

150 лет со дня рождения основателя хроматографии М. С. Цвета

Е. В. Рыбакова¹

Представлен обзор научного наследия М. С. Цвета, отражены идеи создателя хроматографии, ключевые достижения хроматографии за почти 120 лет ее развития. Статья подготовлена по трудам Е. М. Сенченковой, которые посвящены биографии и научному наследию великого русского ученого, чье имя, в ряду с М. В. Ломоносовым, Д. И. Менделеевым, А. М. Бутлеровым и Н. Н. Семеновым, входит в плеяду ста выдающихся химиков мира, а созданный им метод относится к двадцати самых значительных открытий прошедшего столетия.

Михаил Семенович Цвет – один из крупнейших деятелей науки 20 века, русский ботаник-физиолог и биохимик растений, создатель многофункционального метода хроматографии.

Днем рождения хроматографии считается 21 марта 1903 года, когда ассистент кафедры анатомии и физиологии растений Варшавского университета М. С. Цвет прочитал свой знаменательный доклад «О новой категории адсорбционных явлений и о применении их к биологическому анализу» (Труды Варшавского общества естествоиспытателей. Отд. биологии. 1903. Т. 14. С. 1-20). Эксперименты в области адсорбции, приведшие в итоге к открытию хроматографии, ученый начал двумя годами раньше в возрасте 28 лет. Публикация, в которой Цвет подробно описал новый метод, вышла в 1906 году. «Как лучи света в спектре, в столбике углекислого кальция закономерно располагаются различные компоненты смеси пигментов, давая возможность своего качественного и количественного определения. Получаемый таким образом препарат я называю хроматограммой, а предлагаемую методику – хроматографической» [1, цитируется по 2].

Выдающееся открытие М. С. Цвета поначалу было замечено и получило заслуженную оценку только у ботаников, но было встречено скептически в среде химиков. Однако в уже в 1918 году кандидатура М. С. Цвета рассматривалась Нобелевским комитетом



Михаил Семёнович Цвет (род. 14 мая 1872 г., г. Асти, Италия – умер 26 июня 1919 г., г. Воронеж, Россия)

¹ Институт истории естествознания и техники им. С.И. Вавилова РАН, rybakova_elena@list.ru.

на премию в области химии. Представил М. С. Цвета на премию профессор Гронингенского университета Корнелиус ван Висселинг: «Имею честь поставить Вас в известность, что из исследователей по фитохимии я отдаю предпочтение профессору Михаилу Цвету из Нижнего Новгорода, ранее из Варшавы, как достойному кандидату на присуждение Нобелевской премии по химии за его исследования по хлорофиллу и другим пигментам». Для аргументации своего предложения ван Висселинг назвал 12 публикаций Цвета в немецких журналах, а также диссертацию Цвета 1910 года, в заключительной части был упомянут и метод, посредством которого велось исследование. Согласно ван Висселингу, «разработанные Цветом методы адсорбционного анализа и хроматографический метод весьма остроумны и высоко оценены также Вильштеттером» [цитируется по 2].

Спустя сто двадцать лет с момента открытия хроматографии легче судить о значимости трудов и предвидений ее создателя, особенно о тех, которые опередили свое время. Но в начале 20-го века у открытия русского ученого М. С. Цвета практически не было шанса. Большинство нобелевских лауреатов по химии были из Германии, подавляющее число публикаций по химии также выходило на немецком языке. В среде немецких химиков у Цвета, по существу, не было единомышленников: если о нем вспоминали, то чаще всего критически, не допуская мысли о том, что ботаник может быть химиком-профессионалом. Много позднее пришло осознание уровня подготовки этого ученого. Эксперт нобелевского комитета Хаммарстен определил разработку метода М. С. Цветом как «самый оригинальный и самый значительный вклад» в науку его создателя. Эксперт правильно определил то место, которое было уготовано хроматографии, но Комитет не мог руководствоваться успехами в перспективе. Поэтому вполне логично звучало заключение: «...Исследования Цвета по хлорофиллу и другим пигментам не могут быть рассмотрены для награждения Нобелевской премией по химии». К тому же тремя годами ранее за успехи в изучении растительных пигментов уже была вручена премия известному немецкому химику – Р. М. Вильштеттеру – ярому критику М. С. Цвета. Это обстоятельство, к слову, не мешало Вильштеттеру внимательно следить за всеми публикациями, перевести на немецкий и использовать докторскую диссертацию М. С. Цвета и даже передать эти труды своим ученикам, которые стали первыми продолжателями работ М. С. Цвета, а некоторые из них стали нобелеатами [3].

