



UDK: 542.06:547.96

**Sardorbek YARMATOV**,  
*Polimerlar kimyosi va fizikasi instituti katta ilmiy xodimi, PhD*  
E-mail: ya.s.s\_1987@inbox.ru  
**Zarina XAKIMOVA**,  
*O'zMU Kimyo fakulteti magistranti*  
**Abdushkur SARIMSAKOV**,  
*O'zbekiston Milliy universiteti professori, t.f.d*  
**Umid MIRZAKULOV**,  
*O'zMU Kimyo fakulteti katta o'qituvchisi, PhD*  
**Elyor JABBOROV**,  
*Dusel Medical MChJ klinikasida 1-toifali jarroh*

### FIBROIN ASOSIDA OLINGAN SORBENTLARINING SORBSION XOSSALARI

Annotatsiya

Ushbu maqolada fibroin va u asosida olingan sorbent namunalarning sorbsion xossalarini o'rganish bo'yicha tadqiqotlar olib borilgan. Ushbu sorbentlar spetsifik xossaga ega bo'lib tarkibida kutbli funksional guruhlar mavjud bo'lganligi bois turli toksik tabiatga ega bo'lgan zararli moddalarni sorbsiya qilish xossasiga ega hisoblanadi. Sorbsiya jarayonida ular tarkibidagi turli o'lchamdagi g'ovaklar va reaksiyalar faol funksional guruhlar qatnashadi. Shu bois ularning sorbsion xossalari asosida sorbent namunalarning g'ovaklar o'lchami va polimer-erituvchi ta'sirlari tadqiq qilindi.

**Kalit so'zlar:** Sorbent, fibroin, sorbsiya, polimer-erituvchi, Gibbs energiyasi, De Bur Svikker modeli.

### СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ФИБРОИНА

Аннотация

В данной статье проведены исследования по изучению сорбционных свойств фиброина и сорбентов, полученных на его основе. Указанные сорбенты обладают специфическими характеристиками и способны к сорбции различных токсичных веществ благодаря наличию в их составе функциональных реакционно-активных групп. В процессе сорбции участвуют поры различного размера и реакционноспособные функциональные группы, присутствующие в структуре сорбентов. В связи с этим, на основе анализа их сорбционных свойств были исследованы размеры пор сорбентных образцов и влияние взаимодействия полимер-растворитель.

**Ключевые слова:** Сорбент, фиброин, сорбция, полимер-растворитель, энергия Гиббса, модель Де Бура-Цвиккера.

### SORPTION PROPERTIES OF SORBENTS BASED ON FIBROIN

Annotation

In this study, the sorption properties of fibroin and sorbent samples derived from it were investigated. These sorbents exhibit specific characteristics and are capable of adsorbing various toxic substances due to the presence of functional, reaction-active groups in their structure. During the sorption process, pores of different sizes and reactive functional groups participate. Therefore, based on their sorption behavior, the pore size distribution of the sorbent samples and the effects of polymer-solvent interactions were examined.

**Keywords:** sorbent, fibroin, sorption, solvent-polymer system, Gibbs energy, De Boer-Zwicker model.

**Kirish.** Polimerlar asosida olingan materiallarning gidrofil yoki gidrofoblik xossalariga ko'ra tekstil, oziq ovqat sanoati va tibbiyot sohaslarida muhim ahamiyatga ega [1]. Tibbiyot sohasida qo'llaniladigan biomateriallar olishda ularning sorbsion xossalari muhim ahamiyatga ega hisoblanadi [2]. Tibbiyot sohasida qo'llaniladigan biomateriallar asosin II va III tipdagi izotermalarni hosil qiladi [3]. Olingan natijalar asosida suv bug'larining adsorbsiyalanishi hisobiga va energiyaga bog'liq holatda termodinamik xossalar o'rganiladi [4]. Birinchi guruhga selektiv bo'lmagan sorbentlar kiradi, ularning klassik vakili faollashtirilgan ugleroddir. Polimer sorbentlarning butun assortimenti ham shu turga tegishli [5]. Ikkinchi turga selektiv sorbentlar kiradi. Ular sirtida immobilizatsiyalangan ligandlari bo'lgan sintetik materiallar bo'lib, ular olib tashlangan birikma yoki murakkab molekulaga, shu jumladan bakterial endotoksin – lipopolisakkaridga nisbatan yuqori yaqinlikka ega [6]. Ekstrakorporeal qonni tozalash uchun ishlatiladigan sorbentlar ikkita asosiy talabga javob berishi kerak. Birinchidan, ular butun qon yoki plazmadan maqsadli moddalarni samarali ravishda ajratib olishlari kerak, ikkinchidan, ular gemomos bo'lishi kerak.

