

## ЭНТЕРОСОРБЦИЯ КАК МЕТОД ВЫВЕДЕНИЯ ИЗ ОРГАНИЗМА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И РАДИОНУКЛИДОВ

Ю.А. Тарасенко, И.И. Геращенко, Н.Т. Картель

*Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко, НАН Украины,  
ул. Генерала Наумова, 17, Киев, 03164, Украина*

*В обзоре рассматриваются работы главным образом отечественных авторов, посвященные применению метода энтеросорбции для выведения из организма тяжелых металлов и радионуклидов. Энтеросорбенты сгруппированы по химическому принципу и представлены углеродными материалами, биополимерами, алюмосиликатами и глинистыми минералами. Высказано предположение, что данное направление будет развиваться по пути создания новых металлоселективных энтеросорбентов.*

Вред, наносимый организму человека избыточным поступлением тяжелых металлов, общеизвестен. Заметим сразу, что токсико-гигиеническое толкование термина «тяжелые металлы» является довольно широким: к ним относят, например, мышьяк, селен и литий [1], которые с позиций классической неорганической химии под данное определение не попадают. Поэтому, по мнению некоторых авторов, более точным будет определение «токсичные металлы». Ряд металлов (цинк, медь, марганец, кобальт), соединения которых ядовиты, в малых количествах играют важную роль в физиологических процессах организма. Некоторые другие, относящиеся к «примесным» элементам (мышьяк, кадмий, олово, хром, барий, ртуть, свинец, висмут, серебро и др.), в незначительных количествах постоянно присутствуют в организме, в основном в печени, не выполняя определенных физиологических функций, но и не принося вреда [2, 3]. Часть из них (ртуть, свинец, кадмий и др.) обладают свойством аккумулироваться в организме, что может послужить причиной хронических интоксикаций – микроэлементозов [4, 5]. Упомянутые три металла отнесены к загрязнениям окружающей среды глобального масштаба [3]. В организме обнаружены также следы таллия, индия, вольфрама, рения и других металлов, пребывание которых в органах и тканях носит непостоянный характер.

Токсическое действие тяжелых металлов на организм реализуется по двум основным направлениям: 1) связывание с аминокислотами, пептидами и белками; 2) вытеснение ионов металлов из биокомплексов, главным образом из ферментов [3]. Согласно первому пути ионы токсичных металлов, за исключением бериллия и бария, образуют хелаты с участием концевых amino- и карбоксильных групп и боковых функциональных групп ( $-SH$ ,  $-NH_2$ ,  $-OH$ ,  $-COOH$ ) в аминокислотных остатках полипептидной цепи. При этом ключевым механизмом считается взаимодействие ионов металлов с сульфгидрильными группами цистеина [6]. Это взаимодействие с учетом его практически необратимого характера приводит к нарушению структуры и функций белка, в первую очередь – ферментативной. (Один из примеров – болезнь Вильсона–Коновалова, патогенетическим звеном которой является эндогенная интоксикация ионами меди, образующими прочные связи с  $-SH$  группами оксидоредуктаз с последующим нарушением окислительно-восстановительных процессов в клетке [5].) Другой важный механизм – связывание металлов с белками через имидазольный цикл в составе гистидина [7]. По второму пути токсическое действие тяжелых металлов реализуется через такие механизмы, как вытеснение

катионов кобальта, марганца, железа и др. из относительно нестабильных биокомплексов чужеродными катионами меди или никеля с образованием более стойких хелатов [3]; замещение ионами кадмия ионов цинка во многих жизненно необходимых металлоферментах и, в меньшей мере, – ионов кальция в костной ткани (ионы кальция и кадмия имеют близкие радиусы) [8].

Проблема загрязнения окружающей среды и живых организмов радионуклидами стала особенно актуальной после аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС). Несмотря на то, что пик действия наиболее опасных короткоживущих элементов давно миновал (об этом, в частности, свидетельствуют результаты слежения за содержанием радионуклидов в крови людей в первые 12 месяцев после аварии [9]), медицина в наше время столкнулась с таким негативным явлением, как облучение малыми дозами радиации, источниками которой являются инкорпорированные в вещество скелета радионуклиды стронция, полония, плутония и др. [10].

Существуют три основных способа нейтрализации и выведения из организма тяжелых металлов и радионуклидов, которые с химической точки зрения характеризуются как: 1) осаждение, 2) комплексообразование, 3) сорбция (включая ионообменный механизм). По первому способу тяжелые металлы осаждают в виде нерастворимых сульфатов и сульфидов, используя в качестве антидотов растворы сульфата, тиосульфата или сульфида натрия. Второй способ основан на том, что комплексообразователи, среди которых унитиол, цистеин, димеркаптоянтарная кислота, пеницилламин, тетрациклин-кальций и др., формируют с катионами металлов более прочную связь, чем –SH группы белков. Образующиеся соединения малотоксичны, водорастворимы и легко выводятся с мочой. Осаждение и детоксикацию с помощью комплексообразователей (хелатотерапию) применяют для скорой или неотложной помощи в случае острых или хронических отравлений «металлическими ядами» [3, 5]. Связывание ионов металлов при осаждении и комплексообразовании практически необратимо, чего нельзя сказать об адсорбции (это подтверждается соответствующими константами равновесия или коэффициентами распределения). Поэтому детоксикацию с помощью адсорбции рассматривают, скорее, как способ постепенного выведения металлов и радионуклидов путем курсового приема энтеросорбентов (исключение составляет одноразовое введение большой дозы активированного угля в случае острого отравления токсичными металлами).

