

**ПРОФЕССОР**  
**АЛЕКСАНДР ФЛАВИАНОВИЧ ДОБРЯНСКИЙ**  
**(1889-1963 гг.)**

**И СОВРЕМЕННАЯ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКА**

А.М.Добротворский

(Институт химии СПбГУ, ЗАО «НПО «Ленкор» - ОАО «ВНИИНефтехим»)

26 августа 2014 г. исполнилось 125 лет со дня рождения крупного русского ученого, профессора Александра Флавиановича Добрянского. Эта дата была отмечена выходом обширным очерка, в котором приведены основные биографические этом ученом-химике [1]. Данная статья является изложением посвященной его памяти лекции об А.Ф.Добрянском, прочитанной автором на ... чтениях ... В ней неизбежно повторяются известные биографические данные, а также приводятся сведения о современном состоянии технологии процессов промышленной углеводородного сырья, у истоков которых стоял ученый в ряду с замечательной плеядой отечественных и зарубежных специалистов.

За рамки статьи выходит оценка огромного научного вклада А.Ф.Добрянского в области классификации горючих ископаемых, геохимии нефти, переработки сланцев. Рассмотрены только на те направления его деятельности, которые связаны с нефтепереработкой. Приведены данные, показывающие то, какое развитие получила нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность в нашей стране.

Директор института геологии и геофизики Сибирского отделения АН СССР, академик А.А. Трофимук в своих воспоминаниях пишет об А.Ф.Добрянском: «Нефть мало добыть, ее нужно переработать, превратить в нефтепродукты. Начало глубокой переработке сырой нефти положил замечательный ученый-нефтехимик Александр Флавианович Добрянский (1889-31/01/1963 гг.) из Вильно. Он окончил Петербургский университет одновременно по двум специальностям - геологии и химии. Первая мировая война явилась для него толчком, определившим направление всей его дальнейшей работы в области химии нефти. Добрянский начал работы на петроградском заводе "Блаугаз" по пиролизу нефти для получения толуола и тринитротолуола, а в 1916 году построил в Баку первый пиролизный завод "Нефтегаз". Профессор Петроградского университета Добрянский издал ряд книг, в которых впервые осветил вопросы технологии нефтепереработки и тем самым внес неоценимый вклад в развитие мировой нефтеперерабатывающей науки.» [2].

К сожалению, остается все меньше людей, кто лично был знаком с Александром Флавиановичем. Немногие коллеги и ученики оставили воспоминания о нем.

Как уже говорилось, А.Ф.Добрянский родился 26 августа 1889 г. в г. Вильнюсе в семье преподавателя гимназии. После окончания Вильнюсской гимназии в 1908 г. он поступил в Санкт-Петербургский университет на естественное отделение физико-математического факультета, которое окончил в 1912 г. по двум группам геологии и химии. После окончания университета он был оставлен при кафедре академика Алексея Евграфовича Фаворского для подготовки к профессорскому званию [3].

Свою практическую деятельность в области переработки нефти Александр Флавианович начал в 1914 г., когда возникла необходимость получения толуола для изготовления взрывчатых веществ. Уже тогда им были выполнены обширные исследования совместно с академиком Сергеем Васильевичем Лебедевым по вопросу пиролиза нефти, на основе которых в 1916 г. был пущен толуоловый завод в Баку. В 1915 он впервые в России выделил из газов, получающихся при пиролизе нефти, изопропиловый и бутиловый спирты.

В 1918 г. Александр Флавианович начал работать преподавателем в Лаборатории технической химии, руководимой академиком В.Е.Тищенко. В этой лаборатории проведена значительная часть исследований по химии нефти, по анализу продуктов ее переработки. Здесь же им был разработан метод анализа смеси непредельных газов, получивший признание в лабораториях Союза и за рубежом. Поэтому имя А. Ф. Добрянского должно быть связано с развитием и усовершенствованием аналитических методов нефтяной химии.

