

Механизм действия флокулянта основан на следующих явлениях:

- адсорбции молекул флокулянта на поверхности коллоидных частиц;
- ретикуляции (образование сетчатой структуры) молекул флокулянта;
- слипание коллоидных частиц за счет сил Ван-дер-Ваальса.

При действии флокулянта между коллоидными частицами образуются трехмерные структуры, способные к более быстрому и полному отделению от жидкой фазы. Причиной возникновения таких структур является адсорбция макромолекул флокулянта на нескольких частицах с образованием между ними полимерных мостиков. Коллоидные частицы заряжены отрицательно, что способствует процессу взаимной коагуляции с гидроксидом алюминия.

Литература:

1. Баженов, В. И. Проектирование современных комплексов биологической очистки сточных вод / В. И. Баженов, А. А. Денисов // Экология и промышленность России. — 2009. — № 2. — С. 26–312.
2. Соколов, Л. И. Исследования по обезвоживанию осадков природных и сточных вод с применением флокулянтов / Л. И. Соколов, Е. А. Лебедева, Д. А. Павликов // Экология и промышленность России. — 2010. — № 6. — С. 24–27
3. Буренин, В. В. Очистка производственных сточных вод от загрязняющих примесей / В. В. Буренин // Безопасность жизнедеятельности. — 2010. — № 2. — С. 15–20.
4. Мухина, М. В. Очистка природных вод методом электрокоагуляции / М. В. Мухина, Д. В. Шариков // Динамика систем, механизмов и машин: материалы VII Междунар. науч. — техн. конф., 10–12 нояб. 2009 г. / ОмГТУ [и др.]. — Омск, 2009. — Кн. 3. — С. 217–221.

## Воздействие автомобильных шин на окружающую среду и здоровье человека

Шулдякова Ксения Андреевна, студент

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

*В статье исследованы актуальные проблемы влияния автомобильных шин на здоровье человека и окружающую среду, рассмотрены экологические последствия, связанные с изготовлением и переработкой отходов шин, повторного использования и их утилизации, определены потенциальные опасности и воздействия на окружающую среду в результате сгорания, пиролиза и облучения шины во время их переработки и повторного использования, рассмотрены вопросы воздействия на окружающую среду в результате утилизации шин.*

*В работе сделан вывод о том, что объём токсических веществ, попадающих в окружающую среду в результате производства, переработки, утилизации и износа автомобильных шин (в течение срока эксплуатации) вызывает серьёзную обеспокоенность, а значит проблема негативного влияния автомобильных шин актуальна и требует немедленного решения на глобальном уровне.*

**Ключевые слова:** автомобильная шина, токсичность, износ шин, здоровье человека, окружающая среда

Автомобильный транспорт имеет важнейшее значение для функционирования общественного производства и жизни людей. Однако при этом он является главным глобальным источником загрязнения окружающей среды. На его долю приходится до 60–80 % загрязнения окружающей среды, а в районах наибольшего сосредоточения людей (густонаселённых районах, курортных городах, вдоль автомагистралей и т. д.) — до 90–95 %. Во время эксплуатации транспортных средств образуется большое количество отходов, большую опасность среди которых представляют собой изношенные автомобильные шины, которые сложно собирать и утилизировать. По статистике Всемирной организации здравоохранения, риск возникновения рака у рабочих, занятых на производстве шин, превышает риск онкозаболеваний у рядового жителя современного города в 8 раз. Кроме выбросов отработанных газов, транспортный

поток создаёт облако пыли, состоящее более чем на 60 % из микроскопических и ультрамикроскопических частиц радиусом 10,0–0,25 мкм, которые образуются в результате стирания автомобильных шин (при контакте с дорожным покрытием), самого дорожного покрытия и тормозных накладок (при торможении). Поэтому актуальным является изучение способов обращения с ними и оценки влияния этих отходов на окружающую среду и здоровье человека.

Высокая экологическая опасность изношенных шин обусловлена, с одной стороны, токсическими свойствами материалов, из которых они изготовлены, с другой — свойствами более ста химических веществ, выделяемых в окружающую среду во время эксплуатации, обслуживания, ремонта и хранения шин [4, 3]. В наибольших количествах выделяются продукты разложения каучуков (мономеры), реакционные и токсичные химические соединения

(ароматические углеводороды — бензол, ксилол, стирол, толуол), предшественники канцерогенов (алифатические амины), канцерогены (сероуглерод, формальдегид, фенолы). В воздух также поступают соединения хлора, серы и азота, оксиды металлов [2].

