

**Очищення овочевих соків карбоновими і мінеральними сорбентами**  
**Очистка овощных соков карбоновыми и минеральными сорбентами**  
**Cleaning of vegetable juices by hydrocarboxylic and mineral sorbents**

Мельник Л. М., д.т.н., проф., *Національний університет харчових технологій, Київ, Україна*

Мельник Л. Н., д.т.н., проф., *Національный университет пищевых технологий, Киев, Украина*

Melnyk L., *National university of food technologies, Kyiv, Ukraine*

Шейко Т. В., аспірант, *Національний університет харчових технологій, Київ, Україна*

Шейко Т. В., аспирант, *Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина*

Sheiko T., raduate student, *National university of food technologies, Kyiv, Ukraine*

Анотація: Досліджена адсорбційна спроможність палигорськіта, глауконіта, шунгіта щодо пектинових речовин із соку столового буряка. Встановлено, що шунгіт ефективніше поглинає пектини, ніж глинисті мінерали. Наведено раціональні параметри адсорбції пектинових речовин із соку столового буряка шунгітом.

Исследована адсорбционная способность палыгорскита, глауконита, шунгита относительно пектиновых веществ из сока столовой свеклы. Установлено, что шунгит эффективнее поглощает пектины, чем глинистые минералы. Приведены рациональные параметры адсорбции пектиновых веществ из сока столовой свеклы шунгитом

Investigated adsorption capacity of palygorskite, glauconite, Shung on pectin from the juice of table beets. Found that zhung efficiently absorbs pectins than clay minerals. An rational parameters of adsorption of pectin from the juice of table beet Shung..

Ключові слова: Адсорбція, палигорськіт, глауконіт, шунгіт, пектинові речовини

Ключевые слова: Адсорбция, палигорскит, глауконит, шунгит, пектиновые вещества

Key words: Adsorption, palygorskite, glauconite, zhung, pectin

Столові буряки – цінна для виробництва соків сировина, яка відрізняється від інших овочів високим вмістом вітамінів, азотистих речовин, цукрів, мінеральних солей, наявністю біологічно активних сполук, в тому числі бетаніну.

Сучасна промисловість України випускає соки столового буряку як з м'якоттю так і без неї. При виробництві соку без м'якоті та концентрованого соку необхідно видаляти частину пектинових речовин, які ускладнюють процес упарювання соку, сприяють утворенню желеподібних осадів та викликають помутніння в готовому продукті [1].

Відомі такі методи очищення овочевих соків, в тому числі і соку столового буряка: фільтрування; осадження; центрифугування; оброблення соків ферментними препаратами; освітлення в електричному полі та інші. Нами запропонований метод очищення соку столового буряка карбоновим адсорбентом – шунгітом та природними дисперсними мінералами: палигорскітом, глауконітом.

Шунгіт – універсальний сорбент, який поглинає до 95% забруднювачів: колоїдне залізо, нітрати, пестициди, діоксиди, феноли, радіонукліди, осаджує солі важких металів та аміак, проявляє бактерицидні властивості.

Хімічний склад шунгіту – не сталий: в середньому містить близько 60% вуглецю та 40% породоутворюючих мінералів. Густина мінералу 2,1...2,4 г/см<sup>3</sup>, міцність на стискання 1000...1200 кг/см<sup>3</sup>.

Хімічний склад шунгіту, який використовується в якості адсорбенту такий (%): Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 4,05; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 1,01; Fe<sub>2</sub>O - 0,32; K<sub>2</sub>O - 1,23; CaO - 0,12; SiO<sub>2</sub> - 36,46; MgO - 0,56; MnO - 0,12; Na<sub>2</sub>O - 0,36; TiO<sub>2</sub> - 0,24; P<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0,03; Ba - 0,32; B - 0,004; V - 0,015; Co - 0,00014; Cu - 0,0037.

Шунгітовий вуглець має аморфну структуру, стійкий до графітації, характеризується високою реакційною здатністю в термічних процесах, ефективними сорбційними та каталітичними властивостями, електропровідністю та хімічною стійкістю.