Итогом выполненных в лаборатории экспериментальных работ по пиролизу нефти и химической переработке нефтяных газов стала книга «Пирогенетическое разложение нефти» [4], в которой впервые была сформулирована теория образования ароматических углеводородов как продуктов конденсации дивинила с олефинами. В отзыве на эту книгу академик В.Н.Ипатьев писал: «Работа А.Ф.Добрянского о пирогенетическом разложении нефти затрагивает очень важный вопрос химической технологии нефти, которая за последнее время получила в особенности большой интерес, так как продукты разложения нефти, ароматические углеводороды, получили широкое применение в технике приготовления взрывчатых веществ. В этой области в русской, а также в иностранной литературе имеется очень мало материала, и труд А.Добрянского несомненно принесёт большую пользу для последующих работников в вопросе о пирогенизации нефти» [5].

В 1930 г. при участии А.Ф. Добрянского был основан Всесоюзный институт по переработке сланцев. Александр Флавианович принимал ближайшее участие в его работе, будучи долгое время его научным руководителем. При его участии коллективом сотрудников были разработаны технологические схемы промышленной переработки сланцев с целью получения ценных химических продуктов, необходимых химической промышленности.

В годы войны (1941 —1944 гг.) Александр Флавианович работал в Баку и Тбилиси в системе Академии наук Азербайджана, а затем Грузии, вел занятия в Грузинском индустриальном институте на кафедре органической химии. Вернувшись в Ленинград, он продолжал работать заведующим кафедрой в Технологическом институте и директором Всесоюзного исследовательского института по переработке сланцев

С 1947 по 1963 гг. Александр Флавианович работал в Ленинградском университете, заведывая кафедрой технической химии химического факультета. В это время на кафедре были проведены ставшие классическими работы по термokatалитическому превращению углеводов различных групп.

Одновременно проф. А.Ф.Добрянский проводил работы на опытном заводе Химгаз, который позже вошел в состав Всероссийского научно-исследовательского института нефтехимических процессов – ВНИИНефтехим. Здесь были подробно изучены условия получения этилена, пропилена и бутиленов из газов пиролиза нефти, разработан синтез окиси этилена и гликоля, хлоргидрина, хлористого этила и бутила, синтез этилового спирта из этилена, исследованы сульфонефтяные кислоты. Портрет А.Ф.Добрянского многие годы находился в галерее почета ВНИИНефтехима, в ряду таких выдающихся ученых, как основатель института (первоначальное название ГИВД – Государственный институт высоких давлений) академики В.Н.Ипатьев, Г.А.Разуваев, профессора Б.Н.Долгов, А.В.Фрост и др. Большинство прикладных работ ученого внедрено в промышленность (Рис.1).

В 1951 г. А.Ф.Добрянский был избран чл.-корр. АН Эстонской ССР.

Александр Флавианович являлся автором 17 монографий, 140 научных работ и ряда авторских свидетельств. Он обладал широкой эрудицией не только в области химии и но и в других областях естественноисторических наук. Был горячо любим сотрудниками и учениками.

Немногие воспоминания сохранились о А.Ф.Добрянском, как о профессоре университета. Доктор геолого-минералогических наук Светлана Николаевна Белецкая, окончившая Химфак ЛГУ в 1953 г., вспоминает: «Знаменитый профессор Александр

Флавианович Добрянский читал техническую химию. Длинный, худой, носатый, с неизменной трубкой, был очень похож на англичанина, так и хотелось к нему обращаться: «сэр». Он обладал энциклопедическими знаниями, но лекции читал ужасно. Говорил он быстро, тихо и совершенно неразборчиво. Сегодня, говорил он, у нас лекция на тему «Вода», поворачивался к доске и всё, в тетрадах одни точки. И только много лет спустя, когда я стала работать в Нефтяном Институте, я поняла, как велик вклад Александра Флавиановича в химию нефти. ....» [6].

Возвращаясь к научно-прикладным работам проф. А.Ф.Добрянского следует снова отметить, что он был одним из тех, кто стоял у истоков создания отечественной нефтепереработки и нефтехимии – сегодня одной из важнейших отраслей нашей промышленности. Мощный рывок в развитии этой отрасли произошел с начала с 60-х годов прошлого века, т.е. еще при жизни Александра Флавиановича. В настоящее время в России действуют 27 крупных нефтеперерабатывающих заводов, а также свыше нескольких десятков нефтехимических предприятий. Суммарная мощность нефтеперерабатывающих заводов превышает 260 млн. тонн в год.