Biomaterial yuzasida dastlab adsorbsiyalangan oqsil qatlami asosan ichki yo'l orqali koagulyatsiyaning faollashishi, yallig'lanishga olib keladigan leykotsitlarning faollashishi va trombotsitlarning yopishishi va faollashishi kabi salbiy reaksiyalarni qo'zg'atadi [7]. Natijada qon hujayralari soni kamayishi va tromb hosil bo'lishi mumkin. Shunday qilib, qo'llaniladigan qon bilan aloqa qiladigan biomateriallar qon tarkibiy qismlari bilan salbiy ta'sir o'tkazmasligi va qon tarkibiy qismlarini faollashtirmasligi yoki yo'q qilmasligi kerak [8].

Klinik qo'llashdan oldin qon bilan aloqa qiladigan tibbiy materiallarning gemo-mosligini tahlil qilish kerak va shuning uchun Xalqaro standartlashtirish tashkiloti (ISO 10993-4) tomonidan yo'riqnoma ishlab chiqilgan. Ushbu yo'riqnomaga ko'ra, gemomoslikni baholash uchun besh xil toifa: tromboz, koagulyatsiya, trombotsitlar, gematologiya va immunologiya ko'rsatilgan. Qurilmalar qon bilan aloqa qilish bo'yicha uchta toifaga bo'linadi: (1) bilvosita qon aloqasi bo'lgan tashqi aloqa qurilmalari,

masalan, kanallar va qon yig'ish to'plamlari; (2) To'g'ridan-to'g'ri qon bilan aloqa qiladigan tashqi aloqa qurilmalari, masalan, kateterlar va gemodializ uskunalar; (3) Implantatsiya asboblari, masalan, yurak klapanlari, stentlar va qon tomir greftlari [9].

Qon oqimi bilan aloqa qilganda sorbent qonning hosil bo'lgan elementlari tarkibida sezilarli o'zgarishlarga olib kelmasligi, komplementni faollashtirmasligi, tromb hosil bo'lishiga olib kelmasligi va qon tarkibini buzmasligi kerak. Sorbentlar, shuningdek, asosiy xususiyatlarini yo'qotmasdan, u yoki bu sterilizatsiya usuliga chidamli bo'lishi kerak.

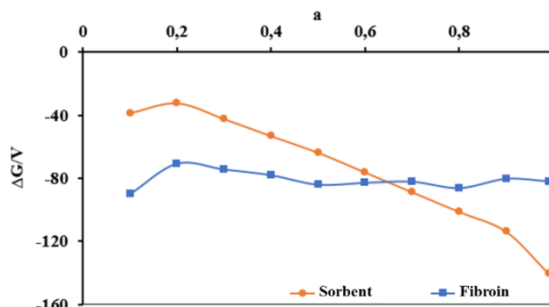
Tadqiqot metodlari va usullari. Fibroina va u asosida olingan sorbent namunalarining solishtirma sirt yuzalarini aniqlash maqsadida [10] adabiyotda keltirilgan usuldan foydalanildi. Ipakning tolali chiqindilaridan olingan sorbent namunalarini solishtirma sirt yuzasini Mak-Ben qurilmasi yordamida va Brunauer-Emmet-Teller (BET) nazariyasiga tayangan holda aniqlab chiqildi.