Лечебный метод энтеросорбции охватывает два последних способа выведения металлов – путем комплексообразования и адсорбции – при соблюдении следующих условий: а) сорбент или комплексообразователь вводят непосредственно в желудочно-кишечный тракт (ЖКТ); б) комплексообразователь в жидкой среде должен сохранять конденсированное состояние, хотя бы в виде набухающего геля. По медицинской традиции лекарственное средство, удовлетворяющее данным требованиям, независимо от способа связывания металлов называют «энтеросорбентом».

Для выведения токсичных металлов и радионуклидов предложено большое число неспецифических и специфических энтеросорбентов как природного, так и синтетического происхождения, которые можно разделить на четыре основные группы:

- углеродные сорбенты натурального происхождения и синтетические;
- природные полимеры: полисахариды и лигнин;
- алюмосиликатные и глинистые материалы: цеолиты, сапонит и др.;
- комбинированные препараты: смеси, композиты.

*Углеродные сорбенты.* Активированные угли, наряду с глинистыми минералами и цеолитами, являются, по-видимому, наиболее древними энтеросорбентами. Упоминание о лечебных свойствах древесных углей относится к временам Гиппократов. Медицинское применение углей стало достаточно популярным с конца 19-го – начала

20-го века (книга О. Каум «Активный уголь», 1933) при лечении многих экзо- и эндогенных интоксикаций, в том числе при отравлениях солями тяжелых металлов. Современные фармакопеи практически всех стран включают в свои перечни лекарственное средство «Уголь активированный» (*Carbo activatus*).

Активные угли получают из разных сырьевых источников растительного (древесина, косточки плодов, скорлупа орехов), животного (кости) и ископаемого (каменный и бурый угли, каменноугольные смолы, нефтяные пеки) происхождения. В последнее время в качестве сырья используются различные синтетические полимеры и смолы. В качестве базовой субстанции препарата «Уголь активированный» в Фармакопее бывшего СССР (ГФ X) длительное время служил уголь осветляющий ОУ, являющийся хорошо разактивированной модификацией березового угля БАУ, обладающего достаточно высокой удельной поверхностью (~ 300 м<sup>2</sup>/г) и неплохой поглотительной способностью в отношении органических веществ малой молекулярной массы (до 500–600 Дальтон). В дальнейшем для получения углей стали чаще использовать косточки абрикосов и персиков, скорлупу грецкого ореха. Достаточно высокую популярность приобрел препарат КАУ (косточковый активированный уголь). На его основе осуществляется выпуск энтеросорбентов марки «Карбовит» и «Карболонг». В настоящее время подобные препараты стали изготавливать из скорлупы кокосовых орехов.

Наряду с косточковыми углями в 70-х годах XX столетия, в основном усилиями украинской химической школы, были созданы новые поколения углеродных сорбентов из синтетического сырья гранулированного (сферы) и волокнистого типов – СУГС, СКН, СКС, АУВМ, которые по специфичности и емкости адсорбции превосходят КАУ. Структурной особенностью углеродных сорбентов является наличие разветвленной системы пор, благодаря чему их удельная поверхность может превышать 1000 м<sup>2</sup>/г [11] (для КАУ – не более 1000 м<sup>2</sup>/г). На основе этих углей были разработаны препараты «Энтеросорбент СКН», «Карбосфер», «Белосорб», «Энтеросорб» и др. При этом часто использовались окисленные разновидности синтетических углей, благодаря чему их терапевтическое действие усиливалось комплексообразующей и ионообменной функциями.

В работах [12–15] сообщается о возможности применения энтеросорбции углеродным энтеросорбентом СКН для демеркуризации организма беременных работниц ртутного производства (Никитовский ртутный комбинат, Донецкая обл.), а также для лечения больных хронической свинцовой интоксикацией – сатурнизмом. Показано, что в результате 2-недельной сорбционной терапии концентрация ртути в крови беременных уменьшается в 5–8 раз (рис. 1), приближается к норме содержание сульфгидрильных групп и биогенных аминов (серотонин, гистамин), наблюдается положительная динамика показателей ферментативной активности сыворотки крови и тканевых ферментов (катепсин, кислая фосфатаза, лактатдегидрогеназа, щелочная фосфатаза). Применение энтеросорбции дает возможность в 2–2,5 раза снизить частоту патологии беременности.

В результате курсового применения энтеросорбента СКН у больных хронической свинцовой интоксикацией происходит существенное уменьшение содержания свинца и копропорфирина в крови и δ-аминолевулиновой кислоты – специфического биохимического маркера микросатурнизма – в моче. Улучшаются показатели красной крови и электролитного обмена, а также функциональное состояние дыхательной и сердечно-сосудистой систем. В то же время уровни железа и меди в сыворотке крови изменяются незначительно. Параллельно в экспериментах *in vitro* установлено, что в ряду – СКНо, карболен, СКН-2М – наибольшую величину адсорбции ионов свинца из модельного раствора демонстрирует СКНо (окисленный) (рис. 2).