Шунгіт – єдина відома порода, яка містить фулерени (нещодавно відкрита нова глобулярна форма існування вуглецю). Особливість структури фулеренів полягає в тому, що атоми вуглецю в молекулах розташовані в вершинах правильних шести- п'ятикутників, які покривають поверхню сфери і складають замкнуті багатогранники, які складаються з парної кількості координованих атомів вуглецю. Особливість фулеренів полягає в наявності у них великої кількості реакційних центрів.

Здатність шунгіту до адсорбції різних речовин визначається будовою його поверхні, природою і концентрацією поверхневих реакційно спроможних груп. Також важливим фактором є наявність у мінералу фулеренових вуглецевих нанотрубок, діаметр циліндричної порожнини яких складає 1...6 нм, довжина – до кількох мкм. Циліндрична поверхня трубок утворена кільцями активного вуглецю і володіє вільним пористим простором.

Основною структурною одиницею шунгіта є глобула, яка складається із графітоподібних сіток, з яких формуються пакети. В пакеті зібрано 6 графітоподібних плоских сіток з кількістю атомів вуглецю 300...600 і вигнута сітка, яка складається із 400 атомів вуглецю. Біполярні властивості шунгіта визначають здатність утримувати на поверхні мінералу координуючі молекули [2, 3].

Палигорськіт – глина світло-сірого кольору, має вид дрібних кутастих уламків із шорсткою поверхнею, являє собою водний алюмосилікат магнію. Цей мінерал – проміжкова ланка між шаруватими і стрічковими силікатами і відноситься до класу високодисперсних мінералів, володіє розвиненою питомою поверхнею і здатен до катіонного обміну.

Хімічний склад палигорскіта (%):  $\text{SiO}_2$ –52,85;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ –10,63;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ –7,44;  $\text{FeO}$ –0,42;  $\text{MgO}$ –7,21;  $\text{CaO}$ –0,30;  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ –0,38;  $\text{H}_2\text{O}$ –9,94; решта –

9,72, густина мінералу 2700 кг/м<sup>3</sup>.

Палигорськіт характеризується високою поглинальною здатністю, що представлена цеолітними каналами з розмірами 0,40...1,10 нм (первинні пори), що знаходяться в самих кристалах і складають невелику частину стрічки. Стрічки об'єднуються між собою і утворюють пори різної форми, досягаючи 200...300 нм у довжину із середнім поперечним перерізом до 0,30 нм (вторинні пори).

Активна адсорбційна поверхня обумовлюється розірваними зв'язками на ребрах і торцях кристалів та обмінними іонами на поверхні мінералу. Між стрічками діють сили притягування [4].

Глауконіт – це природний глинистий мінерал, що відноситься до класу гідрослюд. Його хімічний склад (%): SiO<sub>2</sub> – 48,76; TiO<sub>2</sub> – 0,12; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 10,94; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 17,09; FeO – 2,16; MgO – 4,00; CaO – 0,46; Na<sub>2</sub>O – 0,06; K<sub>2</sub>O – 8,08; H<sub>2</sub>O – 8,26; твердість – 2...3, питома густина – 2,2...2,8 г/см<sup>3</sup>,

Глауконіт характеризується гетерогенністю катіонного складу октаедричних сіток 2:1 шару. Такий шар складається з октаедричної сітки, серцевини, зверху і знизу обгорнутих тетраедричними сітками. Октаедрична сітка утворюється з октаедрів, зв'язаних між собою боковими ребрами. В кожному октаедрі по чотири вершини, дві з них мають атоми кисню, а дві інші – гідроксильні групи. Мінерал має добре розвинену поверхню. Процес адсорбції обумовлюється утворенням зв'язків на поверхні мінералу [5].

Метою даної роботи є дослідження адсорбційної спроможності карбонового сорбента і природних мінералів щодо пектинових речовин соку столового буряку та встановлення оптимальних технологічних параметрів процесу. Була спланована і проведена серія експериментів за методикою: свіжевіджятий сік столового буряка підігрівали до температури 50°C та 60°C (регламентується технологічним процесом), змішували із шунгітом, палигорскітом та глауконітом промислової фракції 1...2 мм, концентрацією 2,44%, 3,23% та 4,76% мас. Суміш при постійному перемішуванні витримували протягом 10...30 хв, фільтрували і визначали вміст пектинових речовин у соку кальцій-пектатним модифікованим методом. Контрольна проба витримувалась

в умовах досліду без додавання адсорбенту.

