

Активные угли как важный фактор устойчивого развития экономики и качества жизни населения

© 2021. В. М. Мухин¹, д. т. н., профессор, начальник лаборатории,
Н. В. Королёв², к. х. н., директор,

¹АО «Электростальское научно-производственное объединение «Неорганика»,
144001, Россия, г. Электросталь, ул. К. Маркса, д. 4,
²АО «ТопПром»,
654007, Россия, г. Новокузнецк, пр-т Н. С. Ермакова, д. 9А,
e-mail: victormukhin@yandex.ru, nvkorolev@mail.ru

В статье обоснован магистральный путь защиты биосферы с использованием активных углей (АУ). Дано современное определение АУ как материала с развитой пористой структурой, имеющего высокие поглотительные характеристики по примесям, находящимся в очищаемых средах (воздух, газы, вода и растворы). Предложен новый подход к оценке адсорбционных свойств АУ, обоснованный академиком М.М. Дубининым, через адсорбционную активность на единицу объёма АУ ($\text{мг}/\text{см}^3$). Показана возможность эффективного использования АУ в экологических технологиях защиты биосферы от поллютантов. Определены наиболее важные направления применения АУ, обеспечивающие детоксикацию почв, очистку питьевой и сточных вод от загрязняющих веществ, очистку отходящих газов мусоросжигательных заводов. Показано, что внесение в загрязнённую гербицидами почву АУ в дозах 100–200 кг/га позволяет не только повысить урожайность сельхозкультур на 20–80%, но и получить экологически чистую продукцию растениеводства. Обосновано, что АУ марки ДАС на основе антрацита с высокой объёмной микропористостью ($0,17 \text{ см}^3/\text{см}^3$) существенно повышают эффективность очистки питьевой и сточных вод. Так, сорбционная ёмкость ДАС по фенолу, как наиболее распространённому загрязнителю природных и сточных вод, в 2,5–3,5 раза выше, чем у промышленного сорбента КАД-И на основе каменноугольного полукокса. Освещён ряд проблем защиты атмосферы с использованием АУ. Подчёркнута важная роль в применении АУ для детоксикации поллютантов организме человека. Описаны новые перспективные технологии производства АУ. Обоснована потребность в АУ для Российской Федерации в объёме не менее 70000 т/год, позволяющая обеспечить устойчивое развитие экономики и повышение качества жизни населения.

Ключевые слова: загрязнение окружающей среды, активный уголь, сорбент, технологии защиты биосферы, литосфера, детоксикация почв, гидросфера, очистка воды, атмосфера, мусоросжигательные заводы.

Active carbons as an important factor in the sustainable development of the economy and the quality of life of the population

© 2021. V. M. Mukhin¹ ORCID: 0000-0002-7430-1231, N. V. Korolev² ORCID: 0000-0002-2043-2666,
¹Elektrostal's scientific-production association "Neorganica",
4, Karla Marksa St., Elektrostal, Russia, 144001,
²Topprom,
9A, Ermakova St., Novokuznetsk, Russia, 654007,
e-mail: victormukhin@yandex.ru, nvkorolev@mail.ru

The article indicates the severity of the environmental threats and pollution of the biosphere. The main route of protection of the biosphere with the use of active carbons (AU) is justified. A modern definition of activated carbon is given as a material with a developed porous structure, having high absorption characteristics for impurities found in the media to be cleaned (air, gases, water and other liquids). A new approach to the evaluation of the adsorption properties of AU, justified by Academician M.M. Dubinin through the adsorption activity per unit volume of AU (mg/cm^3), is proposed. The possibility of effective use of activated carbon in environmental technologies for the protection of the atmosphere, hydrosphere, lithosphere and man himself as the main object of the biosphere is shown. Special emphasis is placed on the coverage of the most important areas of application of AU that ensure the environmental safety of the Russian Federation, namely, detoxification of soils from pesticide residues, purification of drinking water and wastewater, treatment of waste gases from incinerators. It is shown that the introduction of AU in doses of 100–200 kg/ha into herbicide-contaminated soil allows not only to increase crop yields by 20–80%, but also to obtain environmentally friendly