Современные нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) и нефтехимические заводы (НХЗ) представляют гигантские инженерные комплексы, насыщенные сложнейшей техникой и передовыми системами управления. По своей насыщенности реализованными научными и техническими решениями они сопоставимы с атомной энергетикой или авиакосмической отраслью.

Обращает внимание на эстетическую сторону архитектуры современных нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов, на впечатляющую мощь тектоники металлических конструкций, технологических трубопроводов и химической аппаратуры (Рис.2,3). К сожалению, фотографии не позволяют увидеть красоту технологий и систем управления производствами, которые на современных заводах практически полностью автоматизированы.

Технологические процессы нефтепереработки подразделяются на первичные и вторичные. Первые представлены в основном типовыми установками электрообессоливания нефти (ЭЛОУ), в которых осуществляется удаление воды и минеральных солей из сырой нефти, и установками разделения нефти на фракции, кипящие при различных температурах, путем перегонки при атмосферном давлении (установки АТ) или в условиях вакуума (установки АВТ). Наибольшая единичная мощность типовых отечественных установок первичной переработки нефти составляет 6 млн. тонн в год по сырью. В 2013 г. на ОАО «ТАНЕКО» (г. Нижнекамск) введена в эксплуатацию установка ЭЛОУ-АВТ-7 мощность 7 млн. тонн в год по сырью. Крупные заводы имеют комплекс таких установок, например на ООО «КИНЕФ» таких установок четыре. Их общая производительность определяет годовой объем переработки нефти.

Вторичные процессы переработки нефти связаны с дальнейшим переделом отдельных фракций. Большинство из этих процессов является термическими или термокаталитическими, что возвращает нас к идеям и исследованиям А.Ф.Добрянского. Перечислим наиболее важные из вторичных процессов.

В процессах гидроочистки нефтяных фракций осуществляется каталитическое удаление (никель-молибденовые и кобальт-молибденовые катализаторы) из них вредных серосодержащих соединений под давлением водорода от 1.5 до 9 МПа, который поглощается в ходе разрушения меркаптанов, при температурах до 400°C. Побочно происходит насыщение непредельных углеводородов, снижение содержания смол, кислородсодержащих соединений, а также гидрокрекинг молекул углеводородов. Гидроочистке подвергаются следующие фракции нефти: бензиновые фракции

(прямогонные и каталитического крекинга); керосиновые фракции; дизельное топливо; вакуумный газойль; фракции масел.

В результате гидроочистки, получают либо товарные продукты: керостин, дизельное топливо, масла, либо гидроочищенные фракции, которые используются для последующего превращения (прямогонный бензин, вакуумный газойль). В России применяются типовые установки гидроочистки, в случае дизельного топлива, производительностью до 2 млн. тонн в год. В 2012 г. на Омском НПЗ введена в эксплуатацию установка гидроочистки мощностью 3 млн. тонн.

Прямогонный бензин является основным сырьем производства высокооктановых моторных топлив. Необходимые для этого химические превращения осуществляются в процессе каталитического риформинга. В этом каталитическом процессе (алюмоплатиновый катализатор) при температуре 350-550°C и давлении до 5 МПа протекают десятки химических реакций, основными из которых является ароматизация нафтенных и дегидроциклизация алканов  $C_6-C_8$  в результате чего образуются ароматические углеводороды: бензол, толуол, небольшое количество ксилолов разного строения и выделяется большое количество водорода. В настоящее время в отечественной промышленности эксплуатируются установки с стационарным и движущимся слоем катализатора мощностью до 1 млн. тонн в год.

Еще двумя важнейшими технологическими процессами современной нефтепереработки нефти являются каталитический крекинг и гидрокрекинг. Оба процесса позволяют значительно увеличить глубину переработки нефти (ГПН) – одного из основных показателей эффективности работы нефтеперерабатывающих заводов. Этот показатель определяется как отношение выхода нефтепродуктов за вычетом мазута и топлива на собственные нужды к объему переработки. По России этот показатель, хотя и постоянно увеличивается (в 2013 г. составил 71.5%), но остается значительно ниже лучших зарубежных показателей (в США 92%).