Целью данной работы является анализ влияния автомобильных шин на здоровье человека и окружающую среду, а также обоснование путей противодействия и смягчения негативных последствий использования шин в мире.

Автомобильные шины представляют собой серьёзную экологическую проблему по нескольким направлениям:

- 1) вещества, которые используются при производстве, переработке и утилизации шин являются крайне токсичными для человека и окружающей среды;
- 2) шины легко воспламеняются, к тому же, их очень трудно загасить, в некоторых случаях погасить возгорание удаётся лишь по истечению нескольких недель;
- 3) свалки шин занимают огромные площади, увеличивается количество незаконного сброса шин;
- 4) нагромождение шин на свалках приводит к тому, что под давлением других отходов они сжимаются и отскакивают с огромной силой, в связи с чем участились случаи травм и смерти среди рабочих;
- 5) шины являются питательной средой для комаров — вызывает тревогу проблема с появлением

и распространением вируса Западного Нила [5]. Тот факт, что автомобильные шины удерживают влагу и сохраняют тепло, лишь усугубляет ситуацию, привлекая всё больше переносчиков опасного вируса.

Огромная часть риска сопряжена с химическим составом шин. Различные сырьевые материалы, используемые в производстве шин, оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье человека и окружающую среду. Основные материалы, используемые в полимерном производстве резины, такие как бутадиен и стирол, и многие добавки к полимерам могут вызывать системные токсические эффекты. Токсины, которые освобождаются при разложении шин, намеренном сжигании или случайных пожарах очень загрязняют воду, воздух и почву. Даже несмотря на то, что выделяются специальные места для сброса шин, незаконный сброс по-прежнему имеет место, нанося огромный урон окружающей среде.

Материалы, используемые для изготовления шин, и материалы, найденные во время термической переработки шин, были кратко оценены на основе путей миграции в окружающей среде [7]. Рассмотренные параметры: растворимость в воде (S), биологические факторы концентрации (BCF), поглотительные способности почвы (KOC) (таблица 1).

Таблица 1. Расчётные значения растворимости, поглотительной способности почвы и биологической концентрации

Соединение	Log S	S (ppm)	Log Koc	Koc (ml/g)	Log BCF	BCF (g/g)
бензол	3.21	1.611	1.27	18	-0.16	0.7
бензотриазол	3.64	4.338	1.16	15	-0.28	0.5
бис (2-этилгексил) фталат	-0.41	0.39	3.64	4.371	2.49	312
1,3-бутадиен	3.43	2.690	1.06	11	-0.40	0.4
дибутифталат	-0.42	0.38	3.57	3.675	2.41	257
этилбензол	1.97	93	2.02	105	0.68	4.8
формальдегид	3.08	1.200	1.11	13	-0.34	0.5
2-меркаптобензотиазол	4.17	14.725	0.92	8	-0.35	0.3
нафталин	1.75	56	2.19	154	0.87	7.4
фенол	4.23	17.116	0.75	6	-0.74	0.2
п-фенилендиамин	4.58	38.000	0.59	4	-0.92	0.1
резорцин	5.21	160.645	0.25	2	-1.30	0.1
стирол	1.95	89	2.03	107	0.69	4.9
толуол	2.54	347	1.67	47	0.29	2.0
ксилол	1.97	93	2.02	105	0.68	4.8

Из таблицы 1 видно, что, по сравнению с другими химическими соединениями в шинах, фталаты имеют наибольший биологический коэффициент концентрации; таким образом, им присуща более высокая степень накопления в водных организмах. Также из таблицы видно, что фталаты, умеренно замещенные ароматические углеводороды и полициклические ароматические углеводороды более интенсивно поглощаются почвой.

В июле 2016 года Европейская Комиссия обратилась в Европейское химическое агентство исследовать соединения, высвобождающие формальдегид, и их использование. Целью этого обращения была подготовка предложения на ограничение использования формальдегида, который в соответствии с согласованной классификацией и маркировкой, является веществом, токсичным при проглатывании, токсичным при контакте с кожей, которое вызывает

серьёзные ожоги кожи и повреждения глаз, а также является токсичным при вдыхании, может вызвать аллергическую реакцию на коже, рак и, предположительно, приводит к генетическим дефектам [10]. В марте 2016 года Европейская Комиссия и страны-участницы Европейского Союза подняли вопрос в отношении полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), в частности, было предложено оценить риски для здоровья человека от использования резиновой крошки [9].

