

УДК 547(091)

Н. Д. ЗЕЛИНСКИЙ: К 160-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ

© 2021 г. Т. В. Богатова*, Е. К. Белоглазкина, В. Г. Ненайденко

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
химический факультет, Россия, 119991 Москва, Ленинские горы, 1/3

*e-mail: bogtv@mail.ru

Поступила в редакцию 18.05.2021 г.

После доработки 26.05.2021 г.

Принята к публикации 28.05.2021 г.

В феврале 2021 г. исполнилось 160 лет со дня рождения Н.Д. Зелинского, более 50 лет работавшего в Московском университете, возглавлявшего обширную школу химиков-органиков. Представленный исторический очерк жизненного пути и научных достижений Николая Зелинского демонстрирует его вклад в развитие катализа, нефтехимии и химии углеводов, а также широкий круг его интересов в области органической химии.

Ключевые слова: история химии, органическая химия, Зелинский, биография, химия нефти, органический катализ

DOI: 10.31857/S0514749221080012

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

1. ЖИЗНЕОПИСАНИЕ

1.1. РАННИЕ ГОДЫ (1861–1893)

1.2. ПЕРВЫЙ МОСКОВСКИЙ ПЕРИОД (1893–1912)

1.3. САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПЕРИОД (1912–1917). СОЗДАНИЕ ПРОТИВОГАЗА

1.4. ПРОДОЛЖЕНИЕ РАБОТЫ В МОСКОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ (1917–1953)

2. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. РАННИЕ РАБОТЫ

2.2. СИНТЕЗ УГЛЕВОДОРОДОВ

2.3. КАТАЛИЗ

2.3.1. РЕАКЦИИ ГИДРИРОВАНИЯ И ДЕГИДРИРОВАНИЯ

2.3.2. НЕОБРАТИМЫЙ КАТАЛИЗ

2.3.3. КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ИЗОМЕРИЗАЦИЯ

2.3.4. ТРИМЕРИЗАЦИЯ АЦЕТИЛЕНА

2.3.5. СИНТЕЗ ФИШЕРА–ТРОПША

2.3.6. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОЗЗРЕНИЯ НА КАТАЛИЗ

2.4. ХИМИЯ НЕФТИ

2.4.1. ПРЕВРАЩЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕФТИ, ОБЕССЕРИВАНИЕ НЕФТИ И ЕЕ ОБОГАЩЕНИЕ БЕНЗИНОВОЙ ФРАКЦИЕЙ (БЕНЗИНИЗАЦИЯ)

2.4.2. ПРОИСХОЖДЕНИЕ НЕФТИ

2.5. АМИНОКИСЛОТЫ И БЕЛКИ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Катализ – одна из важнейших движущих сил развития науки и техники в 21 веке; он оказал огромное влияние на развитие как химической промышленности, так и различных областей органической, неорганической и металлоорганической химии. В настоящее время гомогенный и гетерогенный катализ переживает новый расцвет и всплеск интереса, что иллюстрирует тенденция роста публикационной активности, четко указывающая на постоянное развитие новых каталитических методов и приложений [1].

Одной из самых сложных задач органической химии является активация СН-связей простых

алканов. Для крупнотоннажной промышленной химии углеводороды нефти – наиболее подходящее сырье, а возможность прямой переработки алканов и циклоалканов нефти дает прежде всего гетерогенный газофазный катализ – дегидрирование алканов является основным источником непредельных и ароматических углеводородов для промышленности.

Среди основоположников катализа и изучения превращений алканов и циклоалканов в органических реакциях имя русского химика **Николая Дмитриевича Зелинского** (6 февраля 1861–31 июля 1953) занимает особое место [2–4]. Зелинский является одним из основателей этих на-



Рис. 1. Портрет академика Н.Д.Зелинского. Художник П.И. Котов¹, 1947. Государственная Третьяковская галерея

¹ За картину «Портрет академика Н.Д. Зелинского» художник П.И. Котов был удостоен в 1948 г. Сталинской (Государственной) премии.

правлений; им впервые введены в синтетическую практику такие широко используемые и знакомые сегодня каждому синтетику каталитические системы, как **палладий на активированном угле** и **никель на окиси алюминия**. Процесс «платформинга», широко применяемый в нефтяной промышленности для крупномасштабного производства ароматических углеводородов из нефтяных фракций, можно считать результатом открытия Зелинским дегидрирующих свойств платины и палладия. Наконец, четыре именные реакции органической химии носят имя Зелинского: получение α -галогензамещенных карбоновых кислот действием брома (или хлора) в присутствии фосфора или его галогенидов (1887, **реакция Геля–Фольгарда–Зелинского**), метод синтеза α -аминокислот из альдегидов и кетонов (1906, **реакция Зелинского–Стадникова**), реакция каталитического диспропорционирования циклогексадиена и циклогексена («необратимый катализ», 1911, **реакция Зелинского**), реакция тримеризации ацетилена в бензол на активированном угле при нагревании (1924, **реакция Зелинского–Казанского**).

К главнейшим (но не единственным) научным заслугам Зелинского можно отнести: (1) открытие им возможности гетерогенного катализа **металлами, нанесенными на подложку** (палладий на активированном угле и никель на окиси алюминия), и (2) открытие и промышленная реализация возможности **процессов каталитической нефтепереработки**, на многие годы опередившие другие исследования в этой области, а также разработку крекинг-процесса Гудри.

Большая часть активной научной карьеры Зелинского пришлась на советский период российской истории. Однако, знакомясь с биографией Зелинского, можно отметить, что репрессии сталинской эпохи, сломавшие судьбы ряда российских ученых, его не коснулись. Возможно, была учтена важнейшая роль для экономики страны работ Зелинского по каталитическому крекингу, обессериванию нефти и синтезу дивинила. Хотя в доступной биографической литературе нет свидетельств о его личных встречах со Сталиным²,

² Отметим, что письма главе государства в защиту своих арестованных коллег Н.Д. Зелинский писал неоднократно.

Зелинского по праву можно назвать главным русским химиком Сталинской эпохи (рис. 1). В этой статье, посвященной 160-летию Зелинского, дается краткое изложение основных научных достижений Зелинского и очерк его научной биографии.