Процесс каталитического крекинга заключается в разложении углеводородов, входящих в состав сырья, вакуумного газойля, под воздействием температуры (500-520°C) в присутствии цеолитсодержащего алюмосиликатного катализатора. Целевой продукт каткрекинга – высокооктановый компонент бензина с октановым числом 90 пунктов и более, его выход составляет от 50 до 65% в зависимости от используемого сырья, применяемой технологии и режима. Высокое октановое число обусловлено тем, что при каталитическом крекинге происходит также изомеризация. В ходе процесса образуются газы, содержащие пропилен и бутилены, используемые в качестве сырья для нефтехимии, а также легкий газойль – компонент дизельных и печных топлив, и тяжелый газойль – сырьё для производства сажи, или компонент мазутов. Мощность современных отечественных установок в среднем составляет от 1,5 до 2,5 млн. тонн, однако на заводах ведущих мировых компаний существуют установки мощностью и 4,0 млн. тонн.

Гидрокрекинг – процесс, направленный на получение высококачественных керосиновых и дизельных дистиллятов газойля путём крекинга углеводородов исходного сырья в присутствии водорода при давлениях до 30 МПа и температурах от 380 до 450°C и выше. В процесс гидрокрекинга могут вовлекаться прямогонный вакуумный газойль, газойли каталитического крекинга и коксования, побочные продукты маслблока, мазут, гудрон. Одновременно с крекингом происходит очистка продуктов от серы, насыщение олефинов и ароматических соединений, что обуславливает высокие эксплуатационные и экологические характеристики получаемых топлив. Получаемая бензиновая фракция имеет невысокое октановое число, её тяжёлая часть может служить сырьём риформинга. Установки гидрокрекинга, как правило, строятся большой единичной мощности - 3-4 млн. тонн в год по сырью. В России строительство таких установок началось только в начале 2000-х годов (Ярославль, Пермь, Уфа). На ООО «КИНЕФ» установка гидрокрекинга мазута мощностью 4.9 млн. тонн в год введена в строй в 2013 г.

Помимо перечисленных, на предприятиях нефтепереработки эксплуатируются многие другие технологические установки: изомеризации; алкилирования; висбрекинга; замедленного коксования; производства битумов; газофракционирования; производства серной кислоты и элементарной серы из сероводорода гидроочистки и ряд других. Одна из возможных схем комплектации завода технологическими установками приведена на рисунке.

Отметим, что важнейшей составляющей функционирования нефтеперерабатывающего предприятия является водород (водород содержащий газ). Он вырабатывается на одних установках (каталитический риформинг) и поглощается на других. До тех пор пока его использование ограничивалось, в основном, установками гидроочистки сохранялся общий баланс водорода на заводах, учитывавшейся при их проектировании. С введением в строй многотоннажных установок гидрокрекинга потребовались источники дополнительного водорода. С этой целью установки гидрокрекинга дополняются установками конверсии метана или легких углеводородов с водяным паром (паровой риформинг). Процесс осуществляется на никельсодержащих катализаторах при температурах 850-900°C.

Остановимся, наконец, на еще одном важнейшем процессе нефтепереработки-нефтехимии – процессе пиролиза, который возвращает нас к трудам А.Ф.Добрянского. Основное назначение этого процесса – получение этилена и пропилена. Сырьем являются газы нефтепереработки, в ряде случаев прямогонный бензин, а также широкая фракция легких углеводородов, отбираемая из природного газа. Такими установками оснащено большинство нефтехимических заводов. Процесс пиролиза осуществляется в специальных реакционных печах при температурах 800-900°C при низких давлениях до 0.1МПа.

Процессы нефтепереработки и нефтехимии осуществляются при высоких температурах и давлениях, что обуславливает их высокую взрывопожароопасность. По современной классификации эти предприятия относятся к наивысшему, I-му классу опасности: объекты чрезвычайно высокой опасности [7]. Их эксплуатация неминуемо сопряжена с рисками аварий и отказов производственного оборудования. Поэтому позволю себе остановиться на вопросах обеспечения безопасности этих производств, с которыми в настоящее время наиболее связан.