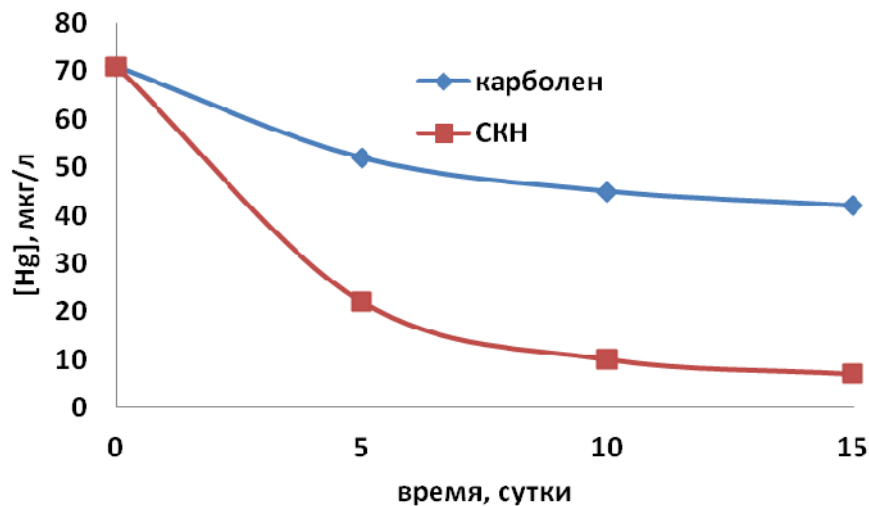


Рис. 1. Динамика уменьшения содержания ртути в крови при приеме энтеросорбентов.

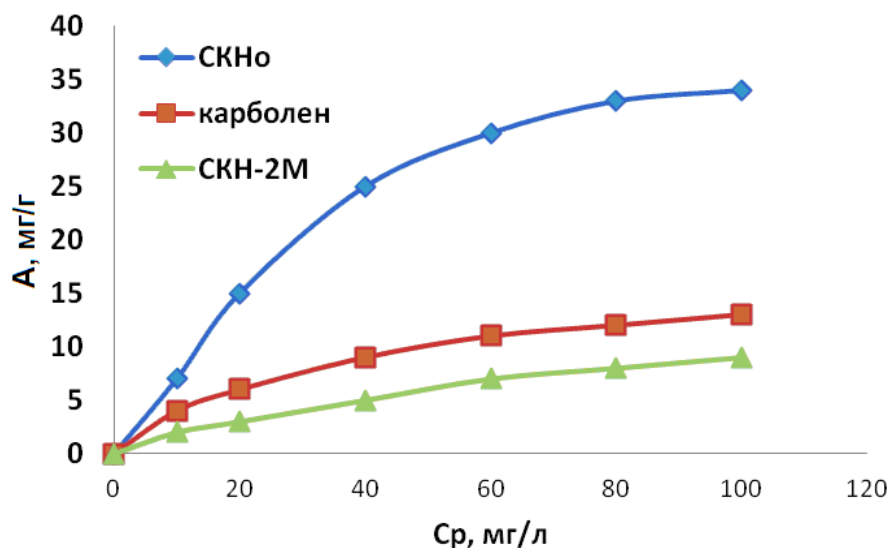
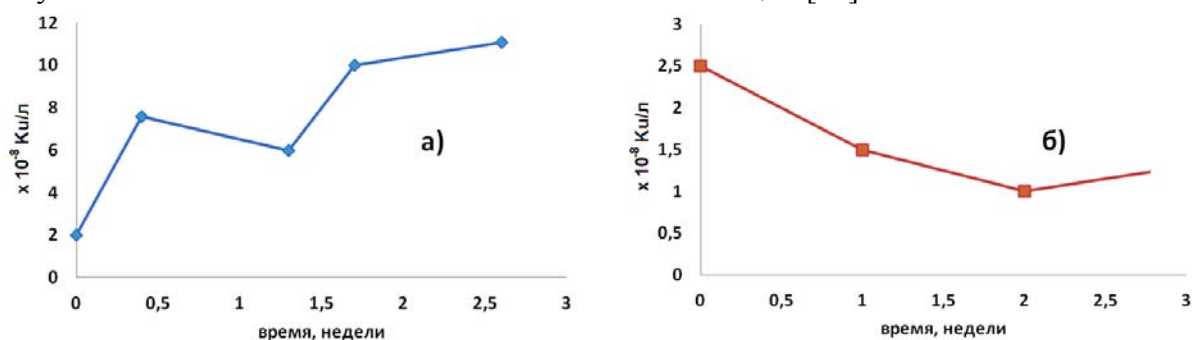


Рис. 2. Адсорбция ионов  $Pb^{2+}$  препаратами активированного угля из модельного раствора, содержащего  $PbCl_2$  и  $0,15\text{ M NaCl}$ , температура  $37^\circ\text{C}$ ,  $pH \sim 3$ .

Достичь определенной селективности углеродных сорбентов по отношению к тяжелым металлам можно путем подбора соответствующей пористой структуры и химии поверхности. Выполняя такие задания, необходимо учитывать особенности химического поведения тяжелых металлов, а именно, склонность их соединений к гидролизу, комплексообразованию, протеканию обменных и окислительно-восстановительных процессов. Кроме формирования заданной пористой структуры для придания селективности связывания токсичных металлов, используют такие приёмы, как введение в углеродную матрицу азота, серы и других гетероатомов, усиление ионообменных, восстановительных и каталитических свойств углей, создание на поверхности кислородсодержащих групп, прививка функциональных, в том числе медицинских, комплексообразователей, иммобилизация биологически активных молекул, создание композитов из активированных углей и минеральных сорбентов. Модифицированные и композиционные сорбенты на основе активированных углей демонстрируют эффективность при лечении больных с хронической интоксикацией кадмием, ртутью и свинцом [16].