Ефект очищення соку від пектинових речовин розраховували за формулою:

$$E = \frac{100 \cdot (K_1 - K_2)}{K_1}, \quad (1)$$

де  $K_1$  і  $K_2$  – кількість пектинових речовин у соку столового буряка до та після оброблення сорбентом.

Отримані результати експериментів наведені у таблицях 1...3.

*Таблиця 1*

**Вміст пектинових речовин у соку столового буряка до та після оброблення шунгітом при різних концентраціях адсорбента**

Контрольна проба та проба оброблена адсорбентом	Концентрація шунгіту в соку, % мас					
	2,44%		3,23%		4,76%	
	Температура, °С					
	50	60	50	60	50	60
	Вміст пектинових речовин, мг/г					
Тривалість обробки соку 10 хв						
Контрольна проба	2,80	2,20	2,80	2,20	2,80	2,20
Проба оброблена шунгітом	2,60	1,90	2,50	1,90	2,40	1,80

Ефект очищення соку від пектинових речовин, %	7,10	13,6	10,7	13,6	14,3	18,2
Тривалість обробки соку 20 хв						
Контрольна проба	2,80	3,30	2,80	3,30	2,80	3,30
Проба оброблена шунгітом	2,10	2,40	2,10	2,20	1,90	2,10
Ефект очищення соку від пектинових речовин, %	25,0	27,3	25,0	33,3	32,1	36,4
Тривалість обробки соку 30 хв						
Контрольна проба	2,60	2,20	2,60	2,20	2,60	2,20
Проба оброблена шунгітом	1,90	1,60	1,70	1,40	1,60	1,30
Ефект очищення соку від пектинових речовин, %	26,9	27,3	34,6	36,4	38,5	40,9

Дані таблиці показують, що найкраще адсорбуються пектинові речовини із соку столового буряка при концентрації адсорбенту в ньому 4,76% мас. та тривалості обробки соку 30 хв. При цьому вміст пектинових речовин

зменшується на 38,5% при температурі обробки соку 50°C та на 40,9% при температурі 60°C, відповідно. Але відмінність у кількості адсорбованих пектинових речовин при концентраціях адсорбенту 3,23% та 4,76% мас., температурі оброблення 60°C та тривалості обробки 20 і 30 хв незначна, то з метою економії шунгіта доцільно рекомендувати до промислового впровадження оброблення соку концентрацію адсорбенту 3,23% мас., температуру 60°C і тривалість обробки 30 хв (ефект очищення соку – 36,4%).

Механізм адсорбції пектинових речовин із соку столового буряка шунгітом можна пояснити іонообмінною адсорбцією в місцях розриву реакційно спроможних груп і вивільненням реакційних центрів та однорідними позитивно зарядженими групами складових елементів та утворенням водневих зв'язків між молекулами пектинових речовин і поверхнею сорбенту. Утримання координованих центрів на поверхні також визначається біполярними властивостями шунгіта.

*Таблиця 2*

**Вміст пектинових речовин у соку столового буряка до та після оброблення палигорськітом при різних концентраціях адсорбента,**

Контрольна проба та проба оброблена адсорбентом	Концентрація палигорськіту в соку, % мас					
	2,44%		3,23%		4,76%	
	Температура, °C					
	50	60	50	60	50	60
	Вміст пектинових речовин, мг/г					
Тривалість обробки соку 10 хв						
Контрольна проба	3,20	2,65	3,20	2,65	3,20	2,65
Проба оброблена палигорськітом	2,60	2,20	2,28	2,07	2,19	2,00
Ефект очищення соку від пектинових	18,7	17,0	28,8	21,9	31,6	24,5

речовин,%						
Тривалість обробки соку 20 хв						
Контрольна проба	3,20	2,65	3,20	2,65	3,20	2,65
Проба оброблена палигорськітом	2,43	2,04	2,18	2,00	2,01	1,89
Ефект очищення соку від пектинових речовин,%	24,0	23,0	31,9	24,5	37,2	28,8
Тривалість обробки соку 30 хв						
Контрольна проба	3,20	2,65	3,20	2,65	3,20	2,65
Проба оброблена палигорськітом	2,40	2,01	2,17	1,89	2,00	1,86
Ефект очищення соку від пектинових речовин,%	25,0	24,2	32,2	28,7	37,5	30,0

Аналізуючи дані таблиці 2 бачимо, що найкраще адсорбує пектинові речовини палигорскіт при концентрації його в соку 4,76% мас та тривалості обробки 30 хв. Вміст пектинових речовин в соку зменшується з 3,20 мг/г до 2,00 мг/г при температурі обробки соку 50°C, ефект очищення соку складає – 37,5%. З підвищенням температури до 60°C пектини адсорбуються гірше, ефект очищення соку – 30,0% . Для впровадження у промисловість рекомендується концентрація адсорбента 4,76%, тривалість обробки – 30 хв при температурі 50°C.