crop products. It is proved that active carbons of the DAS brand based on anthracite with a high volume microporosity ($0.17 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) significantly increase the efficiency of drinking water and wastewater treatment. Thus, the sorption capacity of DAS for phenol, as the most common pollutant of natural and waste water, is 2.5–3.5 times higher than that of the industrial sorbent KAD-I based on coal semi-coke. A number of problems of protection of the atmosphere with the use of AU are highlighted. The important role in the use of AU for detoxification of the human body is emphasized. New promising technologies of AU production are described. The need for AU for the Russian Federation in the amount of at least 70,000 tons/year is justified, which allows for the sustainable development of the economy and improving the quality of life of the population.

Keywords: environmental pollution, active carbons, sorbent, biosphere protection technologies, lithosphere, soil detoxification, hydrosphere, water treatment, atmosphere, incineration plants.

В настоящее время практически вся планета Земля, особенно районы массового проживания людей, подвержены серьёзным экологическим угрозам, главными из которых являются: радиационное загрязнение территорий, подкисление почв кислотными дождями, загрязнение почв химическими веществами, в том числе пестицидами, разливы нефти на суше и в море, разрушение атмосферы. Загрязнение биосферы резко снижает качество жизни людей. Так, по данным ВОЗ (2002 г.), факторы, влияющие на здоровье человека: питание и образ жизни (51%), состояние окружающей среды (ОС) (39%), развитие медицины (10%) [1–4].

Проблема глобального загрязнения ОС поднималась российским учёным, профессором МХТИ им. Д.И. Менделеева Н.В. Кельцевым, предложившим магистральный путь разрешения ситуации. Он писал: «В настоящее время, когда вопрос жизни и смерти стоит уже не только перед армией, но и перед всем человечеством, обеспокоенным катастрофическим загрязнением биосферы, настало время вновь обратиться за помощью к адсорбции – одному из самых эффективных методов защиты ОС от загрязнений» [5].

В силу своих физико-химических свойств углеродные адсорбенты (активные угли) являются уникальными и идеальными сорбционными материалами, которые позволяют решать большой круг вопросов обеспечения экологической безопасности человека, ОС и инфраструктуры [6–15].

Активные угли (АУ) – это высокопористые материалы, получаемые в виде зёрен или порошка на основе различного углеродосодержащего сырья, обладающие развитой внутренней поверхностью (до $2500 \text{ м}^2/\text{г}$) и имеющие высокие поглотительные характеристики по примесям, находящимся в очищаемых средах (воздух, газы, вода и растворы, почва).

В качестве исходного сырья для получения таких АУ могут использоваться различные углеродосодержащие материалы

[16–18]. Активные угли – это второй по широте применения (после железа) материал на Земле (не по объёму производства, а по областям применения). Однако по величине своей поверхности АУ – это первый материал на планете. Если раскатать 1 т железа в лист, то площадь его поверхности будет около 100 м^2 , а в 1 т АУ поверхность раздела фаз составляет около 1000 км^2 . В столовой ложке АУ поверхность раздела фаз равна площади футбольного поля. Активный уголь широко применяется во многих сферах экономики, экологии и обороны страны [19–22].

Цель работы: показать выдающуюся роль АУ в обеспечении экологической безопасности и защиты ОС от техногенных загрязнений и определить перспективные технологии производства АУ.

Объекты и методы исследования

Исследовали применение АУ в различных аспектах защиты биосферы: детоксикации почв сельхозугодий, очистке питьевой и сточной вод, воздуха, а также применении АУ в обеспечении здоровья человека. В качестве сырья для получения АУ использовались каменные угли различных степеней метаморфизма. Обработка полученных результатов осуществлялась согласно действующих нормативно-методических документов и с учётом научных разработок. Приведённые в таблицах значения являлись среднеарифметическими из трёх измерений при стандартном отклонении $\pm 5,0\%$.

Области использования активных углей

В таблице 1 приведены основные экологические технологии использования АУ в защите всех частей биосферы: атмосферы, гидросферы, литосферы и человека, как главного объекта биосферы.