Синтетические активные угли семейства СКН позитивно зарекомендовали себя в пик экологического бедствия (май–июнь 1986 года), когда они были использованы для выведения радионуклидов из организма людей, прибывших из зоны ЧАЭС (результаты 10-дневного лечения в стационаре приведены в [17]).

Методом энтеросорбции с помощью СКН было подвергнуто лечению 1300 ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, дозировка – три раза в день по 10 г до приема пищи. Путем регистрации удельной радиоактивности (Ки/л) определяли содержание рутения-103 в крови, моче и кале до и после 2-недельного курса лечения. В результате зарегистрировано существенное снижение содержания радионуклида в крови и моче и повышение в кале по сравнению с контрольной группой, в которой лечение энтеросорбентом не проводилось. Интересно отметить, что после окончания курса лечения, на третьей неделе, экскреция рутения-103 с мочой начинала несколько возрастать, что можно объяснить декорпорацией рутения из различных органов и тканей (рис. 3). В то же время происходило накопление радионуклида в кале как основном канале его выведения из организма, причем после 2-недельного курса энтеросорбции накопление рутения в кале происходило медленнее, поскольку было обусловлено лишь механизмом естественной элиминации [15].

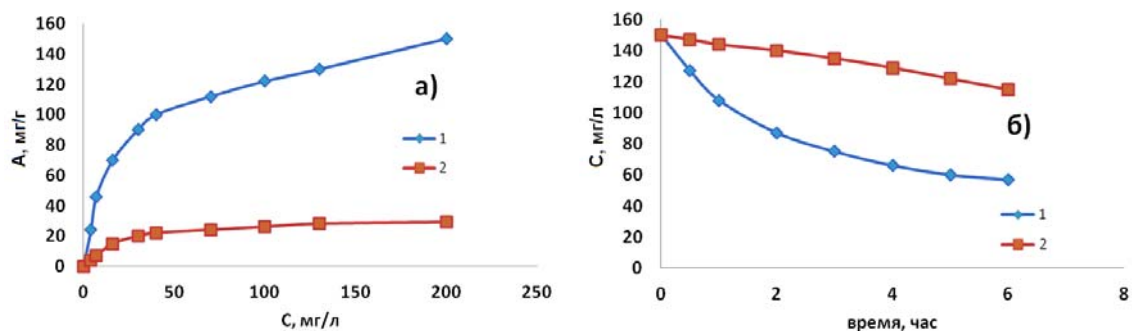


**Рис. 3.** Изменение содержания Ru-103 в кале (а) и моче (б) военнослужащих, работавших в зоне ЧАЭС, при курсовом приеме энтеросорбента.

Изучена адсорбция радиопротектора эфазола активированным (СКН-2М) и окисленным (СКНо) синтетическими углями из модельного физиологического раствора при рН ~ 3,65 и температуре 36±1°C. Проведение эксперимента мотивировано тем, что эфазол – комплекс хлорида палладия с эфедрином – после выполнения защитной функции должен выводиться из организма. Как было установлено, адсорбция эфазола на СКН-2М достигает ~150 мг/г, в то время как на СКНо лишь ~50 мг/г. Кинетические зависимости извлечения эфазола также свидетельствуют о более высокой активности активированного угля (рис. 4). Результаты рентгенофазового анализа показывают, что на поверхности активированного угля палладий находится в двух состояниях – в виде адсорбированных комплексов и в металлической форме, причем в области наиболее интенсивного поглощения (начальный участок изотермы) практически весь сорбированный палладий находится в виде металла. Между тем, на образцах СКНо сорбция палладия сопровождается только образованием адсорбированных комплексов [15].

В работе [18] проведено исследование сорбции ряда радионуклидов и тяжелых металлов из модельных растворов с разным рН с использованием широкого набора энтеросорбентов, среди которых СКН, АУВМ, КАУ, СУМС-1, карбовит, фосфат циркония, энтеросгель и др. Показано, что одни сорбенты более активны в кислой среде, другие – в нейтральной, третьи – в щелочной, при отсутствии четкой корреляции с типом сорбента. Таким образом, сочетание различных сорбентов может

обеспечить эффективное выведение из организма радионуклидов или тяжелых металлов на всем протяжении ЖКТ.



**Рис. 4.** Количество поглощенного палладия из физиологических растворов эфазола SKH-2M (1) и SKNo (2): а – изотермы сорбции; б – кинетика поглощения.

Белорусские медики представили результаты применения метода энтеросорбции в комплексном лечении хронических заблуждений ЖКТ у 139 детей, 99 из которых проживали в зоне загрязнения радиоцезием (средняя по группе доза облучения с 1986 по 1998 г. составляла около 12 бэр). При этом установлено, что углеродный волокнистый сорбент «Белосорб» по степени декорпорации цезия-137 из организма детей оказывает более выраженное действие, чем «Альгисорб», «Полифепан» и «Энтеросгель». Усилить эффект метода энтеросорбции удастся сочетанием его с ультрафиолетовым облучением крови (УФОК) [19].

Среди биополимеров для выведения тяжелых металлов и радионуклидов широкое применение нашли пектин, целлюлоза, альгиновая кислота и ее соли, хитозан, а также лигнин.