1. ЖИЗНЕОПИСАНИЕ

1.1. РАННИЕ ГОДЫ (1861–1893)

Николай Дмитриевич Зелинский родился 6 февраля 1861 г. в городе Тирасполе³ в семье потомственного дворянина Дмитрия Осиповича Зелинского. В четыре года мальчик осиротел (родители умерли от туберкулеза), и его воспитанием занималась бабушка, М.П. Васильева. Не забывая об умственном развитии внука, она особое внимание уделяла его здоровью, физическому воспитанию, старалась, чтобы он больше двигался, закалялся, бывал на свежем воздухе.

После начального курса обучения в уездном училище Тирасполя Николай Зелинский с 1872 г. учился в Ришельевской гимназии⁴ в Одессе. Окончив гимназию, он в 1880 г. поступил в Новороссийский университет. В тот период этот молодой университет (основан в 1862) располагал прекрасным составом преподавателей по естественным наукам: так, зоологию здесь преподавали В.В. Заленский и А.О. Ковалевский, эмбриологию и эволюционное учение – И.И. Мечников (будущий Нобелевский лауреат), физиологию – И.М. Сеченов (до 1876), физику – Н.А. Умов (впоследствии профессор Московского университета), химию – Е.Ф. Клименко и А.А. Вериго. Была здесь и прекрасно оборудованная химическая лаборатория.

Интерес к химии Н.Д. Зелинский проявил в раннем, можно сказать, еще детском возрасте; как

³ Во второй половине XIX в. этот город входил в Херсонскую губернию Российской Империи. В советское время был в составе Молдавской ССР. В настоящее время Тирасполь является столицей непризнанной Приднестровской Молдавской республики.

⁴ Ришельевская гимназия – старейшая гимназия Одессы, первоначально находившаяся при Ришельевском лицее, названном в честь инициатора его основания генерал-губернатора Новороссии герцога А.Э. де Ришелье. После преобразования лицея в Новороссийский университет (1862) гимназия была выделена в самостоятельное учреждение и в 1863 г. получила название Ришельевской.

он сам рассказывал: «Мне было десять лет, когда я пробовал добывать хлор, действуя соляной кислотой на перекись марганца» [5]. Поэтому университетские лекции и лабораторные штудии легли на подготовленную почву. Ранее, когда А.А. Вериго был еще доцентом, на физико-математическом факультете сложился студенческий кружок, который посещали те, кто увлекся химией, хотел проводить самостоятельные эксперименты. И преподаватели не жалели времени для таких увлеченных студентов: «Многие студенты естественного отделения физико-математического факультета, желая в каникулярное время усовершенствоваться в химических опытах, занимались в лаборатории по несколько часов в день; в этом случае надо отдать полную справедливость бескорыстному усердию доцента химии А.А. Вериго, который с полной готовностью уделял свое время на руководство молодыми тружениками» [6].

«Молодые труженики», и Зелинский в их числе, активно впитывали те знания, те интересы, которыми делились с ними их педагоги. Так, профессора Е.Ф. Клименко и В.М. Петриашвили изучали органические оксикислоты, их свойства и строение; С.М. Танатар исследовал геометрическую и стереоизмерию (на примере малеиновой и фумаровой кислот); П.Г. Меликишвили, которого Зелинский впоследствии называл своим учителем, занимался непредельными органическими кислотами, открыл класс глицидных кислот и разрабатывал методы их синтеза. Все эти научные направления впоследствии нашли отражение и были блестяще развиты в творчестве молодого ученого.

После окончания университета Н.Д. Зелинскому как одному из лучших студентов была предоставлена возможность зарубежной стажировки (1885–1886), которую он провел в двух университетах: в Лейпцигском у Й. Вислиценуса (и здесь он участвовал в исследованиях по стереохимии, выполнил работу по синтезу с использованием натриймалонового эфира) и в Геттингенском у В. Мейера, который заинтересовал своего стажера изучением реакций гетероциклов (тиофена и т.п.); здесь Зелинский также обратился к синтезу, предложив новый метод получения бромзамещенных кислот (впоследствии известный как метод Геля–Фольгарда–Зелинского; схема 1). В 1890 г.

молодой ученый во время летнего отпуска посетил лабораторию В. Оствальда, где познакомился с исследованиями по электропроводности растворов, а также с педагогическими приемами и методами немецкого физико-химика. Как впоследствии писал Зелинский, «за границей я научился у немецких ученых методам работы со студентами, которые перенес потом в одесскую, а затем и московскую лаборатории» [7, с. 581].

Полученные во время обучения знания, те направления работы, в которых он начал принимать участие еще в студенческие годы⁵, очень быстро получили свое развитие в его дальнейших исследованиях. Так, магистерская диссертация (1889) была посвящена вопросам геометрической изомерии в тиофеновом ряду⁶, а докторская, защита которой состоялась уже через два года, – стереоизмерии двухосновных кислот и диоксикислот жирного ряда⁷, причем благодаря поездке к Оствальду в работе появилась глава об электропроводности стереоизомерных кислот и их смесей.

Эти ранние работы заложили фундамент многих последующих работ Зелинского. В дальнейшем среди направлений его исследований будут и работы синтетического характера (причем многие будут посвящены не просто синтезу, а совершенствованию уже известных и применению новых, им предложенных методов синтеза), и применение металлоорганических соединений в синтетических реакциях, и разработки по катализу (влияние В. Оствальда), и продолжение изучения стереохимии органических веществ, и гетероциклические соединения; исследование оксикислот продолжится в обширной теме белков на примере оксиаминокислот, а нефтяная тематика потребует синтеза большого ряда соединений и отдельной разработки вопросов катализа.

⁵ Его первая работа под руководством П.Г. Меликишвили о присоединении к метилглицидной кислоте была опубликована в мае 1884 г.: Зелинский Н.Д. О продукте присоединения метиламина к β -метилглицидной кислоте // ЖРФХО, 1884, т. 16, с. 687–688.

⁶ Зелинский Н.Д. К вопросу об изомерии в тиофеновом ряду. Одесса: тип. Шульце, 1889, 92 с.

⁷ Зелинский Н.Д. Исследования явлений стереоизмерии в рядах предельных углеродистых соединений (Дисс. на получение степени доктора химии). Одесса: тип. Шульце, 1891, 190 с.