Вернемся к работам М. С. Цвета, чтобы разобраться что, собственно, он сделал, помимо всем известного опыта по разделению хлорофилла.

Для разделения смесей пигментов М. С. Цвет использовал аппараты двух типов, в зависимости от задачи – быстрый качественный или количественный анализ. Хроматограф состоял из химической посуды и приспособлений, которые и сейчас есть в любой лаборатории – стеклянная трубка с зауженным концом или бюретка (колонка), наполненная сорбентом, пружинный зажим и приемная колба. На колонку сверху устанавливали воронку с растворителем (элюентом). Приемную колбу с боковым отводом подключали к вакуумному насосу. «Для количественного же определения пигментов, или для получения последних в значительном количестве, приходится иметь дело с адсорбционными столбами больших размеров, причем фильтрацию удобнее тогда производить под отрицательным давлением, пользуясь воздушным водоструйным насосом»*. Использовались колонки до 30 мм диаметром. Однако разделение длилось долго и для микроколичеств такой аппарат был не удобен. Для автоматизации разделения микроколичеств пигментов ученый использовал более сложный аппарат со множеством колонок для быстрого разделения нескольких образцов окрашенных субстанций. Колонки при этом имели форму амфоры: сужающиеся к концу и с удлиненным выходом в виде небольшой трубочки длиной 30–40 мм и диаметром 2–3 мм. Сорбент помещали в выходной трубке, а элюент наливали в широкую часть. Для вытеснения элюента через колонку к аппарату подсоединяли резиновый насос-грушу, с помощью которого нагнетали давление в аппарат. Аппарат с такой колонкой позволял в течение нескольких минут произвести качественный анализ сложной смеси. Однако последователи М. С. Цвета чаще всего применяли простейший вариант из воронки, бюретки или стеклянной трубки длиной 15–20 см и диаметром 1–2 см с зауженным выходом, заполненной сорбентом, и колбы Бюхнера, подсоединенной к водоструйному насосу.

Для хроматографирования раствор исследуемой смеси пигментов фильтровали через колонку. М. С. Цвет так описывает процесс хроматографирования: «Пропустив через столб адсорбента желаемое количество раствора, полученную хроматограмму подвергали окончательному «проявлению» посредством пропускания через него тока чистого

* Все цитаты из трудов М. С. Цвета взяты из [2] – Прим. автора.

растворителя». Когда при «проявлении» адсорбционные зоны достаточно разъединились, дальнейший приток растворителя прекращается; ...а затем прогоняется воздух, который вытесняет из капиллярных пространств столба адсорбента наполняющую их жидкость. Адсорбционный столб в силу этого приобретает некоторую связность, почему его возможно вытолкнуть из прибора в виде белоснежного расцвеченного разноцветными полосами цилиндра. Последний кладется на глянцевитую бумагу, и отдельные зоны немедленно посредством скальпеля отрезаются, после чего пигменты извлекаются из них спиртом, эфиром или петролейным эфиром с примесью спирта». Выделенные таким образом чистые пигменты анализировали спектрофотометрически.