Рассмотрим наиболее важные направления применения АУ, обеспечивающих

Экологические технологии использования активных углей
Environmental technologies for the use of active carbons

Составляющая биосферы Component of the biosphere	Направления использования активных углей Directions of using active carbons
Атмосфера Atmosphere	Рекуперация растворителей, санитарная очистка отходящих газов, в том числе сероочистка, система газоочистки АЭС, улавливание паров бензина, выделяемых автотранспортом, уничтожение химического оружия, уничтожение твёрдых бытовых отходов, очистка воздуха, поступающего в жилые и рабочие помещения (кондиционирование воздуха) Solvent recovery, sanitary treatment of waste gases, including desulphurization, nuclear power plant gas treatment system, capture of gasoline vapors released by vehicles, destruction of chemical weapons, destruction of solid household waste, cleaning of air entering residential and working premises (air conditioning)
Гидросфера Hydrosphere	Очистка питьевой воды, обезвреживание сточных вод, переработка жидких радиоактивных отходов, добыча золота и цветных металлов Drinking water treatment, waste water treatment, liquid radioactive waste processing, gold and non-ferrous metals mining
Литосфера Lithosphere	Защита почв от ксенобиотиков, в том числе пестицидов, ремедиация почв, зоны санитарной охраны водисточников Soil protection from xenobiotics, including pesticides, soil remediation, sanitary protection zones for water sources
Здоровье человека Human health	Средства индивидуальной и коллективной защиты фильтрующего типа, производство химико-фармацевтических препаратов, витаминов, антибиотиков, энтеро- и гемосорбция, получение экологически чистой пищи Individual and collective protective equipment of filter type, production of chemical-pharm preparations, vitamins, antibiotics, entero- and hemosorption, production of environmentally friendly food

экологическую безопасность Российской Федерации (РФ).

Защита почв сельхозугодий от загрязнения

Особо значимая угроза заключается в снижении плодородия почв и полном истощении сельхозугодий в результате техногенной деятельности. Почвы сельхозугодий составляют всего 6% от общей территории суши, причём почти 30% самых плодородных почв – чернозёмов – принадлежит России. Учитывая, что в конце XXI века на планете будет жить более 10 млрд человек, защите и реабилитации почв должно быть уделено первостепенное внимание. Только в РФ почв, загрязнённых пестицидами свыше установленных норм, почти 50 млн га [24–28].

Суть угледсорбционной детоксикации почв, загрязнённых пестицидами, состоит во внесении в загрязнённую почву АУ в виде зёрен или порошка с объёмом микропор 0,20–0,30 см³/г с последующей его заделкой на глубину 10–15 см; затем в обработанную

углём почву высевают заданную сельхозкультуру.

Представленные в таблице 2 результаты экспериментов, выполненных в лаборатории искусственного климата (ЛИК) с разными типами и концентрациями (соответствующими реальным остаточным количествам) гербицидов в почвах, свидетельствуют, что АУ марки «Агросорб» действительно является универсальным средством для восстановления плодородия загрязнённых почв вне зависимости от типа и остаточного содержания гербицида, повышая урожайность овощных культур на 20–100%.

Другим важным результатом углесорбционной детоксикации почв является получение экологически чистой продукции растениеводства. В таблице 3 представлены результаты экспериментальных исследований на сельскохозяйственных культурах при их возделывании по обычной технологии и с использованием углеродного адсорбента. Как видно, внесение АУ марки «Агросорб» на загрязнённые участки в количестве до 100 кг/га (при использовании ячменя – до 200 кг/га) позволяет резко сни-

Таблица 2 / Table 2

Данные по использованию активного угля марки «Агросорб» для повышения урожайности овощных культур (при норме применения АУ 100 кг/га)
The efficiency of the recovery of fertility of soils contaminated with residues of herbicides using activated carbon of Agrosorb brand (with the application rate of 100 kg/ha)