Еще перед защитой докторской диссертации, в 1890 г. Зелинский был назначен в Новороссийском университете штатным приват-доцентом кафедры химии, продолжил практические занятия со студентами и начал читать для естественного отделения обязательный курс лекций «Избранные главы органической химии». Кроме того, он активно вовлекал студентов и выпускников в научные исследования: именно в этот период изучение ряда соединений, сведения о которых вошли в докторскую диссертацию, было предпринято им совместно со своими учениками – С. Крапивиним, А. Бычихиним, С. Фельдманом, А. Безредкой, А.Г. Дорошевским. Именно здесь, в Одесском университете начал формироваться тот коллектив его учеников и единомышленников, который впоследствии составил обширную «научную школу Зелинского».

1.2. ПЕРВЫЙ МОСКОВСКИЙ ПЕРИОД (1893–1912)

Новый этап жизни начался у молодого ученого в 1893 г., когда он был приглашен занять кафедру химии в Московском университете, причем, как следует из письма попечителя Московского учебного округа графа П.П. Капниста к министру народного просвещения графу И.Д. Делянову, значительную роль в этом назначении сыграли Д.И. Менделеев и Н.А. Меншуткин: «В настоящее время в виду значительного количества слушателей ... имею честь просить Ваше Сиятельство о назначении с начала будущего 1893–94 учебного года приват-доцента ... Новороссийского университета Зелинского, известного Вашему Сиятельству и отлично рекомендованного Вам профессором Менделеевым и Меншуткиным, экстраординарным профессором ... Московского университета по кафедре органической химии, с выдачей ему, Зелинскому, содержания по 2000 рублей в год»⁸. В июне был издан указ И.Д. Делянова об этом назначении. Новость очень вдохновила молодого ученого, который, по его словам, не смел и «мечтать о том, чтобы стать профессором старейшего Московского университета, созданного гением Ломоносова» [7, с. 583]. Летом Зелинский переехал в Москву, а осенью приступил к работе: ему был поручен основной

курс органической химии для студентов естественного отделения физико-математического факультета, руководство практическими занятиями по качественному и количественному анализу и по органической химии, а также работа со студентами, которые решили специализироваться по органической химии (рис. 2). На должности руководителя кафедры химии Н.Д. Зелинский пришел на смену В.В. Марковникову [8], который покинул ее по выслуге лет, но остался в университете и продолжал вести исследования и руководить работами некоторых студентов-химиков⁹.

В Московском университете у Зелинского открылось более широкое поле деятельности: здесь было больше студентов-естественников, чем в Одессе, и многие из них заинтересовались исследованиями молодого профессора¹⁰, который в первую очередь занялся изучением нефти и ее составных частей – темой, традиционной для здешнего университета¹¹. В первые годы работы в Московском университете (1893–1911 гг.) Зелинским было опубликовано более 200 статей (в том числе в соавторстве со своими учениками).

В 1911 г. министр народного просвещения Л.А. Кассо в нарушение университетского устава неправоммерно поступил с руководством Московского университета. Это привело к возмущению профессорско-преподавательского состава. В результате большая группа профессоров и доцентов (более 100 человек) в знак протеста подала в отставку и ушла из университета. Среди них были Н.Д. Зелинский, В.И. Вернадский, К.А. Тимирязев и др.

Еще одним важным направлением деятельности Николая Дмитриевича в Москве была его работа профессором Московских высших женских курсов (МВЖК), которые вновь открылись¹² здесь

⁸ Центральный архив города Москвы, ф. 459, оп. 2, д. 4469, л. 6 об – 7.

⁹ Эта часть кафедры получила название «отделение заслуженного профессора Марковникова».

¹⁰ В момент перехода в Московский университет Зелинскому было 32 года.

¹¹ Как известно, исследования нефти начал проводить в Московском университете В.В. Марковников еще в начале 1880-х гг.

¹² Первый период деятельности МВЖК приходится на 1872–1888 гг.

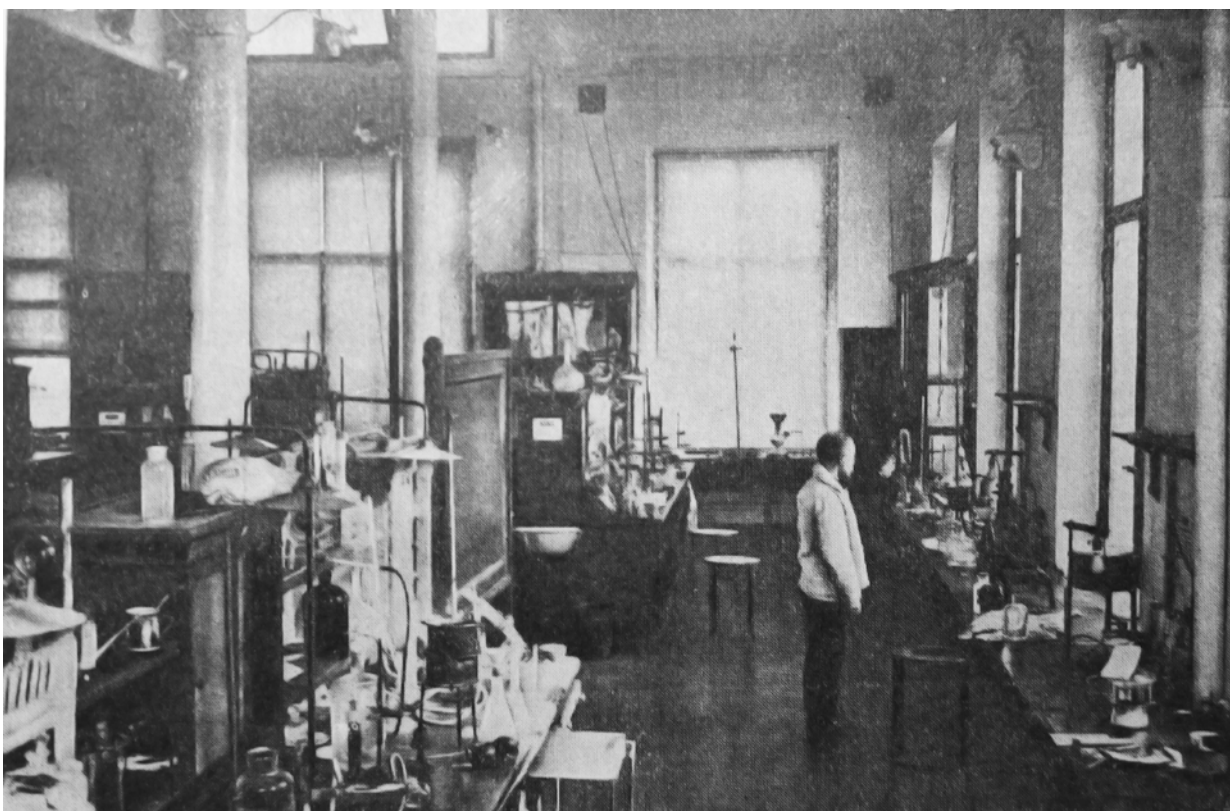


Рис. 2. Московский университет. Н.Д. Зелинский в помещении большого органического практикума, построенного и оборудованного под его руководством в 1905 г. (из собрания Мемориального дома-музея Н.Д. Зелинского, г. Тирасполь; Н.Д. Зелинский. Альбом фотографий. М., 1947)