М. С. Цвет опробовал более 120 различных веществ в качестве сорбента, а также определил основные требования к адсорбентам: «адсорбент должен быть вполне нейтральным веществом по отношению к исследуемым пигментам ... Он должен быть достаточно мелкозернист, чтобы при небольшом объеме поглощать значительное количество пигментов».

Помимо отработки процедуры хроматографического анализа, М. С. Цвет на протяжении более десяти лет скрупулезно изучал и пытался разобраться в природе открытого им явления. Наиболее подробно он изложил свои умозаключения в докторской диссертации. Фильтруя через адсорбционную колонку смесь растительных пигментов вытяжки из листьев, М. С. Цвет отметил способность пигментов вытеснять друг друга из их адсорбционных соединений с адсорбатом в строгой последовательности. «Вещества, растворенные в определенной жидкости, – отмечал он, – образуют определенный адсорбционный ряд А, В, С..., выражающий относительное адсорбционное сродство его членов к адсорбенту». Цвет показал, что при пропускании раствора смеси веществ через адсорбционную колонку эти вещества образуют на адсорбенте последовательный ряд зон, в котором самое верхнее положение занимает вещество с наибольшей степенью сродства к адсорбенту, а ниже удерживаются на адсорбенте в виде последовательных зон вещества в порядке уменьшения их адсорбционного сродства. «Каждый из членов адсорбционного ряда, обладая большим адсорбционным сродством, чем последующий, вытесняет его из соединения и в свою очередь вытесняется предыдущим. ... Пропускание раствора А + В + С + ... через столб адсорбента равносильно... фракционированной адсорбции... Зональное распределение

составных раствора выражает относительное положение последних в адсорбционном ряду».

Для того чтобы сделать адсорбционные разделение компонентов по зонам более полным, Цвет пропускал через колонку с нечеткой первичной хроматограммой чистый растворитель. После такой «промывки», иногда многократной, получившей в дальнейшем название «проявления» хроматограммы, примеси под действием растворителя «перемещались вниз в свои зоны, а на адсорбционном столбике появлялась четкая вторичная хроматограмма, иногда с большим числом зон или их расширением, очередность которых, как и в первом случае, определялась положением компонентов раствора в адсорбционном ряду».

Некоторые идеи ученого не могли быть им реализованы технически, ряд исследований были забыты и даже позднее утверждались в науке без связи с именем М. С. Цвета.

М. С. Цвет хорошо понимал, что его метод применим к разделению не только растительных, но и самых различных других окрашенных и бесцветных веществ. Он писал: «Само собою, разумеется, описанные явления адсорбции присущи не только хлорофильным пигментам; ясно, что самые разнообразные окрашенные или бесцветные химические соединения подлежат тем же закономерностям» (1906). Согласно Цвету, «с точки зрения объективной, все вещества „окрашены“, белок, сахар и вода, так же как антоциан и хлорофилл, только главные поглощения лучистой энергии падают на другие спектральные участки» (1914). Эта потрясающая догадка Цвета была подтверждена его последователями уже в 1930-х годах. Так наблюдение в ультрафиолетовом свете оказалось основным методом проявлений адсорбционных колонок с разделенными на них бесцветными полициклическими углеводородами.

Используя для хроматографического анализа адсорбционные колонки, М. С. Цвет обратил внимание также на возможность использования бумаги как адсорбента, то есть фактически предложил метод бумажной хроматографии, появившийся позднее, авторство которого приписывают А. Мартину и Р. Сингу. «Нет повода сомневаться, – писал Цвет, – что мой закон адсорбционного замещения применим и для растворимых в воде веществ (поскольку они не реагируют друг на друга) и что вследствие этого полоса фильтровальной бумаги, применяемая для капилляризации растворов, является аналогом столба углекислокальциевого порошка или иного адсорбента, применяемого в хроматографическом анализе. В обоих случаях полное расслоение смеси

может быть достигнуто, очевидно, только динамическим путем, то есть на основании неравномерной миграции адсорбционных зон под влиянием тока чистого растворителя, заметно диссоциирующего наличные адсорбционные соединения» (1910).