Случаи крупных аварий являются предметом тщательного многостороннего анализа. Результаты таких исследований с выводами о причинах и рекомендациями по преодолению аварий во многих случаях публикуются в открытой печати. В качестве примеров, одних из многих, приведем объемный взрыв на установке изомеризации заводе BP Texas City Refinery 13.03.2005 (15 погибших, 180 раненных) из-за несрабатывания предохранительного клапана и объемный взрыв установки гидроочистки дизельного топлива на заводе Tesoro Refinery в штате Вашингтон, США (7 погибших большое число раненных) [8,9].

К сожалению, многочисленные отказы и достаточно крупные аварии происходят и заводах России. Анализ их причин необходим для обеспечения безопасности производства, а также для корректировки проектно-конструкторской решений, требований к материальному оформлению оборудования, выработки корректирующих и профилактических мероприятий, достижения более высокого уровня надежности [10].

Анализ причин аварий и отказов оборудования представляет собой комплекс исследований, который опирается на различные технические дисциплины и использует различные виды наблюдения, диагностики, лабораторных методов, технологических и прочностных расчетов [11-13].

Чаще всего инциденты, связанные с выходом из строя оборудования возникают в результате сложения нескольких критических обстоятельств, каждое из которых может иметь риск ниже допустимого уровня. Причинами отказов могут быть: ошибки в проектировании и конструировании аппаратуры; не правильный выбор конструкционных

материалов; не выявленные дефекты изготовления и монтажа оборудования; достижение критического состояния технических устройств, например по коррозионному износу; нарушение технологических режимов эксплуатации; ошибки персонала и др.

Работы в области технической диагностики оборудования нефтеперерабатывающей промышленности включают: анализ технической документации, выполнение неразрушающего контроля (ультразвукового, рентгенографического и т.д.), проведение лабораторных исследований вырезок металла, выполнение прочностных расчетов. В рамках исследования образцов металла осуществляется полный комплекс механических испытаний, включая кратковременные испытания при низких и высоких температурах, испытания на длительную прочность и др. Для химического анализа металла, продуктов коррозии и технологических отложений применяются методы рентгено-флуоресцентного анализа, рентгенофазового анализа, рентгеновского микроанализа, фотоэлектронной спектроскопии. Для металлографических исследований используется оптическая металлография с автоматизированным комплексом анализа изображений, сканирующая растровая микроскопия, атомно-силовая микроскопия. В выполнении ряда этих исследований участвует Нефтегазовый центр СПбГУ с привлечением имеющихся возможностей ресурсных центров «Нанотехнологии» (электронная микроскопия), «Рентгенодифракционных методов исследования» СПбГУ, оборудование которых не уступает самому современному мировому уровню, а по ряду направлений является уникальным (Рис.4,5).

В заключительной части доклада необходимо сказать о том, какова судьба продолжения дела Александра Флориановича Добрянского в СПбГУ, прежде всего на химическом факультете, ныне Институте химии. К сожалению, в 1965 г. кафедра технической химии была закрыта, а с прекращением ее существования в ЛГУ практически прекратились исследования в области нефтехимии. В то же время, эти работы продолжались во ВНИИНефтехиме, где в разное время работали многие выпускники химического факультета, часто совмещавшие работу в обоих учреждениях. Химический факультет ЛГУ окончили, кроме самого А.Ф.Добрянского: доктора наук и профессора: Б.Н.Долгов, Н.И.Зеленин, Д.В.Мушенко, С.К.Огородников, Т.Е.Жеско, А.С.Дыкман, А.М.Добротворский, Ю.Т.Виграненко, Б.И.Горовиц, В.П.Боярский; руководители подразделений: Г.Н.Гвоздовский, Б.В.Красий, И.И.Сабылин, Т.М.Лестева, Т.Н.Тывина, А.А.Поляков, С.А.Поляков, В.А.Хрусталева, Б.П. Тарасов, В.Д.Барашкин, В.В.Кашина, Т.Е.Краева и многие сотрудники. Аспирантуру ВНИИНефтехима окончил проректор СПбГУ по науке С.П.Туник. Сегодня, когда перестал существовать ВНИИНефтехим, закрыта и эта страница истории. Еще больше разорвалась связь университета и одной из важнейших отраслей промышленности.