в 1900 г. С 1901 г. Н.Д. Зелинский возглавил на Курсах кафедру органической химии, читал лекции, руководил практическими занятиями. К ведению этих занятий он привлекал в качестве лаборантов своих учеников – выпускников университета, а позднее – и выпускниц самих женских курсов (подробнее см. [9]). С 1910 г. на МВЖК начал работать один из учеников Зелинского этого периода Сергей Семенович Наметкин. Начав с должности лаборанта, он вскоре начал читать переданную ему Зелинским одну из частей курса органической химии, а с 1912 г. – и весь курс, взяв на себя также и руководство кафедрой органической химии. Среди учеников «первого московского» периода следует назвать Н.А. Шилова, Л.А. Чугаева, В.В. Челинцева, Г.Л. Стадникова, В.П. Кравца, С.Н. Наумова, С.С. Наметкина, А.Н. Лебедева, Е.С. Пржевальского, Н.А. Изгарышева, А.В. Раковского, Н.А. Шлезингера, Д.К. Александрова, В.В. Лонгинова, А.Е. Успенского, Б.М. Беркенгейма, И.В. Куликова, А.П. Терентьева и др. Все перечисленные внесли достойный вклад в разви-

тие химии (не только органической), стали профессорами, заведовали кафедрами.

1.3. САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ПЕРИОД (1912–1917). СОЗДАНИЕ ПРОТИВОГАЗА

В 1912 г. Зелинский, уйдя из университета, решил переехать в С.-Петербург – министр финансов пригласил его на должность директора Центральной лаборатории Министерства финансов; он также стал профессором Петербургского политехнического института. Здесь он занялся изучением белков и их составных частей – аминокислот. Однако эти исследования были вскоре прерваны начавшейся в 1914 г. Первой мировой войной. Очень скоро внимание Николая Дмитриевича переключилось на связанные с этим проблемы – вскоре после первых газовых атак 1915 г. возникла необходимость в средствах защиты от отравляющих газов, и Зелинский занялся этим вопросом вплотную. По опыту работы в Лаборатории министерства финансов он имел дело с методами очистки разнообразных веществ, в частности, сахара, вин-

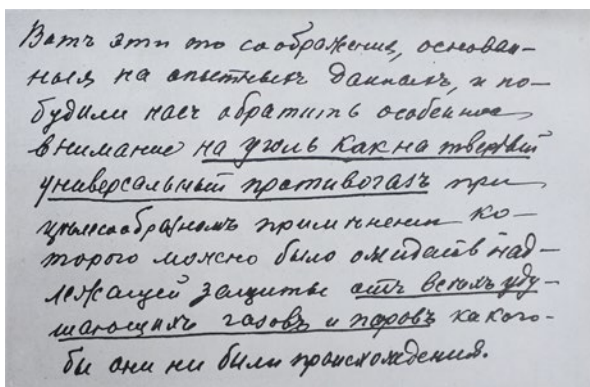


Рис. 3. Автограф Н.Д. Зелинского из его первой докладной записки об угольном противогазе (1915 г.). (Зелинский Н.Д. Собрание трудов. Т. 4. М.: Изд-во АН СССР, 1960, с. 64а)

ного спирта, где в качестве одного из наиболее эффективных средств применялся древесный уголь. Этот реагент он задумал применить и для защиты от отравляющих газов, поставив цель увеличить поглотительную способность угля, найти способы его активации (рис. 3). К тому времени уже были предложены способы активации угля (с помощью пара и хлорида цинка), активированный уголь производили в промышленных масштабах на заводах Германии, Австро-Венгрии [10]. Зелинским за основу был взят метод активации с помощью воздействия водяного пара, который был изучен ученым совместно с В.С. Садиковым и технологически реализован в двух вариантах (пропитка угля после обжига водой или органическими агентами, соответственно). Обосновывая применение активного угля для поглощения удушающих газов, Н.Д. Зелинский так формулировал его преимущества: уголь дешев и доступен; процесс его активации прост, его легко наладить в промышленных масштабах; угольная масса в контейнере респиратора не затрудняет дыхания, не приносит вреда человеку; эффективность поглощения не зависит от температурного режима среды [11]. Для защиты лица инженер-технолог завода «Треугольник» Эдмонд Куммант сконструировал резиновую маску, которая вместе с контейнером для угля составила противогаз Зелинского–Кумманта. При этом другими учеными предлагались иные поглотители [например, А.А. Трусевич (Горный институт, Петроград) использовал в своем варианте противогаса натронную известь] и формы масок. Начиная с ноября 1915 г. в течение 3–4 месяцев проводи-

лись многочисленные испытания этих устройств в различных вариантах: контейнеры с разными наполнителями¹³, разные сочетания масок и контейнеров, поглощение как отдельных газов, так и их смесей, варьировалась длительность пребывания в камере с газами и т.д. В подавляющем большинстве испытаний наилучшие результаты показал противогаз Зелинского–Кумманта [12].

С мая 1916 г. противогазы Зелинского стали поступать в действующую армию, первая их поставка была осуществлена в количестве 400 тыс. штук [13]; в дальнейшем количество произведенных противогазов достигло нескольких миллионов. Как отмечает Н.А. Фигуровский, «со второй половины 1916 г. этим противогазом снабжались все боевые части фронта, а с весны 1917 г. в боевых частях действующей армии других противогазов не было» [14].

К петербургскому периоду относятся также работы Н.Д. Зелинского по пиролизу и каталитическому крекингу нефти с использованием алюмосиликатных и окисных катализаторов, а также создание способов промышленного получения из нефти бензола и толуола, необходимых для производства взрывчатых веществ [15].