На это же высказывание Цвета обратили внимание Н. А. Измайлов и М. С. Шрайбер, они написали в 1938 году: «В продолжение идей М. С. Цвета было доказано, что плоский слой сорбента является аналогом хроматографической колонки. Результаты, полученные предложенным методом, совпадали с результатами, полученными при колоночной хроматографии» [4]. Так появилась тонкослойная хроматография.

Несмотря на то, что М. С. Цвет разрабатывал преимущественно вопросы теории молекулярной адсорбционной хроматографии, некоторые из установленных закономерностей имеют значение также и для других видов хроматографического анализа. М. С. Цвет отмечал возможность существования полярной адсорбции: «Фактор, с которым нужно считаться в опытах капилляризации водных растворов, это явления диффузии и адсорбции коллоидально растворенных веществ (гидрозолей), частички которых (ультрамикроны), обладая электрическими зарядами... должны испытывать притяжение со стороны волокон, составляющих среду капилляризации, в случае, если последние обладают противоположным зарядом». Цвет отмечал, что «при работе с водными растворами выбор адсорбента крайне ограничен, так как адсорбент должен быть практически нерастворим в среде адсорбции. При адсорбции из водных растворов должно проявляться зачастую то, что Михаэлис и Эренрейх называют электрохимической адсорбцией и что в сущности это не что иное, как химическое соединение» (Цит. по [2]). Немецкому физико-химику Г.-М. Швабу принадлежит первенство работ по неорганической (ионной) хроматографии в конце 1930–1940 годов [5].

Занимаясь выяснением механизма сорбционных процессов, М. С. Цвет полагал, что на адсорбенте сорбируется и элюент. «Явлению конденсации на поверхности твердых тел, – писал он, – подлежат не только растворенные вещества, но и растворитель». По существу его интересовал механизм адсорбции в жидкостно-жидкостной системе: «...особенный интерес представляют явления адсорбции хлорофилловых пигментов на границе жидкого адсорбента, воды». Здесь лежат истоки идеи распределительной хроматографии, при этом нельзя оспаривать авторство этого метода за А. Мартином и Р. Сингом.

Многие наши современники, признавая большие заслуги ученого в открытии хроматографии, полагают, однако, что его вклад в развитие теоретических представлений о процессах, лежащих в основе этого метода, незначителен. Внимательное знакомство с положениями, которые были разработаны М. С. Цветом в области теории хроматографии, позволяет убедиться в несостоятельности такого мнения. О том же свидетельствуют те немногие хроматографисты, которые изучили его труды и пришли к обоснованному заключению, что «Цвет был таким же хорошим физико-химиком, как и настоящим ботаником, и он выдвинул очень ясные идеи о принципах и механизме хроматографии» (цитата из речи нобелеата Р. Л. М. Синга [цитируется по 2]).

По существу, развитые М. С. Цветом идеи включали те теоретические основы, на которых строилось дальнейшее развитие хроматографии. Он выявил некоторые математически сформулированные зависимости в системе «сорбат – сорбент – элюент», которых на тот момент было достаточно, чтобы научно обосновать хроматографический процесс, а также стимулировать дальнейшие исследования в этом направлении. Долгие годы хроматография совершенствовалась методом проб и ошибок, а теоретическое обоснование практически отсутствовало. Лишь с 1950-х годов ситуация с развитием теории метода стала меняться.

Таким образом, исследования М. С. Цвета, направленные на решение физиологических и физико-химических проблем, позволили ему вначале разработать один из наиболее эффективных методов разделения и анализа органических природных веществ, а затем его последователи развили хроматографическую методику в такую широко охватывающую область научных и химико-технологических знаний, как современная хроматография.