Механізм адсорбції пектинових речовин бурякового соку пояснюється

тим, що ребра кристалів палигорськіту насичені однорідними позитивно зарядженими групами, які активно утворюють водневі зв'язки з пектиновими речовинами, що несуть негативний заряд за рахунок поверхневої дисоціації карбоксильних груп.

Таблиця 3

**Вміст пектинових речовин у соку столового буряка до та після оброблення глауконітом при різних концентраціях адсорбента**

Контрольна проба та проба оброблена адсорбентом	Концентрація глауконіту в соку, % мас					
	2,44%		3,23%		4,76%	
	Температура, °С					
	50	60	50	60	50	60
	Вміст пектинових речовин, мг/г					
Тривалість обробки соку 10 хв						
Контрольна проба	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Проба оброблена глауконітом	1,85	1,87	1,76	1,79	1,79	1,76
Ефект очищення соку від пектинових речовин, %	13,9	13,02	18,1	16,7	16,7	18,1
Тривалість обробки соку 20 хв						
Контрольна проба	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Проба оброблена глауконітом	1,78	1,80	1,76	1,73	1,75	1,72
Ефект очищення	17,2	16,3	18,1	19,5	18,6	20,0

соку від пектинових речовин,%						
-------------------------------------	--	--	--	--	--	--

*Продовження таблиці 3*

Тривалість обробки соку 30 хв						
Контрольна проба	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Проба оброблена глауконітом	1,70	1,17	1,62	1,64	1,60	1,61
Ефект очищення соку від пектинових речовин,%	20,9	20,9	24,7	23,7	25,6	25,1

Із результатів, представлених в табл. 3, видно, що найкращі результати отримані при адсорбції пектинових речовин глауконітом концентрацією 4,76% мас, тривалості взаємодії 30 хвилин і температурі 50...60°C. При цьому ефект очищення соку складає 25,6% - 25,1%. З метою економії сорбенту доцільно використовувати концентрацію глауконіта в соку 3,23%.

Механізм адсорбції пектинових речовин пояснюється тим, що глауконіт виявляє іонообмінну адсорбцію, яка зосереджена на поверхні мінералу, за рахунок обмінних катіонів, а також завдяки атомам кисню і гідроксильним групам, розташованих на базальних гранях частинок і ребрах кристалів.

Аналіз значень ефекту очищення соку столового буряка від пектинових речовин показує, що найефективнішим сорбентом, серед досліджених, виявився шунгіт.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Кадровський А. А.* Совершенствование технологии и разработка новых

видов купажированных соков из свеклы: автореф. дис. на соиск. науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.18.01/ А. А. Кадровский – Краснодар, 2008. – 24 с.

2. *Ковалевский В. В.* Шунгитовые породы – кристаллогенез и нанотехнологии/ В. В. Ковалевский// Минералогия, петрология и минерагенез докембрийских комплексов Карелии. Материалы юбилейной научной сессии. – Петрозаводск: КарНЦРАН. – 2007 с.35-36, с. 335-339.

3. *Холодкевич С. В.* Особенности структуры и температурная стойкость шунгитового углерода к графитации/ С. В. Холодкевич, В. И. Березкин, В. Ю. Давыдов// Физика твердого тела. – 1999, т 41. вып. 8, с. 1412-1415.

4. *Тарасевич Ю. И.* Адсорбция на глинистых минералах/ Ю. И. Тарасевич, Ф. Д. Овчаренко - К. Наукова думка. 1975. – 351 с.

5. *Проблемы* определения реальной структуры глауконитов и родственных филлосиликатов/ Отв. ред. Д. К. Архипенко – Новосибирск. ВО „Наука”. 1993.