Какие же возможности восстановить утраченные связи имеются у университета сегодня, что делается на этом пути? Об одном из возможных путей взаимодействия с отраслью было уже сказано в связи с проблемами технической безопасности. Другие пути, на мой взгляд, связаны с возможностями кафедр физической химии, аналитической химии, химической термодинамики и кинетики, электрохимии, химии высокомолекулярных соединений и, вероятно, других кафедр института химии.

Один из наиболее известных специалистов ВНИИНефтехима, лауреат Ленинской премии проф. М.С.Немцов в своих воспоминаниях писал: «В первой половине нынешнего века подавляющее большинство химиков-органиков не только недооценивало решающего значения физической химии в органическом синтезе, но даже «принципиально» отказывалось от ее использования в своей работе, признавая достоверность лишь прямого эксперимента. И лишь не так давно химики-органики поняли, что без физико-химического анализа в органическом синтезе именно «прямой эксперимент» наименее достоверен и часто приводит к наибольшим ошибкам» [14].

В разное время на кафедре физической химии выполнялись исследования, имеющие прямое отношение к нефтедобыче и переработке нефти [15-19]:

- Предсказание фазового поведения сложных флюидных систем (жидких и газовых) в широком интервале температур и давлений, включая интервал давлений и температур, отвечающий условиям залегания и извлечения нефтегазовых смесей;
- Расширение возможностей априорного расчета равновесий жидкость-пар в многокомпонентных системах для оптимизации разделения и очистки веществ методами ректификации и абсорбции;
- Разработка молекулярно-термодинамических моделей нано- и микро- размерных молекулярных образований в сырой нефти, определение условий и факторов, определяющих выпадение асфальтенов и смол.

Перечисленные исследования имеют значительный прикладной потенциал, который может служить основой для взаимодействия с промышленностью.

Как уже говорилось, А.Ф.Добрянский внес значительный вклад в развитие методов анализа состава нефти и нефтепродуктов. В настоящее время кафедра аналитической химии в совокупности с потенциалом ресурсных центров в состоянии решать многие научно-прикладные и методические задачи в этой области. Значение таких разработок постоянно возрастает в связи с ужесточением требований к составу нефтепродуктов, а также к составу проступающей на переработку сырой нефти, в которой в настоящее время содержатся крайне не желательные коррозионно-активные компоненты, используемые в нефтедобыче для увеличения отдачи пластов. К этой же сфере относятся экологические требования к выбросам в атмосферу и стокам промышленной канализации.

У промышленных предприятий, несмотря на наличие собственных хорошо оснащенных аналитических лабораторий, существует интерес на выполнение ряда сложных комплексных химических анализов в интересах нефтегазового комплекса. В качестве примера можно привести запрос ЗАО «Сибур-Химпром» на анализ состава технологического потока каталитического крекинга по содержанию 20 компонентов: углеводородов и меркаптанов разного состава, аммиака, сероводорода, арсина, окислов азота, хлоридов, Na, Si, Hg, Pb в количестве десятков миллионных долей и менее. К сожалению, подобные обращения требуют быстрого ответа и не оставляют времени для разработки необходимых методик, если таковые отсутствуют.

Еще одно направление для налаживания взаимодействия с предприятиями нефтепереработки – проведение комплексных физико-химических исследований промышленных гетерогенных катализаторов. Такие испытания и исследования, в которых требуется участие многих лабораторий и ресурсных центров университета могут быть использованы для следующих целей:

- контроль качества поставляемых катализаторов;
- сопоставление свойств катализаторов разных производителей;
- оценка свойств катализаторов после регенерации;
- контроль изменения характеристик катализаторов в процессе длительной эксплуатации;
- совершенствование существующих и разработка новых гетерогенных катализаторов.

В 2013 г. НГЦ СПбГУ выполнил демонстрационные исследования нескольких промышленных и лабораторных образцов катализаторов изомеризации и риформинга, включавших рентгенофазовый анализ, термогравиметрический анализа, рентгенофотоэлектронную спектроскопию, сканирующую электронную микроскопию и рентгеновский микроанализ, ИК-спектроскопия адсорбированных молекул пиридина и СО (Рис.6). Есть перспектива продолжения этих работ, правда, ограниченная отсутствием в институте химии возможности испытаний катализаторов в тестовых реакциях превращения углеводов.