Мономеры и полимеры, которые производятся при производстве шин, являются очень токсичными. Например, изопрен оказывает мягкое токсическое воздействие при ингаляции, кроме того, он также вступает в реакцию с воздухом и озоном, образуя опасные пероксиды. Европейский союз признал вещество таким, которое может вызвать рак, приводит к генетическим дефектам и является токсичным для водной флоры и фауны с долгосрочными последствиями. Бутадиен является опасным канцерогеном и имеет тератогенное действие, вызывает повреждение центральной нервной системы. Вдыхание высоких концентраций бутадиена может привести к потере сознания и смерти. Системное воздействие на организм человека при вдыхании приводит к постоянному кашлю и появлению галлюцинаций. По данным Европейского химического агентства, в результате длительного воздействия стирол вызывает повреждение органов, предположительно вызывает рак, негативно сказывается на фертильности и является токсичным для нерождённого ребёнка [9]. Стирол является ядовитым при приёме внутрь и вдыхании, систематическое воздействие стирола приводит к раздражению глаз и нарушению обоняния. Все три мономера являются пожароопасными при воздействии тепла, пламени или окислителей. Наиболее стабильным среди них является стирол, но до сих пор биологические периоды полураспада невелики. Бутадиен-стирольный сополимер вызывает раздражение глаз и предположительно вызывает рак.

Основным способом обращения с изношенными шинами является их сжигание. Значительно меньшую часть шин перерабатывают пиролизом или механической обработкой, которые требуют больших затрат. Пиролиз лома изношенных шин осложняется тем, что каучуки являются плохими проводниками тепла и деградация макромолекул требует значительных количеств энергии. Наиболее распространённым методом пиролиза является вращающаяся печь, в которой отходы должны находиться в течение 20 минут или более. Наличие больших градиентов температуры внутри вращающихся печей приводит к разнообразному набору веществ.

Большинство процессов сжигания происходят несанкционированно — гражданами или организациями, чтобы избавиться от отходов или для получения тепла (энергии). Предприятия, которые сжигают отработанные шины легально, часто не имеют надлежащих ресурсов для обеспечения необходимых уровней очистки газовых выбросов. Кроме этого, как уже отмечалось, значитель-

ная доля шин попадает на свалки, где часто происходит самовоспламенение.

Горение изношенных автомобильных шин несёт угрозу для окружающей среды, поскольку в результате этого процесса образуются вещества первого-третьего классов опасности: бенз (а) пирен, бифенил, свинец, полициклические ароматические углеводороды, бутадиен, стирол, диоксин, фуран, антрацен, флуорентан, пирен и другие [7]. Бифенил и бенз (а) пирен являются сильнейшими канцерогенами, поэтому их наличие свидетельствует о серьёзной угрозе окружающей среде и здоровью человека.

В июне 2016 года Европейское химическое агентство добавило бенз (а) пирен в список особо опасных веществ — ввиду его канцерогенности, мутагенности, токсичности для репродуктивной системы, устойчивости, биоаккумуляции и токсичности, а также очень высокой устойчивости и биоаккумуляции. Доказано, что это вещество оказывает очень серьёзное вредное воздействие на человеческий организм и окружающую среду. Согласно европейскому законодательству, любой поставщик изделий, содержащих особо опасные вещества в концентрации выше 0,1 %, имеет обязательства перед клиентами и потребителями.

Бифенил в соответствии с согласованной классификацией и маркировкой, утверждённой Европейским союзом, является очень токсичным для водной флоры и фауны, в том числе с долгосрочными последствиями, вызывает серьёзное раздражение глаз, раздражение кожи и может вызвать раздражение дыхательных путей.

Регулированию обращения свинца уделяется очень большое внимание во всём мире. В Европейском Союзе действуют ограничения либо полный запрет в ряде случаев применений свинца. Опасность свинца для человека определяется его значительной токсичностью и способностью накапливаться в организме. Также свинец оказывает пагубное токсическое воздействие на растения, животные и микроорганизмы. Перечень ограниченных веществ в соответствии с Регламентом Европейского союза, регулирующим производство и оборот всех химических веществ, включая их обязательную регистрацию, уже содержит запись в отношении свинца и его соединений. Последнее ограничение действует с 1 июня 2016 года.

Многие соединения свинца уже внесены в лист кандидатов особо опасных веществ. Некоторые из них, например, хромат свинца, окончательно внесены в список авторизации, что обозначает, что теперь необходимо получение разрешения на их дальнейшее использование. Европейское химическое агентство будет рассматривать такие вопросы, как предельные концентрации свинца в переработанных ПВХ, наличие аналитических методов и потенциального воздействия на организм человека и окружающую среду. Намерение ограничить свинец в ПВХ уже опубликовано, а подача так называемого ограничительного досье ожидается в октябре 2016 года.