*Пектин* представлен линейными полимерами, построенными из частично этерифицированных метиловым спиртом остатков D-галактуроновой кислоты (пектиновые кислоты), и гетерополисахаридами, цепи которых состоят из D-галактуроновой кислоты и моносахаридов – D-галактозы, L-рамнозы и L-арабинозы (пектовые кислоты). Связь между остатками галактуроновой кислоты осуществляется посредством  $\alpha$ -1,4-гликозидной связи. Способность пектина образовывать комплексы зависит от содержания свободных карбоксильных групп, т. е. от степени этерификации метанолом. С уменьшением ее растет отрицательный заряд макромолекулы и, соответственно, связь пектиновых веществ с катионами усиливается, а константа устойчивости пектатов увеличивается. Исследование сорбционной активности полностью деметоксилированного пектина выявило, что катионы за способностью образовывать комплексы расположены в такой последовательности:  $Mn^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Co^{2+} > Pb^{2+} > Ni^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Cd^{2+}$  [20, 21].

В Киевском национальном университете им. Тараса Шевченко совместно со специалистами Института медицины труда НАМН Украины создан ряд комплексных препаратов на основе фруктового и свекольного пектинов в форме драже и таблеток, предназначенных для людей, которые работают и проживают в неблагоприятных условиях, а также разработана инструкция по пектинопрофилактике [22, 23]. Применение данных препаратов достоверно снижает концентрацию тяжелых металлов в крови беременных, родильниц и детей, существенно снижает содержание свинца и ртути у людей, которые имеют профессиональный контакт с этими металлами, а также значительно уменьшает содержание цезия-137 в организме детей и взрослых. При этом не зафиксировано снижение уровня железа, а концентрация полезного калия в некоторых случаях повышалась [22, 24]. В эксперименте на крысах доказана

эффективность применения свекольного пектина и пектинсодержащего драже в случае ртутной интоксикации [25].

В работе [26] приведены результаты гигиенического эксперимента по нейтрализации влияния тяжелых металлов окружающей среды на организм беременных (n=63), которые проживают в промышленно загрязненных районах г. Днепропетровска. С целью металлокоррекции в течение 21 суток применяли драже пектиновое. Повторное обследование установило снижение содержания свинца в крови у 75–80 % женщин, кадмия – у 50–80 %; одновременно зафиксировано увеличение в моче свинца у 60–70 %, кадмия – у 70–85 % беременных. Также отмечено снижение концентрации  $\delta$ -аминолевулиновой кислоты в моче. При этом в крови растет содержание микроэлементов, особенно железа, при достоверном снижении его количества в моче. Таким образом, пектинопрофилактика усиливает элиминацию токсичных металлов на фоне улучшения порфиринового обмена и сохранения микроэлементного баланса в организме беременных.

В работе [27] показано, что для профилактики нарушений кислородного статуса организма беременных в условиях техногенной нагрузки тяжелыми металлами (свинец, кадмий) целесообразно использовать отечественный препарат «Таблетки пектиновые», в состав которого входит пектинсодержащий свекольно-тыквенный порошок, яблочный пектин,  $\beta$ -каротин, лимонная кислота и сахар. Схема употребления препарата: 12 таблеток на сутки (3 г пектина), после еды, за 3–4 приема, запивая жидкостью, курс – 21 день.

*Целлюлоза* (линейный  $\beta$ -D-1,4-глюкан) – основной компонент природной клетчатки – относится к нерастворимым пищевым волокнам. Высоким содержанием пищевых волокон отличаются отруби злаковых культур. Заслуживает внимания полученная по специальной технологии микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ). Считается, что кроме общего положительного действия на работу ЖКТ, пищевые волокна выступают как фитосорбенты, связывая в числе многих экологически вредных веществ тяжелые металлы и радионуклиды [28, 29]. Хотя, учитывая отсутствие свободных карбоксильных групп – основных центров связывания ионов металлов, целлюлоза по адсорбционной активности уступает пектину и альгиновой кислоте.

*Альгиновая кислота* является блок-сополимером, который состоит из двух мономеров – остатков полиуроновых кислот,  $\beta$ -D-мануроновой и  $\alpha$ -L-гулуруновой, связанных в разных пропорциях в линейные цепи посредством 1,4-гликозидной связи. Источник получения – бурые водоросли, в частности ламинария японская («морская капуста») [20]. Альгинаты в организме человека не перевариваются и выводятся через кишечник. Сорбционные свойства альгинатов заключаются в связывании ионов тяжелых металлов через механизмы ионного обмена и комплексообразования, в которых задействованы карбоксильные группы полиуроновых кислот. В работе [30] показано, что введение энтеросорбента «Альгигель» (кальция альгината) и карнитина хлорида животным с острым отравлением этанолом на фоне длительного введения солей свинца и кадмия предотвращает нарушение показателей гуморального звена иммунитета, в том числе приводит к норме концентрацию циркулирующих иммунных комплексов и иммуноглобулинов А, М и G.

В Научном центре радиационной медицины НАМН Украины на основе альгиновой кислоты разработана диетическая добавка «Эламин», способствующая выведению из организма тяжелых металлов и радионуклидов – стронция-90 и цезия-137. Добавленный к пище, эламин начинает образовывать комплексы с металлами еще до их поступления в ЖКТ, проявляя, таким образом, профилактическое действие. В организме процессы сорбции продолжаются [31].

*Хитозан* – искусственный азотсодержащий полисахарид, который получают из природного полимера хитина (содержится в панцире ракообразных, насекомых и в грибах). По химическому строению хитозан является  $\beta$ -(1-4)-2-амино-2-дезоксид-Д-гликополисахаридом. Свободные аминогруппы в составе молекулы хитозана дают возможность присоединять ионы водорода с приобретением позитивного заряда. Отсюда вытекают катионообменные свойства хитозана, а также способность связывать и прочно удерживать ионы металлов, в том числе радионуклидов и других токсичных элементов.