Пошло полвека, как ушел из жизни замечательный ученый-нефтехимик Александр Флавианович Добрянский. Вспоминая о его вкладе науку, следует сказать, что он был одним из представителей выдающегося племени профессоров университета, внесших огромный вклад не только в фундаментальную химию, но и в прикладную химию, в те ее области, которые на многие годы определили развитие отечественной промышленности, стали основой ее экономического развития.

#### Список литературы

1. Емельянов А.Ю. Александр Флавианович Добрянский (125 лет со дня рождения) / Вестник Санкт-Петербургского Университета. Сер. 4. 2015. Том 2 (60). Вып. 1. С.102-106
2. Ермоленко В. "Родословная" нефтяных фонтанов. Имена белорусских ученых-геологов вписаны в историю создания нефтегазового комплекса России / Союз. Беларусь-Россия N392 от 5 февраля 2009 г.
3. Рембашевский А. Г. Александр Флавианович Добрянский. К 35-летию научно-педагогической деятельности // Журн. прикл. химии. 1947. Т. XX. Вып. 10. С.917-918.
4. Добрянский А.Ф. Пирогенетическое разложение нефти. Петроград, 1922.
5. ПФА РАН. Ф. 962. Оп. 1. Д. 27.
6. <http://memoclub.ru/2014/01/leningrad/> Белецкая С.Н. Эпоха и судьбы
7. Федеральный закон РФ № 116-ФЗ от 21.07.97 г "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" (с изменениями на 02.07.2013 г.).
8. Naphtha Hydrotreater E-6600E Failure. Anacortes Refinery, Washington//TOP Investigation Team Report. 2011. P.1-52p.
9. Catastrophic rupture of heat exchanger (seven fatalities) Tesoro Anacortes refinery Anacortes, Washington April 2, 2010//Report 2010-08-i-wa, May 2014. P. 1–160.
10. ASM. Handbook. Vol.11. Failure Analysis and Prevention - ASM International, 2002. – 2909 p.; Vol.19. Fatigue and Fracture - ASM International, 2002. - 2592 p.
11. P.G. Ulyanov, D.Yu. Usachov, A.V. Fedorov, A.V. Bondarenko, B.V. Senkovskiy, O.F. Vyvenko, S.V. Pushko, K.S. Balizh, A.A. Maltcev, K.I. Borygina, A.M. Dobrotvorskii, V.K. Adamchuk. Microscopy of carbon steels: Combined AFM and EBSD study. // Appl. Surf. Sci. (2013) Vol. 267, 15 February 2013, Pages 216–218
12. Добротворский А.М., Шевякова Е.П., Масликова Е.И., Михайловский В.Ю. Современные методы выявления причин отказов нефтеперерабатывающего и нефтехимического оборудования // Химическая техника, 2013 – №12 - с.10-15
13. Добротворский А.М., Шевякова Е.П., Масликова Е.И., Михайловский В.Ю., Дубик А.А, Симанов М.А., Караваева М.А. Современные методы выявления причин отказов нефтеперерабатывающего и нефтехимического оборудования // Современные подходы к выбору оборудования и материалов при проектировании, эксплуатации и строительстве технологических установок на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях. Материалы совещания. М.: ООО "НТЦ при Совете главных механиков", 2014 г. --- с.~109--121.
14. Немцов М.С. Воспоминания и размышления (записки химика) – СПб.: РИО «СпбГИПТ», 2006. – 96с.
15. A.I. Victorov and A. Firoozabadi, Thermodynamic micellization model of asphaltene precipitation from petroleum fluids / AIChE journal, 42(6), 1996, pp. 1753-1764
16. A.I. Victorov and N.A. Smirnova , Description of asphaltene polydispersity and precipitation by means of thermodynamic model of self-assembly, FLU PH EQUI, 160, 1999, pp. 471-480

17. A.I. Victorov and N.A. Smirnova, Thermodynamic model of petroleum fluids containing polydisperse asphaltene aggregates / Industrial & engineering chemistry research, 37(8), 1998, pp. 3242-3251
18. O. S. Subbotin, V. R. Belosludov, T. Ikeshoji, E. N. Brodskaya, E. M. Piotrovskaya, V. Sizov, R. V. Belosludov and Y. Kawazoe Modeling the Self-Preservation Effect in Gas Hydrate/Ice Systems / Materials Transactions, Vol. 48, No. 8 (2007) pp. 2114 to 2118

## РИСУНКИ К СТАТЬЕ



Рис.1 Портрет профессора А.Ф.Добрянского из галереи почета ВНИИНефтехим.