1.4. ПРОДОЛЖЕНИЕ РАБОТЫ В МОСКОВСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ (1917–1953)

После Февральской революции 1917 г. в соответствии с декретом Временного правительства ученым, покинувшим Московский университет в связи с реакционными реформами Л.А. Кассо, разрешено было вернуться на свои прежние кафедры. Летом 1917 г. Н.Д. Зелинский с семьей вновь переехал в Москву и продолжил свою работу с Московском университетом (рис. 4). Приближавшееся окончание войны, казалось, сулило передышку и улучшение условий работы, однако революционные события осени 1917-го и начавшаяся затем Гражданская война на несколько лет отодвинули мечты о спокойной и размеренной научной работе.

¹³ Выяснилось, в частности, что гранулы натронной извести быстро впитывают влагу и расплываются, прекращая доступ воздуха к дыхательной трубке.

Вся страна, и Московский университет в том числе, в этот период переживали трудные времена: гиперинфляция и дефицит продуктов привели к голоду, частым отключениям электричества и отопления. Из-за холода в аудиториях нередко отменялись лекции, находиться в лаборатории зимой также было практически невозможно. Исследовательская работа на некоторое время замерла, и это хорошо видно из списка научных трудов И.Д. Зелинского: за четыре года (1917–1920) у него было опубликовано всего 5 статей¹⁴. И тем не менее одно из важнейших исследований приходится именно на голодные и холодные 1918–1919 гг.: разработка способа получения бензина из солярового масла и мазута. С просьбой об этом к Зелинскому в сентябре 1918 г. обратилось Главное управление морского хозяйства. Уже в мае 1919 г. Комиссия РККА, проводившая испытания полученного бензина, вынесла заключение: «Признать делом безотлагательной важности постановку производства бензина по способу, рекомендованному и разработанному проф. Н.Д. Зелинским» [16].

Однако в целом тяжелая ситуация – ситуация выживания – сохранялась почти три года, лишь в начале 1920 г., с окончанием войны она начала постепенно улучшаться. В этот период в университет пришла новая генерация молодежи, активно включившаяся в учебу, желающая учиться, с серьезной внутренней мотивацией. Так, среди первых студентов, закончивших курс в 1920-е гг., были А.Н. Несмеянов, К.А. Кочешков, В.И. Спицын, Ю.К. Юрьев, Р.Я. Левина, А.В. Новоселова, А.А. Баландин, Н.И. Шуйкин, А.М. Рубинштейн, Б.А. Казанский и др., также ставшие впоследствии выдающимися химиками, профессорами, академиками (рис. 5).

Многие ученики Н.Д. Зелинского отмечали его выдающиеся педагогические способности. Он читал лекции ясно и просто, не перегружая их фактами, но в то же время стараясь полно и понятно осветить тему; тщательно подбирал демонстрационные опыты к каждой лекции, их было довольно

много. Так, один из экспериментов, иллюстрирующий химические свойства нитропроизводных углеводов, представлял собой приготовление натрийнитрометана, который при добавлении небольшого количества воды разлагался со взрывом. Это эффектное зрелище надолго запоминалось студентам.

Зелинский, будучи сам человеком, глубоко увлеченным наукой, и в то же время любивший молодежь, преподавание, был для студентов очень привлекательной фигурой. В учебном практикуме он поставил дело таким образом, чтобы студент, переходя от простых синтезов к более сложным, смог уверенно овладеть навыками лабораторной работы. И лишь после этого Николай Дмитриевич давал ему задание для самостоятельного исследования – студенты очень ждали этого момента. Как вспоминал затем С.С. Наметкин, «особенно ценило всегда студенчество специальные работы (дипломные и т.п.), в руководстве которыми непосредственное участие принимал сам Николай Дмитриевич... Обилие идей и рабочих тем, самое близкое изо дня в день внимательное отношение



Рис. 4. Н.Д. Зелинский (кон. 1910-х гг.) (из личного архива д.х.н. Е.А. Терентьевой)

¹⁴ В довоенный период у Н.Д.Зелинского выходило по 10–15 статей в год (считая с переводами, публиковавшимися в иностранных журналах), а в следующие четыре года (1921–24 гг.) было опубликовано около 50 работ.



Рис. 5. Н.Д. Зелинский с группой учеников и сотрудников кафедры органической химии Московского университета (1925 г.). Сидят (слева направо): Е.С. Пржевальский, П.П. Борисов, М.В. Гавердовская, И.В. Куликов, М.И. Ушаков, Н.Д. Зелинский, М.Б. Турова-Поляк, Н.И. Гаврилов; стоят: Б.В. Максоров, Н.В. Елагин, К.А. Кочешков, А.Н. Несмеянов, Б.А. Казанский, В.В. Лонгинов, А.В. Ипатов [18].

к малейшим деталям работы, личное участие в наиболее ответственные моменты исследования, постоянная помощь молодому химику не только на словах, но, что особенно ценно, на деле у лабораторного стола, наконец, личное обаяние профессора, всегда спокойного и объективного даже в моменты случайных, нередко крайне обидных неудач, при первом знакомстве несколько холодного, но по существу чрезвычайно отзывчивого и доброго, главное же, увлекающегося работой не меньше (если не больше) самого практиканта, – вот, по-видимому, основные причины, которые всегда привлекали к Николаю Дмитриевичу громадное количество учеников и сотрудников» [17].

В октябре 1929 г. в Московском университете был организован химический факультет, и Н.Д. Зелинский, к тому времени уже академик, возглавил одну из основных и самых многочисленных (по количеству сотрудников) кафедр – органической химии (рис. 6, 7). В 1938 г. по его инициативе была организована кафедра химии нефти, которой стал руководить сам Зелинский, а на кафедру органической химии был приглашен его ученик, С.С. Наметкин.

Когда началась Великая Отечественная война, всех наиболее выдающихся академиков преклонного возраста (и Николая Дмитриевича в их числе) эвакуировали в поселок Боровое (Казахстан), где находился известный кумысолечебный курорт. Однако и там он продолжал работать: за годы войны (1941–1945) вышло более 50 его работ.