Последние годы жизни выдающегося ученого были сопряжены со множеством бедствий и лишений, а также омрачены резко ухудшающимся физическим состоянием. Нижегородский врач В. П. Вицинский 3 апреля 1917 года свидетельствовал, что Цвет «страдает резкой формой малокровия и истощения на почве сердечной слабости». Цвет вместе с женой и ее матерью выехал на юг, в Беслан близ Владикавказа. Тогда, летом 1917 года, так его описала племянница Елизавета Лященко: «Наружность дяди была очень запоминающаяся. Высокого роста, стройный, с темными, довольно длинными волосами, с небольшой, более светлой, чем волосы на голове, бородкой. Правильные черты лица, густые темные брови.

Запомнился мне его взгляд (я могу назвать его усталым и немного грустным). Одет в черный сюртук. Общий облик его можно назвать аристократическим». После потери всего имущества при эвакуации из Варшавы, ученый с супругой переехали в Юрьев, их единственным средством существования было жалованье М. С. Цвета. Живший тогда в Юрьеве и не раз встречавший его Е. Штамм вспоминал, что «в начале 1918 года М. С. Цвет выглядел очень исхудавшим, нервным и болезненным». После оккупации Юрьева немцами, личное имущество, а также приборы были арестованы. Вновь то небольшое, чем располагала семья Цветов после приезда в Юрьев, было потеряно. Его коллега К. Реггель вспоминал: «М. С. Цвет выехал в Воронеж осенью 1918 года с последним поездом, который перевозил в Россию русских чиновников и профессоров университета. Во время моего пребывания в Юрьеве я видел Цвета неоднократно, а последний раз на вокзале, когда он шел на поезд. У него была седеющая борода, он плохо выглядел, говорили, что он болен (чахоткой?)». По свидетельству профессора И. В. Георгиевского, М. С. Цвет страдал декомпенсированным пороком сердца. Ни постоянная забота супруги Елены Александровны, ни помощь врачей не могли предотвратить неумолимо надвигающийся исход

болезни. Смерть наступила 26 июня 1919 года вскоре после того, как ученому исполнилось 47 лет. На предполагаемом месте захоронения установлен памятник с эпитафией: «Ему было дано открыть хроматографию, разделяющую молекулы, объединяющую людей».

Ранняя кончина ученого сказалась на развитии хроматографии. Однако в начале 1930 годов метод получил второе рождение и на протяжении нескольких десятилетий после открытия Цвета другие ученые придумали новые виды хроматографии, различные сорбенты и хроматографическую технику. За научные исследования в области хроматографии или с применением хроматографического метода были присуждены несколько Нобелевских премий: П. Каррер (1937), Р. Кун (1938), А. Бутенандт и Л. Ружичка (1939), Дж. Мартин и Р. Синг (1952 г.), С. Мур, В. Штайн и К. Анфинсен (1972) и др.

В год 100-летия со дня рождения Цвета Американское сообщество хроматографистов учредило Международную медаль им. М. С. Цвета «За выдающиеся исследования в области хроматографии», первое награждение произошло в 1974 году в Хьюстоне, среди пяти выдающихся ученых – лауреатов медали был А. В. Киселев. Впоследствии, кроме Киселева, этой награды удостоились К. И. Сакодынский и А. А. Жуховицкий. Последнее



Международная медаль М. С. Цвета Американского сообщества хроматографистов «За выдающиеся исследования в области хроматографии», 1974–1988 гг., США



Медаль АН СССР в честь 75-летия открытия хроматографии за заслуги в области хроматографии, 1978 г., СССР



Значок
М. С. Цвет,
1972 г.

вручение медали произошло в 1988 году, после чего она прекратила свое существование.

В честь 75-летия открытия хроматографии Академия наук СССР учредила Памятную медаль М. С. Цвета. В 1973 году в Таллине на Международном симпозиуме, приуроченном к юбилею, Памятная медаль была вручена 135 выдающимся ученым за заслуги в области хроматографии.