В наибольших количествах при горении шин образуются оксиды серы (один из самых распространённых загрязни-

телей воздуха) и цинка (опасность заключается в его каталитической активности). Во время горения шин из них также выделяется сера, которая в дальнейшем может взаимодействовать с другими веществами, что может привести к образованию опасных соединений. Есть данные, что сера самопроизвольно выделяется из шин. Учитывая, что места накопления и сжигания отработанных шин часто содержат много других веществ, например, соединений металлов, да и сами шины, бесспорно, загрязнённые пылью металлов, а соединения цинка, например, используют в качестве наполнителей при производстве шин, то сера может взаимодействовать с металлами и их соединениями. Так, после поджога бурно реагирует смесь порошков серы и цинка, при обычных условиях сера может взаимодействовать с ртутью — образующиеся сульфиды могут вступать в дальнейшие химические взаимодействия. Так, сульфид железа может самовозгораться на воздухе при нормальной температуре. Сульфид цинка во влажном воздухе окисляется до сульфата, а при нагревании в воздухе происходит реакция, в результате которой образуется компонент, который является одной из причин образования кислотных дождей. Сульфид ртути является сильным фунгицидом, а сульфид железа способен взаимодействовать с концентрированными соляной и азотной кислотами. Кислоты присутствуют в окружающей среде довольно часто — в результате кислотных осадков и промышленных выбросов. Сероводород, который при этом образуется, в соответствии с согласованной классификацией и маркировкой, приводит к летальному исходу при вдыхании, очень токсичен для водной флоры и фауны и является чрезвычайно горючим газом. Также это вещество содержит газ под давлением и может взорваться при нагревании, сероводород может вызвать раздражение дыхательных путей. Уже при 0,1 % сероводорода возникают тяжёлые отравления, причём опасность возрастает из-за того, что после легкого отравления запах сероводорода уже не ощущается. Отравляющее действие сероводорода объясняется его способностью взаимодействовать с гемоглобином крови. Вдыхание сероводорода, выделившегося из воды в воздух, может привести к ухудшению памяти, катару верхних дыхательных путей, бронхиту, фурункулезу и конъюнктивиту. Присутствие в воздухе 0,8 мг / л сероводорода может стать причиной отравления с летальным исходом.

Другой продукт взаимодействия — сульфид цинка — способен окисляться, эта реакция может происходить

при условии горения шин на полигонах твёрдых бытовых отходов. Сульфид цинка, в свою очередь, взаимодействует при нагревании с кислородом и углеродом, таким образом, во время этих реакций образуются нежелательные вещества — диоксид серы, оксид цинка и угарный газ. Сульфид цинка также может взаимодействовать с неорганическими разбавленными кислотами с образованием токсичных сероводорода и диоксида азота. Кроме того, образуются хлорид и сульфат цинка, пара которых имеет токсическое воздействие прежде всего на дыхательные пути и слизистые оболочки.

Особое внимание стоит уделить сульфиду ртути, который легко образуется при нормальной температуре. Вследствие определённых реакций сульфида ртути образуется металлическая ртуть, которая относится к первому классу опасности и является чрезвычайно токсичным веществом.

При экспонировании изношенных шин в микроволновой печи, под действием нагрева в шинах производится огромное количество «серого газа». Состав газов, образующихся в процессе облучения, не был определён в литературе [6]. Газы, образующиеся в печи, должны быть удалены и отправлены в очистительный аппарат. После обучения шина может быть превращена с помощью гидравлического пресса в мелкий чёрный порошок, имеющий размер частиц порошка талька.

В результате комплексного воздействия на автомобильные дороги погодно-климатических факторов и движения автомобилей происходит износ верхних слоёв дорожного покрытия. Так, при качении колёс, а особенно их торможении (передвижение с заблокированными колёсами), происходит значительное стирание дорожного покрытия. При отрыве колеса от поверхности в момент съезда из пятна контакта возникает значительное разрежение, которое вызывает отрыв мелких частиц асфальтобетона и их перемещение в воздухе.