BET nazariyasi qattiq sirtida gaz molekularining sorbsiyasini aniqlashga qaratilgan va materiallarning o'ziga xos sirt yuzasini o'lchash uchun muhim tahlil usuli bo'lib xizmat qiladi [11]. BET nazariyasi ko'p qatlamli adsorbsiya tizimlariga taalluqli bo'lib, undan amalda sorbentlarning solishtirma sirt yuzasini aniqlash uchun sorbsiyada kimyoviy reaksiyaga kirishmaydigan gazlardan foydalanadi.

**Olingan natijalar va ularning muhokama.** Fibroin va u asosida gidrolizlash va modifikatsiyalash orqali olingan sorbentlarining kapillyar-g'ovak tuzilishi: solishtirma yuzasi va g'ovaklar o'lchami qiymatlari suv bug'larini sorbsiyalash orqali o'rganilgan hamda olingan izotermalar asosida adsorbentlar monoqavat sig'imi ( $\alpha_m$ ), solishtirma yuzalari (S) va to'yinish adsorbsiyasi ( $\alpha_s$ ), mikrog'ovaklar hajmi ( $W_0 \cdot 10^3$ ), mezog'ovaklar hajmi ( $W_{me} \cdot 10^3$ ), to'yinish hajmi ( $V_s \cdot 10^3$ ) hisoblab topildi [12]. Adsorbent+suv sistemasi uchun nisbiy bug' bosimi va erituvchi molekularining bog'liqligi tadqiq qilindi. Tekshirilayotgan namunalarning suv bug'i sistemasidagi termodinamik faolligini miqdoriy baholash uchun  $\Delta\mu_1$  erituvchi va  $\Delta\mu_2$  polimer kimyoviy potentsiallarini hisoblash asosida polimer erituvchining  $\Delta G_m$  o'rta erkin energiyasi va konsentratsiyaga bog'liqligi asosida Gibbs potentsiali  $\Delta G_i$  hisoblendi.

Ushbu jarayonda fibroin va sorbent namunalarining sub bug'lari bilan ta'sirini baholash uchun klasterlanish funksiyasi, klasterlar o'lchami, Flori-Xaggin parametrlari va De Bur Svikker modeli tadqiq qilindi.

Fibroin va sorbent namunalarining klasterlanish funksiyasini hisoblash uchun nisbiy bosimga ( $P_i/P_i^0$ ) bog'liqligi aniqlandi (1-rasm).

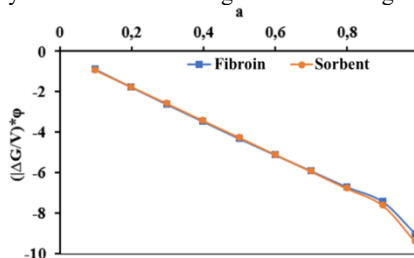


1-rasm. Sorbent va fibroin klasterlanish funksiyasi

Klasterlanish funksiyasining qiymati fibroin va sorbent namunalar uchun manfiy qiymatga ega ekanligi kuzatildi. Ideal holatdagi eritmalar uchun  $\Delta G_m$  ning qiymati konsentratsiyaga bog'liq bo'lmasdan har bir molekula uchun – qiymatlarni hosil qiladi. Termal polimerlar uchun  $\gamma_1 = \frac{a_1}{\phi_1}$  munosabatda  $\phi_1$  qiymati ortib borishi bilan  $G_{11}/v$  – qiymatdan musbat (+) qiymat tomon intiladi.