После возвращения из эвакуации Николай Дмитриевич вновь окунулся в исследования, он был полон новых идей (рис. 8). Он обратился с письмом к ректору университета академику А.Н. Несмеянову с просьбой на базе лаборатории химии белка создать еще одну – лабораторию антибиотиков. В ответ последовал приказ ректора о создании такой лаборатории [19]. Новая лаборатория была организована быстро, возглавил ее Н.Д. Зелинский, которому в то время исполнилось 89 лет, – он и в этом преклонном возрасте продолжал генерировать новые научные идеи, развивать новые направления. После его кончины руководителем лаборатории антибиотиков стал один из учеников Зелинского А.Б. Силаев, лаборатория внесла существенный вклад в создание и изучение новых антибиотиков-полипептидов, внедрение их в ме-



Рис. 6. Оборудование из лаборатории Н.Д. Зелинского в Московском университете. Слева – весы аналитические коромысловые равноплечие. Москва, 1870-е гг. Изготовлены в Мастерской магистра химии А. Гедвилло. Справа – печь лабораторная для сжигания, с электрообогревом. Германия. 1900–1920 гг. Предметы из Личного фонда Н.Д. Зелинского (фонд № 204), собрание Политехнического музея

дицинскую практику и биологические исследования.

Среди учеников и ближайших сотрудников Н.Д. Зелинского 1930–40-х гг. следует назвать А.Ф. Платэ, Н.И. Гаврилова, М.М. Ботвиник,

Ю.Г. Мамедалиева, С.Р. Сергиенко, М.А. Прокофьева, Г. Тетени (Венгрия) и др. Внук Н.Д. Зелинского Николай Альфредович Платэ (директор Института нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиева, вице-президент Академии Наук в



Рис. 7. Н.Д. Зелинский в лаборатории (1930-е гг.)



Рис. 8. Н.Д. Зелинский и А.П. Терентьев (1940-е гг.) (из личного архива Е.А. Терентьевой)

2001–2007 гг.) стал выдающимся специалистом по химии полимеров.

Н.Д. Зелинский скончался 31 июля 1953 г. в возрасте 92 лет. Похоронен на Новодевичьем кладбище в Москве.

2. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основным вкладом Зелинского в химию обычно принято считать химию углеводов, однако его исследования относятся к различным областям органической химии – стереоизомерии, химии алициклических соединений, поликарбонатов, белков и аминокислот, металлоорганической химии, органическому катализу и химии нефти. Представленный ниже обзор основных направлений научных исследований Зелинского для

удобства разделен по темам, хотя исследования, помещенные в различные разделы, иногда совпадают хронологически.

2.1. РАННИЕ РАБОТЫ

Одна из первых научных работ Зелинского «О получении предельных одноосновных бромокислот», опубликованная в 1887 г., посвящена получению α -бром-замещенных пропионовой, уксусной, масляной и изомасляной кислот под действием красного фосфора и брома [20]. Ныне описанная в ней реакция, параллельно исследованная немецкими химиками Карлом Магнусом Гелем (С.М. von Hell) [21] и Якобом Фольгардом [22] известна как реакция Геля–Фольгарда–Зелинского (схема 1).

Свою магистерскую диссертацию 1889 г. «К вопросу об изомерии в тиофеновом ряду» и за-

Схема 1. Реакция Геля–Фольгарда–Зелинского

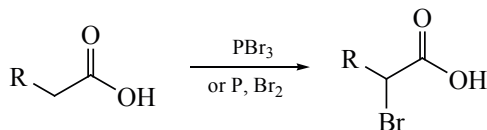
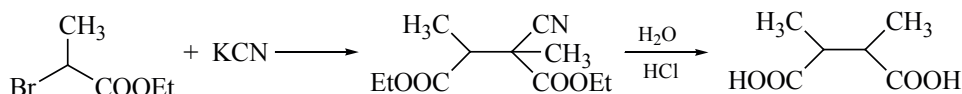


Схема 2. Синтез диметилянтарной кислоты (Зелинский, 1891 г.)



щищенную уже через 2 года (в 1891) докторскую диссертацию «Исследования явлений стереоизомерии в рядах предельных углеродистых соединений» [23] Зелинский посвятил решению остро актуальных в то время вопросов стереохимии органических соединений. Докторская диссертация Зелинского явилась первой крупной работой по стереохимии на русском языке. Для синтеза стереоизомерных производных янтарной и глутаровой кислот Зелинский использовал эфир бромзамещенной пропановой кислоты, полученной при каталитическом бромировании жирных кислот (схема 2).

Явление оптической изомерии привлекало внимание Зелинского и в дальнейшем. Можно отметить, что свою первую лекцию в Московском университете после переезда в Москву (которую можно рассматривать как программу планируемых исследований на ближайшие годы) в 1893 г. он назвал «Научное значение химических работ Пастера» и посвятил проблемам стереоизомерии. Возвращался он к этой теме и при исследовании происхождения нефти (см. далее), считая оптическую активность выделенных из нефти соединений одним из доказательств ее органического происхождения.

2.2. СИНТЕЗ УГЛЕВОДОРОДОВ

Основным объектом исследований Зелинского начиная с 1890-х гг. были углеводороды, прежде всего производные циклопентана и циклогексана. Работы Зелинского по синтезу углеводородов стали фундаментом для построения важной области химии – химии алициклических углеводородов и сыграли важную роль в нефтехимии того периода: они **позволили объяснить состав нефти** и решить задачу **повышения качества бензинов**, в

том числе и получаемых при газификации твердых топлив.

Интерес Зелинского к химии углеводородов возник логически в процессе его работ по стереоизомерии двухосновных кислот. При перегонке таких кислот (например, диметиладипиновой и ее гомологов) он выделелил циклические кетоны и в 1895 г. провел на их основе лабораторный синтез циклического алкана (1,3-диметилциклогексана; схема 3) [24].

Используя тот же метод, из соответствующих двухосновных кислот Зелинский затем получил и другие циклогексановые, а также циклопентановые углеводороды [25–30]. В 1895–1907 гг. Зелинским и его учениками были **синтезированы все простейшие гомологи циклопентана и циклогексана**, содержащие от 6 до 9 атомов углеродов. Эти соединения послужили эталонами для сравнения с углеводородами бензиновых фракций различных нефтей, что позволило получить правильное представление о химической природе этих нефтей.