В работе [32], где хитозан назван «сорбентом XXI века», сообщается, что его первичные аминогруппы в десятки раз превосходят ионообменные смолы по эффективности связывания тяжелых металлов и радионуклидов. Кроме этого хитозан проявляет антиоксидантное действие, фиксируя ионы  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , которые являются катализаторами окислительных процессов. Способность хитозана к выведению тяжелых металлов показана в эксперименте на кроликах, получавших 0,7 г хитозана на 1 кг массы тела на протяжении двух недель. У опытных животных предварительно отмечалось повышенное содержание в крови свинца, никеля, железа, кобальта и марганца и снижение концентрации меди и цинка. Применение хитозана достоверно снижает уровень свинца на 64,4 %, никеля – на 68,55 % и железа – на 35,3 %. Вместе с выведением тяжелых металлов хитозан способствует улучшению гематологических показателей.

*Лигнин* получают как побочный продукт в процессе переработки древесины. По химической структуре он представляет собой полимерное производное фенилпропана. На основе лигнина разработано несколько поколений энтеросорбентов, родоначальником среди которых является «Полифепан». Спектр адсорбционной активности лигнина включает токсины экзо- и эндогенной природы, аллергены, ксенобиотики, тяжелые металлы, радионуклиды, аммиак, двухзарядные катионы. Опыт клинического применения лигнина, в том числе с целью выведения токсичных металлов, приведен в монографии [33].

В Институте химии поверхности им. А.А. Чуйко НАН Украины разработан функциональный пищевой продукт на основе лигноцеллюлозных сорбентов «Целисорб», который получают из биополимеров растительного происхождения переработкой отходов агропромышленного сектора. Сырьем служит доступный и дешевый материал – лузга, кочерыжки, скорлупа косточек и орехов, выжимки, шелуха зерен и др. Рафинирование биополимеров из указанного сырья позволяет использовать их функциональные группировки для комплексообразующего связывания ионов переходных и тяжелых металлов. Пищевая добавка «Целисорб» неплохо проявляет себя при лечении интоксикаций, в том числе обусловленных действием ядовитых металлов, а также обладает декорпорирующей способностью по отношению к радиоцезию, накопившемуся в живом организме. Еще более впечатляющий эффект проявляется при модифицировании лигноцеллюлозных сорбентов нанокластерами ферроцианидов некоторых d-металлов. Так, избирательность поглощения цезия-137 с помощью модифицированной добавки «Целисорб» ферроцианидами кобальта и никеля достигает высоких значений даже из сложных технологических растворов или биологических жидких сред ( $K_d \sim 2 \cdot 10^5$  мл/г). При этом сорбент сохраняет поглотительную способность в отношении органических веществ и ионов тяжелых металлов ( $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ). Таким образом, высокодисперсные лигноцеллюлозные материалы с нанодобавками ферроцианидного типа могут рассматриваться как эффективные энтеросорбенты с высокой биосовместимостью, способные решать сложную задачу одновременного выведения из организма тяжелых металлов и радионуклидов.



Известен опыт применения алюмосиликатных и глинистых веществ для очистки воды и выведения тяжелых металлов и радионуклидов из организма сельскохозяйственных животных [34–37]. Хотя данные направления не связаны прямо с медициной, все равно их конечной целью является профилактика заболеваний человека, обусловленных металлическими интоксикациями и радиоактивным облучением. Учитывая способность отдельных представителей этой группы материалов, в первую очередь цеолитов и монтмориллонитовых глин, селективно поглощать ионы металлов, можно прогнозировать разработку на их основе эффективных энтеросорбентов, предназначенных и для людей.

Структура *цеолитов* представлена трехмерным каркасом, который сформирован кремний- и алюмоокислородными тетраэдрами, соединенными общими вершинами. Каналы, или поры, внутри каркаса, имеющие размеры порядка 0,3 – 1,0 нм [38], заполнены катионами и молекулами воды. Таким образом, адсорбция ионов металлов цеолитами в основном протекает по ионообменному механизму. В работе [36] изучено поглощение природным цеолитом – клиноптилолитом Сокирницкого месторождения Закарпатской области, и синтетическими цеолитами NaX и NaA ионов цезия из модельных растворов. Показано, что клиноптилолит не уступает по сорбционным свойствам синтетическому цеолиту NaX: коэффициент сорбции цезия в обоих случаях составляет около 80 %. Высокие сорбционные свойства клиноптилолита в отношении ионов цезия обусловлены присутствием крупных пор и наличием восьмичленных кремний-кислородных колец с размерами, близкими к размеру сорбируемых ионов цезия.

После аварии на ЧАЭС началось интенсивное изучение возможности выведения радионуклидов из организма сельскохозяйственных животных путем добавления к кормам различных сорбирующих добавок. В ходе исследований весьма позитивно зарекомендовал себя *сапонит* – глинистый минерал монтмориллонитовой группы слоистого строения с высоким содержанием магния. В частности показано, что введение в корм свиней 10 % комплексной сапонитовой добавки существенно снижает содержание цезия-137 в мясе и стронция-90 в костях животных. Установлено также, что скармливание сапонита дойным коровам снижает  $\beta$ -активность в молоке на 18,8 % и содержание цезия-137 на 9,5 % по сравнению с контролем [37].