Bunday holatda  $G_{11}/v > 0$  munosabat o'rinni bo'lib klasterlar 1 ta molekula erituvchi ta'siri natijasida hosil bo'ladi. YA'ni erituvchining bitta erituvchi molekulasini polimer strukturasi kiradi polimer strukturasi o'zgartiradi natijada keyingi qo'shni molekularning kirishiga imkon yaratiladi. Bunday klasterlar hosil bo'lishi makromolekulalarning ichki qismlarida hosil bo'ladi.  $G_{11}/v < -1$  bo'lgan holatda esa polimer-erituvchi ta'sirida erituvchi molekulari polimerga sorbsiyalanishi ortib borganligini ko'rsatadi shu bois klasterlanish funksiyasi manfiy qiymatlarda bo'lishi kuzatiladi. Manfiy qiymat ortib borishi polimer-erituvchi ta'sirining yuqori bo'lishidan dalolat beradi.  $P_i/P_i^0 = 0.1-1$  bo'lgan holatda fibroin namunalarida erituvchining makromolekulalarga sorbsiyalanish jarayonida klasterlar hosil bo'lishida klasterlanish funksiyasi o'zgarasdan qolganligi kuzatildi. Sorbent namunalarda nisbiy bosim ortib borishi bilan klasterlanish funksiyasi ortib borganligi kuzatildi. Manfiy qiymatning ortib borishi namunalarda klasterlar hosil bo'lganligi bilan izohlanadi.

Namunalarning klasterlanish funksiyasi asosida hosil bo'lgan klasterlarning o'lchamlari aniqlandi (2-rasm).

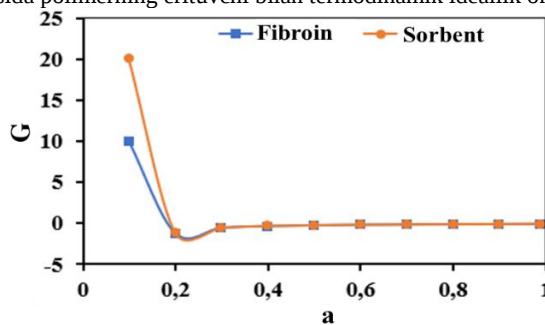


2-rasm. Sorbent va fibroin klaster o'lchamlari

Yuqorida keltirilgan 2-rasmdan ko'rinishim mumkinki, fibroin va sorbent namunalarida erituvchi molekulari bir xil o'lchamdagi klasterlar hosil qilganligi kuzatildi. Erituvchi molekulari polimerlar yuzasida klasterlar hosil bo'lganligi polimer-erituvchi ning manfiy qiymati kamayib borishi bilan klasterlar o'lchami ortib boradi. Klaster o'lchami ortib borishi bilan erituvchi molekulari bilan polimer ta'siri faqat sirt yuzada sodir bo'lganligi bilan izohlanadi. Erituvchi molekulari polimer sirt yuzasiga birinchi qavat erituvchi polimer o'zaro ta'sirlashishi erituvchining keyingi molekulari polimer bilan bilvosita ya'ni

birinchi qavatdagi erituvchi molekulalarning ustida yig'ilgan holatda joylashishi natijasida klastelar hosil qilib ta'sirlashishi kuzatiladi.

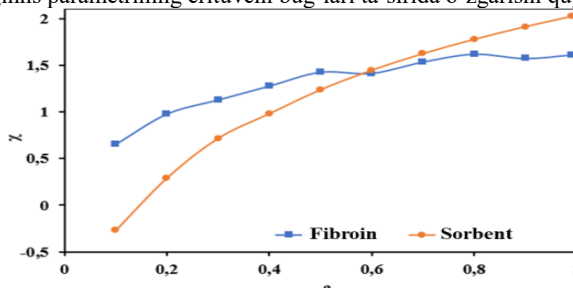
Klastatlanish funksiyasi asosida polimerning erituvchi bilan termodinamik ideallik omili tadqiq qilindi (3-rasm).



3-rasm. Sorbent va fibroin namunalarining termodinamik ideallik ko'rsatkichi

Yuqorida keltirilgan 3-rasmdan ko'rishimiz mumkinki, termodinamik ideallik faktori  $P_i/P_i^0 \approx 0.2$  gacha fibroin va sorbent namunalarida kamayib borishi kuzatildi. Termodinamik ideallik faktori fibroin va sorbent namunalari uchun 0 ga teng qiymatlarni hosil qildi. Bunda namunalar erituvchi molekulalarning fibroin va sorbent namunalari yuzasida erituvchi molekulalarning klastelarlar hosil qilganligidan dalolat beradi.