Несмотря на приоритет исследований циклопентановых и циклогексановых систем, круг интересов Зелинского не ограничивался только 5- и 6-членными циклоалканами. Он **первым синтезировал девятичленные циклические системы – циклононан и циклононан** [31]; он также проводил исследования в области циклопропанов [32, 33] и циклобутанов [34, 35], а также спироцикланов [36, 37] (схема 4).

2.3. КАТАЛИЗ

Работы Зелинского в области гетерогенного катализа и параллельные исследования В.М. Ипатьева сделали общепризнанной роль катализа в процессах взаимного превращения угле-

Схема 3. Синтез 1,3-диметилциклогексана (1895 г.)

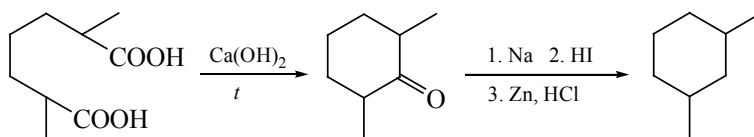


Схема 4. Синтез спиродекана по Зелинскому

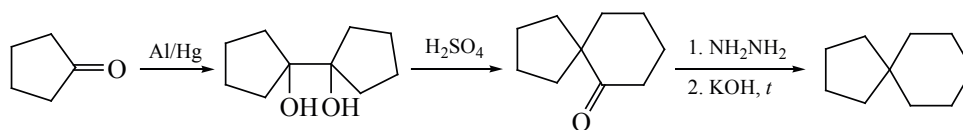
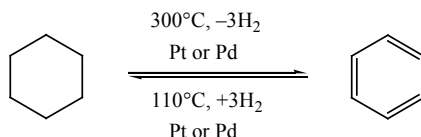


Схема 5. Взаимные превращения циклогексана и бензола (Зелинский, 1911 г.)



водородов. Исследования Зелинского в области каталитических превращений углеводородов позволили разработать основы переработки нефти.

2.3.1. РЕАКЦИИ ГИДРИРОВАНИЯ И ДЕГИДРИРОВАНИЯ

В поисках катализатора, способного вызывать дегидрирование шестичленных циклоалканов при температурах не выше 300–310°C (т.е. в условиях, исключающих пиролиз), Зелинский открыл в 1911 г., что платиновая и палладиевая чернь при 300°C нацело дегидрируют циклогексан до бензола, тогда как при 110°C, напротив, те же катализаторы приводят к гидрированию бензола до циклогексана [38] (схема 5).

Зелинский также применил Pt и Pd катализаторы на асбесте и активированном угле [39–41]¹⁵, причем эти катализаторы оказались более устойчивыми и активными (широко используемый до сих пор катализатор «палладий на угле», таким образом, в 2025 г. отметит свой 100-летний юбилей). Главный вклад Зелинского в развитие гетерогенного катализа заключается в том, что он **предложил использовать гетерогенные катализаторы, адсорбированные на вещества-носители** (асбест, уголь) и таким образом добился значительного увеличения их активной поверхности.

Помимо платины и палладия в виде черни или на носителях (асбест, активированный уголь),

Зелинский впервые успешно использовал для проведения реакции гидрирования никель, нанесенный на окись алюминия, что позволило существенно снизить температуру реакции и агрессивность катализатора по отношению к расщеплению углеводородов до метана [42]. В реакциях гидрирования в этих условиях им также были протестированы иридий, родий, рутений и осмий, оказавшиеся существенно менее активными [43].

Зелинскому удалось провести гидрирование и пятичленных циклоалканов. Он показал, что циклопентан и его гомологи превращаются в токе водорода при 225–300°C в присутствии платинированного угля с размыканием цикла в соответствующие нециклические алканы с тем же числом атомов углерода в молекуле. Аналогично размыкается насыщенный пятичленный цикл в более сложных углеводородных системах [44] (схема 6). При введении в реакцию гидрирования смеси 5- и 6-членных циклоалканов гидрирование циклопентанов может идти и без добавления водорода извне, за счет водорода циклогексановых углеводородов [45].

Значение реакции гидрогенолиза циклопентановых углеводородов для практики заключается в возможности превращения этих соединений, находящихся в значительных количествах в нефти, в парафиновые углеводороды, которые в свою очередь можно перевести в ароматические реакцией дегидроциклизации.

Исследования по гидрированию **гетероциклических** соединений на тех же катализаторах были выполнены Зелинским на примере азот-, кислород- и серосодержащих систем. Впервые была показана возможность гидрирования пиридинов, пирролов и фуранов на платине и палладии, а

¹⁵ Совместно с В.С. Садиковым Зелинский разработал способ получения активированного угля для использования в противоязгах путем прокалывания древесного угля, что значительно увеличивало его поглотительную способность. Способ активирования угля при совместном использовании водяного пара и низкокипящего органического растворителя был разработан Зелинским впервые; см. выше.

Схема 6. Гидрирование норборнана (1934 г.)

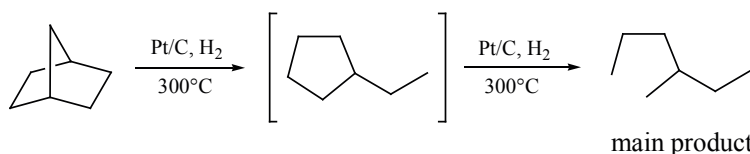
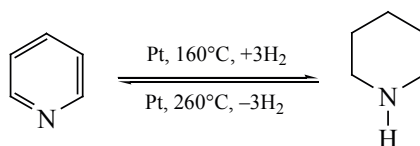


Схема 7. Взаимные превращения пиридина и пиперидина (1924 г.)



также осмии, на угле или асбесте, а попытка гидрирования тиофена привела Зелинского к разработке способа каталитического обессеривания нефти (см. ниже). Было установлено, что в случае пяти- и шестичленных гетероциклов, как и в случае полностью углеродных аналогов, соединения гидрируются и дегидрируются на одних и тех же катализаторах, при повышении температуры давая соответствующие соединения ряда пиридина или пиррола [46, 47], а при понижении – их гидрированные производные, например (схема 7).

Реакция дегидрирования производных циклогексана в производные бензола с отщеплением трех молекул водорода протекает над теми же катализаторами — платиной, палладием, никелем на окиси алюминия, но при более высокой температуре. Никелевый катализатор Зелинского по своему действию во многих отношениях приближается к палладиевому [48].