*Комбинированные энтеросорбенты.* Как пример, можно привести препарат «Ультрасорб», представляющий собой смесь диспергированного окисленного угля, модифицированного катионами  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  и  $Zn^{2+}$ , и природного сорбента на основе минерала палыгорскита, обработанного ферроцианидом меди, в соотношении 2 : 3. Углеродный компонент препарата селективно связывает и удаляет из организма радионуклиды, осуществляет коррекцию микроэлементного состава организма, снижает концентрацию перекисей липидов и свободных радикалов. Минеральный компонент избирательно сорбирует цезий, положительно влияет на переваривание питательных веществ. Доказана эффективность ультрасорба как компонента комплексного лечения хронического гепатита у людей, пострадавших в результате аварии на ЧАЭС, а также при интоксикациях различного происхождения [11, 39].

Таким образом, ретроспективный анализ литературы показывает, что энтеросорбция является весьма эффективным методом декорпорации токсичных металлов и радионуклидов как в экстренных ситуациях, так и при проведении плановой детоксикации организма. Возможности метода далеко не исчерпаны, его дальнейшее развитие, очевидно, пойдет по пути создания новых высокоспецифичных энтеросорбентов.

## Литература

1. Никитин А.Т. Экология, охрана природы, экологическая безопасность. – М.: изд-во МИНЭПУ, 2000. – 648 с.
2. Москалев Ю.И. Минеральный обмен. – М.: Медицина, 1985. – 288 с.
3. Зеленин К.Н., Алексеев В.В. Химия. – СПб.: ЭЛБИ-СПб., 2003. – 712 с.
4. Микроэлементозы человека / А.П. Авцын, А.А. Жаворонков, М.А. Риш, Л.С. Строчкова. – М.: Медицина, 1991. – 496 с.
5. Клінічна біохімія / Д.П. Бойків, Т.І. Бондарчук, О.Л. Іванків та ін.; За ред. О.Я. Склярора. – К.: Медицина, 2006. – 432 с.
6. Торчинский Ю.М. Сера в белках. – М.: Наука, 1977. – 303 с.
7. Крамаренко В.П. Токсикологічна хімія. – К.: Вища шк., 1995. – 423 с.
8. Координационные соединения металлов в медицине / Е.Е. Крисс, И.И. Волченскова, А.С. Григорьева и др. – Киев: Наук. думка, 1986. – 216 с.
9. Сорбционные способы лечения при поражении инкорпорированными радионуклидами. Метод. рекомендации / Деденко И.К., Захараш М.П., Софиенко Г.И. и др. – Киев, 1989. – 19 с.
10. Барабой В.А. От Хиросимы до Чернобыля. – Киев: Наук. думка, 1991. – 128 с.
11. Николаев В.Г., Михаловский С.В., Гурина Н.М. Современные энтеросорбенты и механизмы их действия (Обзор) // Эфферентная терапия. – 2005. – Т. 11, № 4. – С. 3–17.
12. Свиридова В.В. Профилактика осложнений беременности, родов и послеродового периода у женщин, контактирующих с ртутью: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Киев, 1989. – 21 с.
13. Use of Extracorporeal Hemoperfusion and Oral Carbon Sorbents in the Treatment of Heavy Metals Poisoning / Y. Tarasenko, R. Novikova, V. Shano et al.// Abs. XVII Congress of the Eur. Soc. of Artificial Organs (Bologna, Sept. 19–22, 1990).
14. Выведение ртути и свинца из организма методом энтеросорбции / В.В. Стрелко, Ю.А. Тарасенко, В.К. Марданенко и др. // Тез. наук.-практ. конф. «Сорбционные средства и методы экологической защиты человека и животных» (июль 1992 г., г. Гомель). – С. 12–13.
15. Тарасенко Ю.А. Восстановительная сорбция благородных металлов. Дисс. ... д-ра хим. наук. – Минск: Белорус. гос. ун-т, 1991. – 298 с.
16. Тарасенко Ю.А., Багреев А.А., Берестецкий В.И. Энтеросорбенты для выведения тяжелых металлов из биологических сред // Тез. Междунар. симп. «Эндогенные интоксикации» (14–16 июня 1994 г., г. Санкт-Петербург). – С. 248.
17. Энтеросорбция: состояние, проблемы и перспективы применения / В.И. Давыдов, С.С. Ставицкая, В.В. Стрелко, Н.Т. Картель. – Киев: Ин-т сорбции и проблем эндоэкологии АН Украины, 1993. – 68 с.
18. Деденко И.К., Стариков А.В., Стрелко В.В. Эфферентные методы лечения лучевых повреждений. – К.: Нора-принт, 1996. – 412 с.
19. Комбинация методов эфферентной терапии в комплексном лечении детей, подвергшихся радиоактивному заражению в результате катастрофы на ЧАЭС. Метод. рекомендации. – Минск: МЗ Респ. Беларусь, 2001. – 51 с.
20. Виробництво та використання пектинів у харчовій промисловості / За ред. І.С. Гулого, М.П. Купчика. – Харків: Видавець Шуст А.І., 2001. – 120 с.
21. Донченко Л.В., Фирсов Г.Г. Пектин: основные свойства, производство и применение. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 276 с.
22. Как сохранить здоровье? Украинские пищевые биологически активные добавки / Под ред. С.А. Лесник, С.В. Фус. – Киев: Нора-принт, 1999. – 114 с.