Остатки гербицидов в почве Herbicide residues in the soil	Культура Culture	Показатели превышения урожая тест-культур, % к загрязнённому контролю Indicators of excess yield of test crops, % of the polluted control
Хлорсульфурон, 0,2 г/га Chlorsulfuron, 0.2 g/ha	огурец / cucumber	16–20
	свёкла / beet	58–63
	редис / radish	23–28
Тербацил, 1,4 кг/га Terbacil, 1.4 kg/ha	огурец / cucumber	23–27
	свёкла / beet	64–69
	редис / radish	30–39
Пиклорам, 2 г/га Picloram, 2 g/ha	огурец / cucumber	22–24
Симазин, 50 г/га Simazin, 50 g/ha	томат / tomato	22–26
Хлорсульфурон, 0,4 г/га Chlorosulfuron, 0.4 g/ha	томат / tomato	98–100
	свёкла / beet	98–99
	редис / radish	98–100

Таблица 3 / Table 3

Данные содержания гербицидов в сельскохозяйственных культурах
Accumulation of herbicides by agricultural crops [29]

Доза гербицида, кг/га Herbicide dose, kg/ha	Доза активного угля, кг/га Dose of activated carbon, kg/ha	Тест-культура Test culture	Содержание гербицида в урожае, мкг/кг The content of herbicide in the crop, µg/kg
Трефлан-1 Treflan-1	0	томаты / tomatoes	28
	100		0,6
	0	морковь / carrot	95
	100		не обнаружено / not detected
2,4-Д 2,4-D	0	ячмень / barley	220
	200		не обнаружено / not detected
	0		670
	200		не обнаружено / not detected

Примечание: 2,4-Д – 2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота; погрешность измерения 5%.
Note: 2,4-D – 2,4-dichlorophenoxyacetic acid; measurement error 5%.

зять, а в ряде случаев и полностью исключить накопление гербицидов в продуктах растениеводства.

Таким образом, использование АУ для детоксикации почв путём фиксации находящихся в них остаточных количеств пестицидов и продуктов их полураспада имеют два важных аспекта: повышение урожайности на загрязнённых сельскохозяйственных угодьях в среднем на 20–80% в зависимости от вида возделываемых культур и обеспечение возможности получения урожая диетической кондиции. По данным ВНИИ фитопатологии, ожидаемый эколого-экономический эффект от детоксикации почв достигает 500 долларов

США с га и только в Московской области может составить до 30 млн долларов США за год [7].

Использование активных углей в очистке питьевой и сточных вод

Несмотря на огромные запасы пресной воды на планете, дефицит питьевой воды на Земле постоянно растёт. С целью удаления основной массы загрязняющих веществ из природных вод используют широкий набор технологических приёмов, включающих углевание (для дезодорации), флотацию, коагуляцию, окисление, отстаивание, фильтрование и финишную сорбцию на гранулированных АУ [30, 31].

В Указе Президента РФ В.В. Путина № 204 от 07.05.2018 (п. 7) сказано о «необходимости повышения качества питьевой воды посредством модернизации систем водоснабжения с использованием перспективных технологий водоподготовки». В 1976 г. академик М.М. Дубинин обосновал, что для обеспечения высокой адсорбционной ёмкости АУ, работающего в замкнутом объёме (фильтры, адсорбера и т. д.) важна величина развития объёма микропор на единицу объёма ($\text{см}^3/\text{см}^3$), а не на единицу веса ($\text{см}^3/\text{г}$) [19]. Из этого следует, что для обеспечения высокой адсорбционной способности, а, следовательно, и высокого ресурса работы (фильтра, адсорбера и т. д.) надо стремиться к получению АУ с высокой насыпной плотностью. Тогда, даже при низком развитии удельного объёма микропор в $\text{см}^3/\text{г}$, достигается высокое развитие объёма микропор в $\text{см}^3/\text{см}^3$. Перевод величины удельного объёма микропор с $\text{см}^3/\text{г}$ в объём микропор в $\text{см}^3/\text{см}^3$ производится путём умножения первой величины ($\text{см}^3/\text{г}$) на величину насыпной плотности АУ в $\text{г}/\text{см}^3$.