Рис.2. Установка первичной переработки нефти Московского НПЗ



Рис. 3. ООО «Газпромнефть-Омский НПЗ».

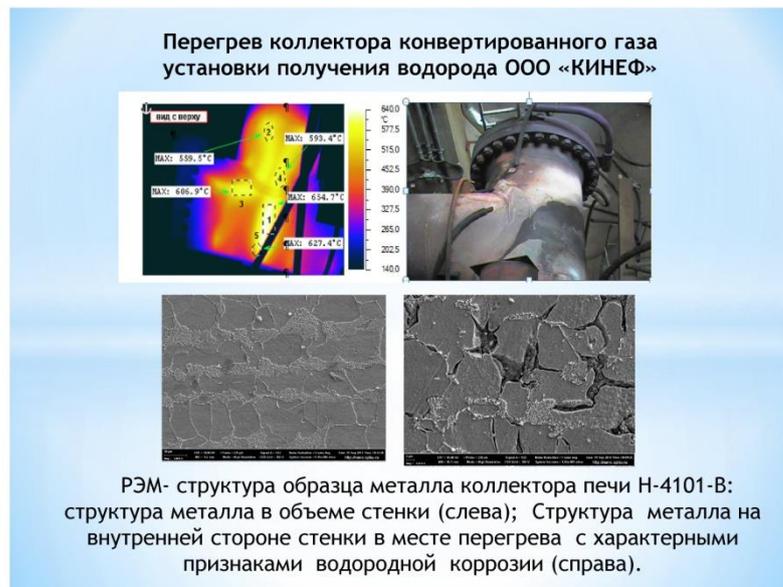


Рис.4. Пример применения растровой электронной микроскопии (РЭМ) для исследования микроструктуры кремнемарганцевой стали, подвергшейся водородной коррозии (данные РЦ «Нанотехнологии» СПбГУ)



Рис.5. Пример применения растровой электронной микроскопии в сочетании с рентгеновским микроанализом (РЭМ+МА) и рентгенофазовым анализом для исследования микроструктуры коррозионного поражения трубы газодифракционной установки (данные РЦ «Нанотехнологии» и РЦ «Рентгенодифракционных методов исследования» СПбГУ)

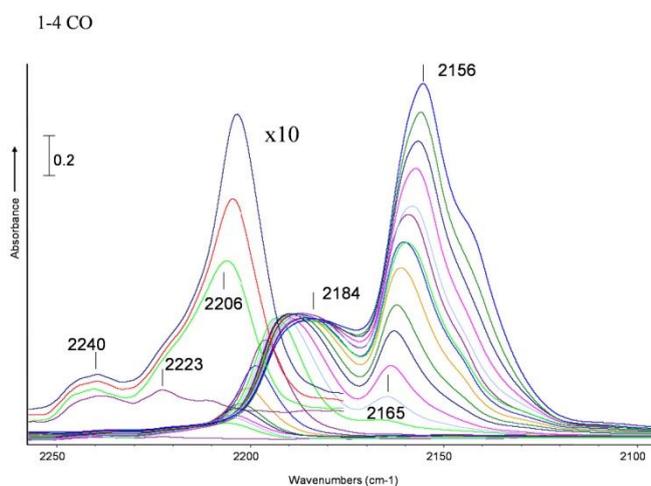


Рис. 6. ИК-спектры адсорбированного СО на носителе катализатора риформинга. Зависимость полос поглощения от степени покрытия поверхности адсорбированным газом (данные проф. А.А.Цыганенко, кафедра фотоники физического факультета СПбГУ)