На сегодняшний день, основным материалом, который применяется для строительства верхних слоёв дорожного покрытия, является асфальтобетон. В результате износа асфальтобетона образуется мелкодисперсная пыль размером до 2 мкм в количестве до 50 % от общего объёма пыли [8]. Химический состав пыли изменяется во времени за счёт абсорбционно-адсорбционных процессов, которые проходят в ней, и интенсивность которых определяются начальным составом пыли. Данные о химическом и дисперсном составе пыли представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2. Химический состав пыли, взятой из асфальтобетона и грунта, %

Место	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	п.п	H <sub>2</sub> O
Дорога	76.4	3.1	6.0	2.9	1.6	4.3	0.4
Грунт	80.8	2.2	7.1	1.7	0.5	3.7	0.7

В таблице 3 приведён дисперсионный анализ для пыли (ситовой метод) и для витальной пыли (ареометрический метод).

Таблица 3. Дисперсный состав пыли, взятой из асфальтобетона

Размер частиц, мкм	Количество, %	Размер частиц, мкм	Количество, %
0–2	54.3	0–60	24.8
2–5	22.0	60–200	17.5
5–7	8.9	200–300	10.0
7–10	7.8	300–400	9.7
Более 10	7.0	Более 400	38.0

Кроме этого, пыль адсорбирует на своей поверхности различные токсиканты и канцерогены, возникающие от работы автотранспорта.

Пыль из покрытия дороги — это полидисперсный материал, насыщенный различными загрязнителями — продуктами загрязняющих выбросов от работы двигателя, износа тормозных колодок (накладок), износа шин и др.

Наибольшее влияние на интенсивность и величину износа дорожного покрытия (асфальтобетона) имеют следующие факторы: качество каменного материала и битума, интенсивность и состав движения, влияние окружающей среды, качество работы службы эксплуатации дорог.

Высвобождаясь из шин в окружающую среду, ионы металлов могут мигрировать в подземных и поверхностных водах в результате выщелачивания почвы и стока. Но в большинстве случаев, концентрации металлов, которые вымываются из шин, достаточно низка. Следовательно, воздействие металлов на окружающую среду от выщелачивания шин относительно мала. Металлы и оксиды металлов,

извлечённые из термического окисления шин, обладают более высоким потенциалом воздействия на окружающую среду и должны быть восстановлены или стабилизированы.

Если сельскохозяйственные земли загрязнены тяжёлыми металлами, такими как кадмий, уровень pH почвы может быстро снижаться в течение десятилетий, что приводит к увеличению подвижности следов металлов в верхнем слое почвы. Зброшенные сельскохозяйственные земли, загрязнённые тяжёлыми металлами, усиленно поглощают тяжёлые металлы. Это может нанести вред дикой природе и увеличить вымывание грунтовых вод [7, р. 52].

Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование автомобильных шин приводит к крайне негативному воздействию на здоровье человека и окружающую среду. Ввиду частого возникновения нежелательных случаев возгорания шин на свалках и сопряжённых с обращением шин рисков для окружающей среды и здоровья, благоразумно было бы предположить, что такое воздействие будет сокращено.

#### Литература:

1. Иванов К. С., Сурикова Т. Б. Использование и переработка отработавших шин. Доклады Всероссийской научно-технической конференции Современные проблемы экологии. — Тула.: Инновационные технологии, 2009.
2. Самойленко А. Ю. Получение сульфогидрильных катионитов на основе измельченной протекторной резины / А. Ю. Самойленко, О. И. Тужиков // Поволжский экологический вестник. — 2000. — Вып. 7. — С. 69–71.
3. Тарасова Т. Ф. Экологическое значения и решение проблемы переработки изношенных автошин / Т. Ф. Тарасова, Д. И. Чапалда // Вестник ОГУ. — Т. 2. Естественные и технические науки. — 2006. — № 2. — С. 130–135.
4. Третьяков О. Б. Воздействие шин на окружающую среду и человека / О. Б. Третьяков, В. А. Корнев, Л. В. Кривошеева. — М.: Нефтехимпром, 2006. — 154 с.
5. Environmental Impact of Scrap Tires [Electronic source]. Code of access: <http://www.rerubber.com/environmental-impact/>
6. Gray gas radiative transfer R. Wordsworth. February 24, 2015. — 5 p.
7. Pele Wilson. Effects of Waste Tires, Waste Tire Facilities, and Waste Tire Projects on the Environment // California integrated waste management board. 04.03.2012. 92 p.
8. Scrap Tires: Environmental Impact [Electronic source]. Code of access: <http://www.tire-conversion.com/why-we-recycle/scrap-tires-environmental-impact/>
9. Official website of the European Chemicals Agency. Code of access: <https://echa.europa.eu/home>
10. Official website of the European Union. Code of access: [https://europa.eu/european-union/index\\_en](https://europa.eu/european-union/index_en)