Наша страна и отечественная хроматографическая наука безусловно заслуживают учреждения Золотой медали Российской Академии наук. Эта медаль могла бы присуждаться отечественным и иностранным ученым за выдающиеся работы в области хроматографии.

На международном юбилейном симпозиуме к 100-летию хроматографии выступил с речью Ю. М. Лужков, где в частности отметил, что «хроматография в конце своего 100-летия представляет собой самостоятельное научное направление и один из наиболее эффективных физико-химических методов исследования и измерения; самый распространенный и совершенный метод разделения смесей атомов, изотопов, молекул, макромолекул, ионов и препаративного выделения их в чистом виде; универсальный метод качественного и количественного анализа сложных многокомпонентных смесей; мощную отрасль аналитического и научного приборостроения». К столетию М. С. Цвета выпустили юбилейный почтовый конверт и значок с портретом ученого.

В 2010 году Европейским научным сообществом Separation Science была учреждена Международная награда им. М.Цвета и В.Нернста в области наук о разделении (рис. 6), вручаемая ежегодно. Первым премию получил наш соотечественник – пионер хиральной жидкостной хроматографии д. х. н. В. А. Даванков.

Сегодня по разным оценкам от 60 до 80% химических исследований во всем мире проводится с помощью различных видов хроматографии. Современные хроматографы способны разделить и идентифицировать несколько сотен соединений за один анализ. Некоторые хроматографические детекторы могут определять количество вещества в масштабе нанограммов в литре или кубическом метре.

Многофункциональный хроматографический метод стал неотъемлемой частью исследований не только в аналитической химии, но также в химической технологии, биохимии, биологии, геологии, медицине, атомной, пищевой и фармацевтической промышленности, в очистке воды, гидрометаллургии, теплоэнергетике, криминалистике, космических исследованиях и других областях человеческой деятельности. Препаративная хроматография – основная процедура разделения и очистки компонентов при производстве лекарств, химических веществ, красителей, ароматизаторов и пр. Без хроматографии невозможно производить такие необходимые человечеству препараты, как высокочистые интерфероновые белки и инсулин.



Конверт М. С. Цвет к 100-летию ученого. Художник А. Соколов. Издание Министерства связи СССР, 1972 год



Диплом о вручении Премии М. Цвета – В.Нернста Европейского научного сообщества Separation Science и именная награда. Премия № 1 вручена в Валенсии (Испания) в сентябре 2010 года В. А. Даванкову

По экспертным оценкам, хроматография относится к двадцати выдающимся открытиям прошедшего столетия, которые в наибольшей степени преобразовали науку, а через нее определили уровень развития техники и промышленности, цивилизации в целом. Хотя по образованию и роду занятий М. С. Цвет был ботаником, результаты его открытия столь значимы для всех естественных наук, что Федерация европейских химических обществ, например, приводит имя Цвета, наряду с четырьмя другими русскими именами – М. В. Ломоносова, Д. М. Менделеева, А. М. Бутлерова и Н. Н. Семенова, – в числе ста выдающихся химиков прошлого [6].

Основные термины и понятия, относящиеся к хроматографии, а также области их применения были систематизированы и унифицированы специальной комиссией ИЮПАК. Согласно рекомендациям ИЮПАК, термин «хроматография» имеет три значения и используется для обозначения специального раздела химической науки, процесса и метода [7].

Приведем определение хроматографии, сформулированное Комитетом научной терминологии в области фундаментальных наук РАН [8].

Хроматография (Chromatography) – это

- наука о межмолекулярных взаимодействиях и переносе молекул или частиц в системе несмешивающихся и движущихся относительно друг друга фаз;

- процесс дифференцированного многократного перераспределения веществ или частиц между несмешивающимися и движущимися относительно друг друга фазами, приводящий к обособлению концентрационных зон индивидуальных компонентов смесей этих веществ или частиц;
- метод разделения смесей веществ или частиц, основанный на различии в скоростях их перемещения в системе несмешивающихся и движущихся относительно друг друга фаз.