В настоящее время в АО «ЭНПО «Неорганика» (г. Электросталь, Московская область) полностью завершена разработка технологии получения уникального АУ на основе антрацита. В качестве исходного сырья был взят антрацит Горловского месторождения Кузбасса. После дробления кусков антрацита высевали требуемую фракцию 1–3 мм, которую подвергали активации в лабораторной вращающейся электропечи в среде диоксида углерода и водяного пара (в соотношении 1 : 3) при температуре 870 °С, активацию проводили до величины обгара 15% [32].

В таблице 4 приведены технические характеристики АУ марки ДАС и промыш-

ленных углей АГ-3 (Россия, ОАО «Сорбент», на основе каменного угля марки СС) и GCN 830 (Нидерланды, фирма «Norit», на основе скорлупы кокосового ореха).

Очевидно, что адсорбционные свойства ДАС на единицу объёма в среднем в 1,5 раза выше, чем у АГ-3, что обусловлено высоким объёмом микропор на единицу объёма ($0,17 \text{ см}^3/\text{см}^3$). При этом по своему качеству (за исключением прочности) ДАС находится на уровне лучшего мирового аналога GCN 830.

Исследования по эффективности извлечения плохо сорбируемого фенола, как наиболее распространённого антропогенного загрязнителя как в сточных, так и природных водах, были выполнены в ОАО «НИИ ВОДГЕО» (г. Москва). Испытания проводились в одинаковых динамических условиях для двух типов сорбентов: ДАС и промышленного АУ КАД-И (ОАО «Сорбент», г. Пермь). Результаты этих испытаний приведены в таблице 5.

При фильтровании питьевой воды через колонки с АУ преимущество ДАС по высокому объёму микропор на единицу объёма ($V_{\text{мн}}$, $\text{см}^3/\text{см}^3$) проявилось в полной мере. Таким образом, можно констатировать, что сорбционная ёмкость по фенолу сорбента ДАС превышает сорбционную ёмкость промышленно изготавливаемого сорбента КАД-И на основе каменноугольного полукоса в 2,5–3,5 раза. Сорбент ДАС может эффективно использоваться для очистки фенолсодержащих сточных вод в качестве материала для загрузки в сорбционные фильтры.

Другим важным обстоятельством качества АУ ДАС явилась также его высокая эффективность при очистке сточных вод от тяжёлых металлов (ТМ).

Таблица 4 / Table 4

Технические характеристики активных углей
Technical characteristics of active carbons

Показатели Indicators	АГ-3 AG-3	ДАС DAS	На основе кокоса GCN 830 Based on coconut GSN 830
Насыпная плотность, $\text{г}/\text{дм}^3$ / Bulk density, $\text{г}/\text{дм}^3$	400–500	780	550
Прочность при истирании, % / Abrasion resistance, %	70–75	80,2	92,0
Содержание золы, % / Ash content, %	12–15	2,2	2,4
Объём микропор, V_{Σ} , $\text{см}^3/\text{г}$ ($\text{см}^3/\text{см}^3$) The micropore volume, V_{Σ} , $\text{см}^3/\text{г}$ ($\text{см}^3/\text{см}^3$)	0,20–0,22 (0,09)	0,22 (0,17)	0,34 (0,19)
Адсорбционная активность по иоду, $\text{мг}/\text{г}$ ($\text{мг}/\text{см}^3$) Adsorption activity on iodine, $\text{мг}/\text{г}$ ($\text{мг}/\text{см}^3$)	650–670 (297)	600 (468)	800 (400)

Примечание: погрешность измерения 5%.
Note: measurement error 5%.

Таблица 5 / Table 5

Эффективность очистки питьевой воды от фенола активными углями
Efficiency of purification of drinking water from phenol by active carbons

Показатель / Indicator	Марка активного угля Brand of activated carbon		Кратность превышения, раз Excess, times
	ДАС DAS	КАД-И KAD-I	
Сорбционная ёмкость до проскока (мл/г) The sorption capacity before breakthrough (mL/g)			
– при высоте слоя 120 мм / with a layer height of 120 mm	9,40	2,15	4,3
– при высоте слоя 520 мм / with a layer height of 520 mm	33,98	8,84	3,8
Сорбционная ёмкость до насыщения (мл/г) Sorption capacity to saturation (mL/g)			
– при высоте слоя 120 мм / with a layer height of 120 mm	72,20	29,85	2,4
– при высоте слоя 520 мм / with a layer height of 520 mm	94,00	38,16	2,5

Примечание: условия испытания: концентрация сорбата 50 мг/л, скорость фильтрования 4 м/ч.
Note: test conditions: sorbate concentration 50 mg/L, filtration rate 4 m/h.