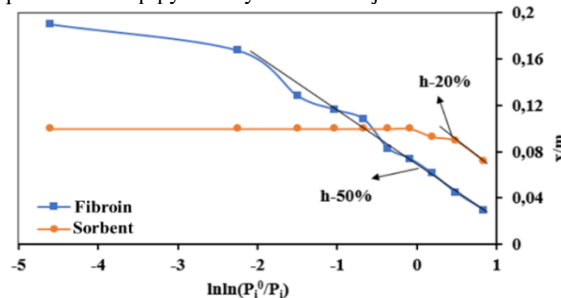
Flori-Xaggins parametrining qiymati erituvchi-polimer sistemalar uchun polimerning erituvchida erishiga qarab 3 xil holatda bo'ladi: polimer yaxshi eriydigan ( $\chi_{1,2} \leq 0$ ), polimer erimaydigan ( $\chi_{1,2} > 1$ ), polimer chekli eriydigan ( $\chi_{1,2} \rightarrow 1$ ) qiymati 1 ga yaqin kelganda holatda. Flori-Xaggins parametrining erituvchi bug'lari ta'sirida o'zgarishi quyida keltirildi (4-rasm).



4-rasm. Fibroin va sorbent namunalarining Flori-Xaggins parametrining ( $\chi(1,2)$ ) suv bug'lari faolligiga bog'liqligi

Fibroin va sorbent namunalarida nisbiy bosim ortib borishi bilan erituvchi bug'larining polimerlarga ta'siri ortishi natijasida Flori-Xaggins qiymati ortib boradi. Fibroin va sorbent namunalari suvda erimaydi. Biroq erituvchi molekulalari bilan ta'sirlashishi natijasida makromolekulalar yuzasida klastelarlar hosil qiladi. Natijada ushbu klastelerde makromolekulalar yuzasida erituvchi molekulalari bilan kimyoviy va fizik ta'sirlashish kuzatiladi.

Polimerlar-erituvchi ta'siri asosida polimerda haqiqiy sorbsiyalanish darajasi De Bur Svikker modeli asosida hisoblandi (5-rasm).



5-rasm. De Bur Svikker adsorbsiya modeli

De Bur Svikker modeliga ko'ra fibroin va sorbent makromolekulasiga sorbsiyalanish suv bug'lari mos ravishda  $h > 50$  va 20% dan ko'p miqdorda haqiqiy sorbsiyalanish jarayoni kuzatilgan. Bunda sorbsiyalanish polimer tarkibidagi funksional guruhlar, turli o'lchamli poralarga yutilishlar sodir bo'lgan. Fibroin va sorbent namunalarida kapillar kondensatsiya jarayoni ~50 va 80% atrofida sodir bo'lgan. Kapillar kondensatsiya jarayonida polimerning poralarida erituvchi molekulalari kondensatlanishi natijasida suyuq fazaga o'tishi jarayoni sodir bo'lganligi bilan izohlanadi.

Fibroin va sorbent namunalari erituvchi molekulalari bilan ta'sirlashish jarayonida klastelarlar hosil bo'lishi natijada namunalarning erituvchi molekulalari bilan ta'sirlashish imkoniyati kamayishi, nisbiy bosim ortib borishi bilan klastelarlar o'lchami sorbent namunalarida ortib borishi kuzatildi. Nisbiy bosim ortib borishi bilan namunalarda kapillar kondensatsiya jarayoni sodir bo'lganligi De Bur Svikker modeli asosida tasdiqlandi.