О М. С. Цвете написано несколько трудов его биографом Евгенией Михайловной Сенченковой:

- Сенченкова Е. М. Михаил Семёнович Цвет. 1872–1919. М.: Наука, 1973. 307 с.
- Сенченкова Е. М. Рождение идеи и метода адсорбционной хроматографии. М.: Наука, 1991. 228 с.
- Сенченкова Е. М. М. С. Цвет – создатель хроматографии. М.: Янус-К, 1997. 440 с.
- Сенченкова Е. М. История создания хроматографии и её научных основ в трудах М. С. Цвета. Диссертация на соискание ст. д. х. н. в форме научного доклада. М.: ИФХЭ РАН, 2000. 55 с.

Наиболее полно научное наследие и биография выдающегося ученого представлены в фундаментальной работе 2013 года [2].

В 2016 году на телеканале «Культура» в документальной серии «Гении и злодеи» вышел фильм «Михаил Цвет» с участием Е. М. Сенченковой (реж. Л. Медов, 2016) [9].

Литература

1. Tswett M. Physikalisch-chemische Studien über das Chlorophyll. Die Adsorptionen // Ber. Dtsch. bot. Ges., Bd.24, 1906. S.316–323.
2. Цвет М. С. Избранные труды. Серия Памятники отечественной науки. XX век. Отв. ред. Ю. А. Золотов; сост., автор очерков и коммент. Е. М. Сенченкова. М.: Наука, 2013. 679 с.
3. Рыбакова Е. В. История возрождения хроматографии. Работы Лазло Цехмейстера и его роль в развитии хроматографии. Журнал аналитической химии 2021;76(6):561–572.
4. Измайлов Н. А., Шрайбер М. С. Капельно-хроматографический метод анализа и его применение в фармации. Фармация. 1938;3:1–7.
5. Рыбакова Е. В. История создания ионообменной хроматографии как метода аналитической химии. Журнал аналитической химии. 2019;74(9):48–56.
6. Даванков В. А., Яшин Я. И. Сто лет хроматографии. Вестник РАН. 2003;73(7):637–646.
7. Nomenclature for Chromatography. Pure and Appl. Chem. 1993;65(4):819–872.
8. Хроматография. Основные понятия. Терминология. ред. Даванков В. А. Сборники научно-нормативной терминологии. Вып. 114. М.: РАН, 1997. 48 с.
9. Реж. Л. Медов. Фильм на телеканале «Культура» «Михаил Цвет» (2016) [электронный ресурс] // URL: https://youtu.be/kR_Th6Zqlow (дата обращения 24.05.2022).



**ПРИГЛАШАЕМ
К УЧАСТИЮ**

Место проведения:
площадка у ТЦ «Мой Порт»,
ул. Кирова, 146, мобильный павильон

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ

12-14 ОКТЯБРЯ

Ижевск' 2022

ТЕМАТИКА:

- Металлообрабатывающее оборудование. Инструмент. Металлопродукция
- Комплектующие изделия и материалы
- Оборудование для термообработки
- Электрические машины и оборудование
- Подъемно-транспортное и складское оборудование
- Литейное оборудование
- Сварочное оборудование
- Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации процессов
- Добыча, переработка, сбыт нефти и газа
- Техника и технологии для добычи нефти и газа, нефтепереработки и нефтехимии. Транспортировка и хранение нефти, нефтепродуктов и газа
- Нефтегазопромысловая геология и геофизика
- Энергетическое и электротехническое оборудование
- Охрана труда, безопасность на производстве. СИЗ
- Ресурсосберегающие технологии
- Сырье, химические материалы, применяемые в нефтегазовой и нефтехимической промышленности
- Средства пожарной безопасности, системы охраны, промышленной безопасности