Оценка эффективности очистки сточных вод от ТМ была показана на примере очистки воды золотоизвлекательной фабрики компании «Полиметалл» в Магаданской области путём фильтрации её через слой сорбента ДАС высотой 150 мм при скорости фильтрации через слой угля с размером зёрен 0,2–3,0 мм, равной 0,5 м/ч. Результаты исследования показали, что сорбент ДАС имеет весьма высокую эффективность при извлечении из воды ТМ. После очистки содержание многих металлов: марганца, цинка, меди, кадмия, никеля и других, кроме железа, в очищенной сточной воде снижалось в десятки и даже сотни раз, и было ниже значений ПДК.

Таким образом, высокая адсорбционная способность АУ ДАС по отношению как к органическим, так и к неорганическим загрязнителям при промышленной водоподготовке и очистке промышленных сточных вод позволяет прогнозировать его высокую эффективность в системах водоснабжения и водоотведения. Потребность в гранулированных АУ для этих целей, по данным Мосводоканал НИИ проекта, оценивается в 6–7 тыс. т в год.

Не менее важный аспект Указа Президента РФ В.В. Путина (2018 г., п. 7) о постановке задачи «кардинального снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха в крупных промышленных центрах, в том числе уменьшение не менее чем на 20% совокупного объёма выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух в наиболее загрязнённых городах». Если рассматривать загрязнение атмосферного воздуха свалочным газом, основными компонентами которого являются сероводород и меркаптаны, то нужно решить обратную задачу действия созданного Н.Д. Зе-

линским противогаса – одеть «противогаз» с АУ на выхлопную трубу мусоросжигательного завода (МСЗ). Такой подход реализуется при эксплуатации МСЗ во всём мире, где в системе газоочистки дозируется пылевидная шихта извести (90%) и АУ (10%). При качественном АУ система газоочистки работает так эффективно, что эксплуатация МСЗ даже в черте больших городов в Европе не вызывает возмущения жителей. Решение проблемы полигонов ТБО в части загрязнения ОС были нами подробно рассмотрены в [33]. По имеющейся информации, один МСЗ потребляет 200 т АУ в год. Планируемые к введению в России 20 мусоросжигательных заводов требуют выпуска 4 тыс. т АУ в год.

Активные угли в здравоохранении и медицине

Необходимо отметить роль АУ в обеспечении здоровья человека как главного объекта биосферы. Действенным способом, обеспечивающим эффективную нейтрализацию негативного воздействия ряда факторов ОС на человека, является разработка препаратов и методов детоксикации организма путём энтеросорбции и гемосорбции, обеспечивающих удаление токсичных веществ из желудочно-кишечного тракта и крови. По данным [8, 34], треть населения США ежедневно принимает АУ в качестве энтеросорбента. Учитывая, что практически все производства химико-фармацевтических препаратов, витаминов, антибиотиков и других лекарственных средств используют АУ для их рафинирования или выделения целевых компонентов, роль АУ в обеспечении здоровья человека незаменима.

Активные угли играют особую роль в защите атмосферы и решении широкого круга вопросов экологической безопасности во многих стратегически важных отраслях экономики России. Так, при добыче, транспортировке и переработке нефти и газа возможно возникновение случаев, когда жидкие или газообразные углеводороды попадают в биосферу, в связи с чем требуется применять меры по защите ОС. При этом необходимо учитывать, что жидкие углеводороды достаточно персистентны, а паро- и газообразные – чрезвычайно летучи.