**Xulosa.** Sorbent namunalarining solishtirma sirt yuzasi, turg'un sorbsiya sig'imi hamda g'ovaklar hajmi fibroinga nisbatan sezilarli darajada ortdi. Bu esa sorbsion imkoniyatlarning kengayganligidan dalolat beradi. Tadqiqot davomida sorbsion izotermalar, Gibbs energiyasi, Flori-Xaggins parametri, klastatlanish funksiyasi va De Bur-Svikker modeli asosida polimer-erituvchi tizimlarida yuzaga keladigan jarayonlar tahlil qilindi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, sorbent namunalarida suv bug'lari bilan yuqori darajadagi sorbsiya va klastelarlar hosil bo'lish jarayonlari mavjud bo'lib, bu ularning yuqori sorbsion faolligiga sabab bo'ldi. Klastelar o'lchamlarining ortishi, erituvchi molekulalarining polimer yuzasida ko'p qavatli joylashuvi bilan izohlandi. Gibbs

energiyasining manfiy qiymati jarayonning o'z-o'zidan borishini tasdiqladi. Shuningdek, Flori-Xaggins parametri asosida sorbentlar suvda erimasligi, biroq erituvchi bilan o'zaro fizik-kimyoviy ta'sirda bo'lishini ko'rsatdi.

Ushbu ilmiy natijalar, sorbent sifatida modifikatsiyalangan fibroin asosidagi polimerlarning biomaterial sifatidagi istiqbolli qo'llanilishini asoslashga xizmat qiladi.

Ushbu tadqiqot ishi FL-8824063220 "Ikkinchi toifa qandli diabetning oldini olish uchun Bombyx mori oligopeptidlari asosida biologik faol qo'shimchalarini yaratishning ilmiy asoslari" mavzusidagi O'zbekiston-Belarus xalqaro qo'shma fundamental va AL-18-722212919 "Pillani qayta ishlash korxonalari tolali chiqindilari asosida original, polifunksional sorbent olish texnologiyasini yaratish" mavzusidagi amaliy loyihalar doirasida amalga oshirilgan.

#### ADABIYOTLAR

1. Huntrakul K., Harnkarnsujarit N. Effects of plasticizers on water sorption and aging stability of whey protein/carboxy methyl cellulose films //Journal of Food Engineering. – 2020. – T. 272. – C. 109809.
2. Lara B. R. B. et al. Water sorption thermodynamic behavior of whey protein isolate/polyvinyl alcohol blends for food packaging //Food Hydrocolloids. – 2020. – T. 103. – C. 105710.
3. Torres M. D. et al. Water adsorption isotherms of carboxymethyl cellulose, guar, locust bean, tragacanth and xanthan gums //Carbohydrate polymers. – 2012. – T. 89. – №. 2. – C. 592-598.
4. Bahloul N., Boudhrioua N., Kechaou N. Moisture desorption-adsorption isotherms and isosteric heats of sorption of Tunisian olive leaves (Olea europaea L.) //Industrial crops and products. – 2008. – T. 28. – №. 2. – C. 162-176.
5. Winchester J. F., Salsberg J. A. Sorbents in the treatment of renal failure //Minerva Urologica e Nefrologica= The Italian Journal of Urology and Nephrology. – 2004. – T. 56. – №. 3. – C. 215-221.
6. Ronco C. Endotoxin removal: history of a mission //Blood purification. – 2014. – T. 37. – №. Suppl. 1. – C. 5-8.
7. Liu X. et al. Blood compatible materials: state of the art //Journal of Materials Chemistry B. – 2014. – T. 2. – №. 35. – C. 5718-5738.
8. Weber M. et al. Blood-contacting biomaterials: in vitro evaluation of the hemocompatibility //Frontiers in bioengineering and biotechnology. – 2018. – T. 6. – C. 99.
9. Stoll H. et al. Generation of Large-Scale DNA Hydrogels with Excellent Blood and Cell Compatibility //Macromolecular Bioscience. – 2017. – T. 17. – №. 4. – C. 1600252.
10. Naderi M. Surface area: brunauer-emmett-teller (BET) //Progress in filtration and separation. – Academic Press, 2015. – C. 585-608.
11. Thommes M. Textural characterization of zeolites and ordered mesoporous materials by physical adsorption //Studies in surface science and catalysis. – Elsevier, 2007. – T. 168. – C. 495-XIII.
12. Sardorbek Y. et al. Adsorption properties of hemosorbent based on hydrolyzed natural silk fibroin //Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology. – 2021. – T. 22. – №. 71-72. – C. 201-207.