23. Демченко П.І. Біопротекція як пріоритетна проблема профілактичної медицини на прикладі пектинів // Тез. докл. науч.-практ. конф. «Биологически активные вещества: фундаментальные и прикладные вопросы получения и применения» (25 – 30 мая, 2009 г., пос. Новый Свет, Украина). – Киев: Изд. В.С. Мартынюк, 2009. – С. 253.
24. Короленко Т.К. Використання пектинових препаратів при хронічній інтоксикації свинцем в умовах виробництва // Там же. – С. 323.
25. Козлов К.П. Порівняльна характеристика пектинових препаратів при ртутній інтоксикації // Там же. – С. 329.
26. Оцінка ефективності профілактичного використання природних ентеросорбентів / Е.М. Білецька, Т.А. Головова, Т.Д. Землякова та ін. // Сб. статей науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы нутрициологии. Роль биологически активных добавок в обеспечении здоровья населения» (4–5 ноября 2004 г., г. Днепропетровск). – С.22–25.
27. Лещева Т.В. Кисневий статус організму вагітних та його корекція в умовах техногенного навантаження важкими металами: Автореф. дис. ... канд. мед. наук.– КМАПО ім. П.Л. Шупика. – К., 2003. – 20 с.
28. Николаев В.Г., Гурина Н.И. Сорбционные материалы и механизмы действия // Эл. журн. «Клин. эфферентология». – 2010.– № 4, [http:// www.efferens.dsmu.edu.ua/](http://www.efferens.dsmu.edu.ua/) или <http://kiulong.com.ua/content/view/66/1/>.
29. Геращенко І.І. Ентеросорбенти: лікарські засоби і дієтичні добавки. – К., 2014. – 249 с.
30. Демків І.Я. Вплив ентеросорбенту «Альгігель» та карнітину хлориду на стан гуморальної ланки імунітету тварин з гострим отруєнням етанолом на фоні тривалого введення солей свинцю і кадмію // Світ медицини та біології. – 2008. – Ч. 3, № 2. – С. 17–19.
31. Дерев'янюк Л.П., Борисов Б.М., Соколовська О.П. Оцінка медико-біологічної дії еламіну з морської водорості ламінарії за результатами експериментальних та клінічних досліджень // Пробл. еколог. та мед. генетики і клін. імунології / Зб. наук. праць. – 2004. – Вип. 7(60). – С. 187–195.
32. Душкин М.И. Возможности и перспективы применения хитозановых сорбентов для общей детоксикации организма в условиях техногенного загрязнения, [http://altermed.com.ua/lib\\_8308-8318.html](http://altermed.com.ua/lib_8308-8318.html).
33. Леванова В.П. Лечебный лигнин. – С.Пб.: Центр сорбцион. технологий, 1992. – 160 с.
34. Сорбция  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  глинополимерными (нано)композитами из солевых растворов/А.Н. Розко, Ю.Г. Федоренко, Б.Г. Шабалин, Т.И. Коромисличенко // Пошукова та екологічна геохімія. –2013. –№ 1 (13). –С. 20–24.
35. Сорбція іонів кобальту, хрому та урану Fe/Ti-пілардованим монтмориллонітом / І.В. Пилипенко, І.А. Ковальчук, В.В. Веремеєнко, Л.М. Спасьонова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – вип. 4/6 (70). – С.57 – 61.
36. Процессы динамической сорбции цезия цеолитами из водных растворов/ А.Ю. Лонин, В.В. Левенец, А.П. Омельник и др. // Збірник наукових праць СНУАЕтаП. – 2013. – С. 134–139.
37. Традиційні і нетрадиційні мінерали у тваринництві / М.Ф. Кулик, Т.В. Засуха, І.М. Величко та ін. – К.: Вид-во “Сільгоспосвіта”, 1995. – 248 с.
38. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. – М.: Мир, 1976. – 784 с.
39. Оценка эффективности и переносимости препарата «Ультрасорб» в комплексной терапии при интоксикации различного генеза / Н.Т. Картель, С.С. Ставицкая, В.В. Стрелко и др. // Эфферентная терапия.– 2005. – Т. 11, № 2. – С. 27–35.

## **ЕНТЕРОСОРБЦІЯ ЯК МЕТОД ВИВЕДЕННЯ З ОРГАНІЗМУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ І РАДІОНУКЛІДІВ**

**Ю.О. Тарасенко, І.І. Геращенко, М.Т. Картель**

*Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка Національної академії наук України,  
вул. Генерала Наумова, 17, Київ, 03164, Україна*

*В огляді розглядаються роботи насамперед вітчизняних авторів, які присвячені застосуванню методу ентеросорбції для виведення з організму важких металів і радіонуклідів. Ентеросорбенти згруповані за хімічним принципом і представлені вуглецевими матеріалами, біополімерами, алюмосилікатами та глинистими мінералами. Висловлено припущення, що цей напрям розвиватиметься шляхом створення нових металоселективних ентеросорбентів.*

## **ENTEROSORPTION AS A METHOD OF ELIMINATION OF HEAVY METALS AND RADIONUCLIDES FROM THE ORGANISM**

**Yu.A. Tarasenko, I.I. Gerashchenko, N.T. Kartel'**

*Chuiko Institute of Surface Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine,  
17 General Naumov Str., Kyiv, 03164, Ukraine*

*The works mainly of home authors, devoted to use of method of enterosorption for a removal of heavy metals and radionuclides from the organism, are examined in a review. The enterosorbents are grouped on chemical principle and presented by carbon materials, biopolymers, aluminosilicates and clay minerals. It is supposed, that this direction will develop on the way of creation of new sorbents with high selectivity to the metals.*