Перспектива выпуска нового поколения АУ на основе каменноугольного сырья Кузбасса может быть обеспечена использованием технологии угольно-пековой композиции (УПК), заключающейся в получении дроблёных углей методом брикетирования на основе отечественного сырья с использованием в качестве связующего пеков. Суть технологии УПК состоит в том, что в качестве связующего используется не каменноугольная смола, имеющая низкий выход кокса, а каменноугольный пек, что обеспечивает получаемым гранулам АУ высокую прочность – более 90% по ГОСТ 16188-70, а прочность является главным показателем качества АУ в современных адсорбционных технологиях [23].

Объёмы производства активных углей

Для реализации описанных выше важнейших углеадсорбционных технологий, обеспечивающих экологическую безопасность России, следует обратить внимание на развитие производства АУ в нашей стране.

Общий объём производства АУ в мире составляет сегодня 1250 тыс. т в год и характеризуется устойчивым ростом 5% годовых. Максимальная производительность по АУ четырёх основных предприятий СССР достигала 40 тыс. т в год (1989 г.). В настоящее время в РФ производится только 3,0 тыс. т в год на единственном оставшемся заводе (АО «Сорбент», г. Пермь). Около 25–30 тыс. т в год закупается импортных АУ (США, Голландия, Франция, Китай и др.) [31].

К настоящему времени удельное производство АУ в США, Японии, Западной Европе находится на уровне 0,5 кг/чел. в год, в то время как в России этот показатель равен 0,02 кг/чел. в год. Исходя из вышесказанного, нашей стране нужно производить не менее 70 тыс. т АУ в год для устойчивого развития экономики и создания высокого качества жизни населения.

Таким образом, скорейшая организация новых производств АУ в РФ на базе отечественного, прежде всего, Кузбасского каменноугольного сырья, безусловно, даст мощный толчок развитию производительных сил и обеспечению высокого качества защиты ОС, что в полной мере укладывается в концепцию устойчивого развития и создания высокого качества жизни людей.

Заключение

В ходе проделанной работы установлена эффективность АУ в очистке загрязнённых пестицидами почв, позволяющая повысить их урожайность и получить экологически чистую продукцию растениеводства. Показана перспективность АУ с высокой объёмной микропористостью в очистке питьевой и сточных вод. Рассмотрены области применения АУ в защите атмосферы и при детоксикации поллютантов в организме человека. Указаны перспективные объёмы производства АУ.

References

1. Mukhin V.M., Korolev N.V. Adsorption returns (the role and place of active carbons in ensuring environmental safety) // *Bezopasnaya Rossiya*. 2019. No. 4. P. 46–49 (in Russian).
2. Rodionov A.I., Klushin V.N., Sister V.G. Environmental safety technological processes. Kaluga: Izdanie N. Bochkareva, 2000. 793 p. (in Russian).
3. Valova V.D. Fundamentals of ecology. Moskva: Izdatelskiy dom “Dashkov i K”, 2001. 211 p. (in Russian).
4. Feshbakh M., Frenkli-mladshiy A. Ecocide in the USSR. Moskva: NPO “Biotekhnologiya”, 1999. 307 p. (in Russian).
5. Keltsev N.V. Basics of adsorption technology. Moskva: Khimiya, 1976. 511 p. (in Russian).
6. Fenelonov V.B. Porous carbon. Novosibirsk: Izdvo Instituta kataliza SO RAN, 1995. 517 p. (in Russian).
7. Mukhin V.M., Tarasov A.V., Klushin V.N. Active coals of Russia. Moskva: Metallurgiya, 2000. 352 p. (in Russian).
8. Mukhin V.M., Klushin V.N. Production and application of carbon adsorbents. Berlin: LARLAMBERT Academia Publishing, 2018. 352 p. (in Russian).
9. Stavropoulos G.G., Samaras P., Sakellaropoulos G.P. Effect of activated carbons modification on porosity, surface structure and phenol adsorption // *Journal of Hazardous Materials*. 2008. V. 151. No. 2–3. P. 414–421. doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.06.005
10. Lupaşcu T. Cărbuni activi din materii prime vegetale. Chişinău: Ştiinţa, 2004. 224 p. (in Romanian).
11. Dubinin M.M. Adsorption and porosity. Moskva: VAKhS, 1972. 126 p. (in Russian).

