
9. Ubaskina Yu.A., Korosteleva Yu.A. *Adsorption of cations and anions of organic compounds on the surface of diatomite // Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2016. No. 10. P. 172-178.
10. Chukhno A.S. *Sorption of H^+ and OH^- ions on chlorophyll, the effect of pH on the stability of chlorophyll aqueous dispersions // Butlerov Communications*. 2013. Vol. 34, No. 5. P. 124-130.
11. Humphrey A. M. Chlorophyll // *Food Chemistry*. 1980. Vol. 5, No. 1. P. 57-67.

12. Semushin V.V., Pechenyuk S.I., Arkhipov I.V. Acid-base properties of the surface of aluminum oxyhydroxide hydrogels // *Proceedings of the Chelyabinsk Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2006. No. 4. P. 1-5.

13. Volkova A.V. Electrokinetic properties of nanodispersions of aluminum oxide in NaCl solutions // *Colloid Journal*. 2013. V. 75, No. 1. P. 54-64.

14. Arutyunyan N. S., Kornen E. P. *Phospholipids of vegetable oils: composition, structure, properties, preparation and use*. Moscow: Agropromizdat, 1986. 256 p.

15. Chain E., Kemp I. *The isoelectric points of lecithin*