12. Dubinin M.M. Fundamentals of the theory of adsorption in carbon adsorbents: characteristics of their adsorption properties and microporous structures // *Pure & Appl. Chem.* 1989. V. 61. No. 11. P. 1841–1843. doi: 10.1351/pac198961111841
13. Butyrin S.M. Highly porous carbon materials. Moskva: Khimiya, 1976. 189 p. (in Russian).
14. Kienle H., Bäder E. Aktivkohle und ihre industrielle Anwendung (Activated Carbon and its Industrial Application). Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1980. 214 p. (in German). doi: 10.1002/star.19810330212
15. Budzyn S., Tora B. Analysis of carbon black from tyres pyrolysis // *Journal of the Polish Mineral Engineering Society.* 2015. V. XVI. No. 2 (36). P. 149–153. Article No. 136163322.
16. Capelle A., de Vooy F. Activated carbon / Ed. N.N. Norit. Amersfoort, 1983. 224 p.
17. Fenelonov V.B. Introduction to the physical chemistry of the formation of the supramolecular structure of adsorbents and catalysts. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2002. 414 p. (in Russian).
18. Dubinin M.M. Scientific foundations for the development of active carbon production (materials of the report). Moskva: IFKh RAN, 1976. 45 p. (in Russian).
19. Keltsev N.V. Basics of adsorption technology (2nd edition). Moskva: Khimiya, 1984. 591 p. (in Russian).
20. Mukhin V.M. Environmental aspects of the use of activated coals in the oil and gas industry // *Neft, gaz, novatsii.* 2019. No. 4 (220). P. 60–62 (in Russian).
21. Mukhin V.M., Lupascu T., Voropaeva N., Spiridonov Y., Bogdanovich N., Gur'janov V. Activated carbons from vegetal raw materials to solve environmental problems // *Chemistry Journal of Moldova.* 2014. V. 9. No. 1. P. 33–36. doi: 10.19261/cjm.2014.09(1).03
22. Vasilyeva G.K. Potential of activated carbon to decrease 2,4,6-trinitrofluorene toxicity and accelerate soil decoutamination // *Euviron. J. Toxicol. Chem.* 2001. V. 20. No. 5. P. 965–971. doi: 10.1897/1551-5028(2001)020<0965:poactd>2.0.co; 2
23. Mukhin V.M. Active coals as an important factor in economic development and solving environmental problems // *Chemistry in the interests of sustainable development.* 2016. No. 24. P. 309–316 (in Russian).
24. Alekseev A.O., Kudayarov V.N. Evolution, functioning and ecological role of soils as a component of the biosphere. Pushchino: Association of Scientific Publications of the CMC, 2020. 302 p. (in Russian).
25. Brown A.W.A. Ecology of pesticides. N.Y.: J. Wiley and Sons, 1987. 525 p.
26. Smirnov A.D. Sorption water purification. Leningrad: Khimiya, 1982. 168 p. (in Russian).
27. Hui T.S., Zaini M.A.A. Potassium hydroxide activation of activated carbon: a commentary // *Carbon Letters.* 2015. V. 16 (4). P. 275–280. doi: 10.5714/CL.2015.16.4.275
28. Mukhin V.M., Soloviev S.N., Dubovik B.A., Pupyrev E.I., Limonov N.V., Sotnikova N.I., Usanov P.V. Method of obtaining activated carbon based on anthracite // Patent RU 2518964. Application 2013102785. Date of publication: 23.01.2013. Bull. 16 (in Russian).
29. Mukhin V.M., Spiridonov Yu.Ya. The use of active coals in the agro-industrial complex // *Waste, the reasons for their formation and prospects for use: Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchnoy ekologicheskoy konferentsii* / Ed. I.S. Belyuchenko. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni I.T. Trubilina, 2019. P. 143–146 (in Russian).
30. Mukhin V.M. Prospects for the use of activated carbons and catalysts based on them in solving environmental protection problems from landfill gas and filtrate // *Occupational safety in industry.* 2018. No. 5. P. 16–20 (in Russian).
31. Belyakov N.A. Enterosorption. Leningrad: Center of Sorption Technologies, 1991. 328 p. (in Russian).