Дегидрирование по Зелинскому обычно протекает гладко, без побочных реакций, даже для сложных систем с шестичленным циклом. Только в отдельных случаях, из-за особенности строения исходного соединения, реакция либо вовсе не идет (эндометилен- и гексаэтил-циклогексаны), либо протекает с перегруппировкой углеродного скелета и расщеплением углерод-углеродной связи (так, 1,1-диметилциклогексан превращается в толуол и ксилол [49]). В некоторых других реакциях одновременно с дегидрогенизацией происходит образование новых циклов, пяти- и шестичленных: из дициклогексилметана образуется флуорен, из дициклогексилэтана – фенантрен [50] (рис. 9).

Поскольку в условиях дегидрирования циклогексанов Зелинский не наблюдал никаких превра-

щений циклопентанов, циклогептанов и линейных алканов, он назвал данный процесс «избирательным катализом». Дегидрогенизационный катализ оказался удобным методом исследования химического состава нефтей, позволяющим отделять шестичленные циклоалканы от алканов нециклического строения и циклопентанов. Шестичленные циклоалканы дегидрировались до аренов и далее удалялись серной кислотой. Этот метод широко вошел в практику исследования химического состава нефтей [51].

В 1934 г. Зелинский и Шуйкин [52] при изучении каталитической дегидрогенизации бензиновых фракций нефти наблюдали образование большего количества ароматических углеводородов, чем их должно было получиться из циклогексановых углеводородов. Было высказано предпо-

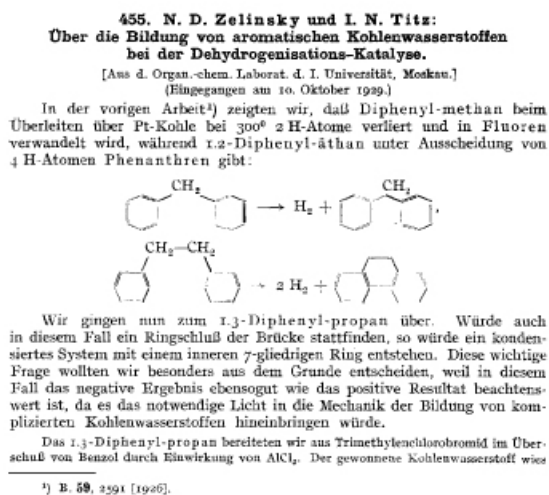
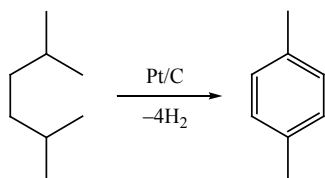
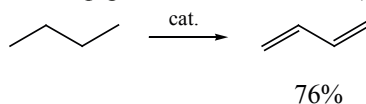


Рис. 9. Начальная страница статьи Зелинского о дегидрогенизационном катализе [Zelinsky, N.D., & Tits, I.N. (1929). *Berichte Der Deutschen Chemischen Gesellschaft (A and B Series)*, 62, 2869].

Схема 8. Дегидроциклизация линейных алканов (1936 г.).

Схема 9. Синтез бутадиена по Зелинскому (смешанные катализаторы на основе Cr_2O_3 , атмосферное давление; 1941 г.)

ложение, что источником ароматических углеводородов являются не только циклогексаны, но и другие классы углеводородов. В 1936 г. учениками Зелинского Б.А. Казанским и А.Ф. Платэ была открыта новая, исключительно важная реакция: дегидроциклизация (ароматизация) **линейных** алканов с числом атомов углерода в цепи не меньше шести, в результате которой получался ароматический углеводород соответствующего строения с тем же числом атомов углерода. Реакция идет в присутствии платины на угле {при 305–310°C [53] (схема 8)}.

В реакциях каталитического дегидрирования Зелинским были использованы также природные бутан и бутилен. При каталитическом дегидрировании этих углеводородов в присутствии смешанных окисных катализаторов получался дивинил [54] (схема 9).

2.3.2. НЕОБРАТИМЫЙ КАТАЛИЗ

В 1911 г. Зелинский открыл [55] и далее подробно исследовал процесс необратимого диспропорционирования гидрированных шестичленных циклов с одновременным образованием бензольного и более насыщенного шестичленного цикла. Роль донора и акцептора водорода при этом выполня-

ется одним и тем же веществом. Реакция идет на платине и палладии без выделения или поглощения водорода извне, и необратимо [56] (схема 10).

Особенно легко протекает необратимый катализ для циклических углеводородов с двумя двойными связями, причем реакции протекает высоко экзотермично. Так, циклогексадиен уже при 91°C нацело превращается на палладии в смесь бензола и циклогексана [57] (схема 10). Эта реакция была излюбленной лекционной демонстрацией Зелинского: он добавлял циклогексадиен, охлажденный до -20°C , к палладиевой черни и тепла, выделяющегося в реакции, было достаточно для того, чтобы образовавшиеся бензол и циклогексан сильно закипели [58].

2.3.3. КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ИЗОМЕРИЗАЦИЯ

Реакции взаимной изомеризации насыщенных циклов с расширением или сужением цикла, протекающие в присутствии хлористого или бромистого алюминия, подробно исследовались Зелинским (позднее – в соавторстве с Туровой-Поляк) начиная с 1905 г. [59] (схема 11).

Позднее была показана общая тенденция для замещенных циклоалканов (циклобутанов, цикло-

Схема 10. Необратимый катализ (реакция Зелинского, 1911 г.)

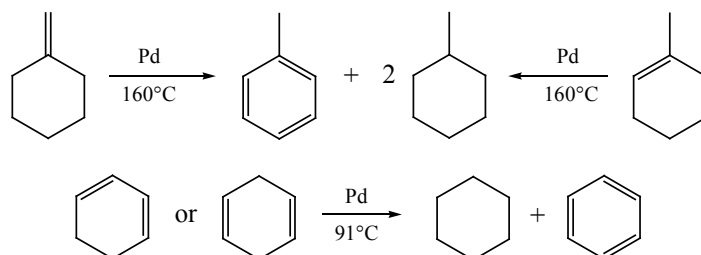
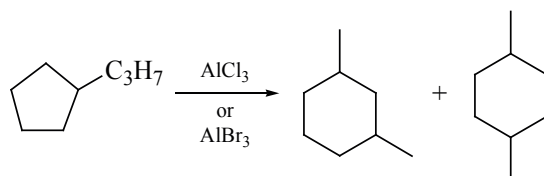
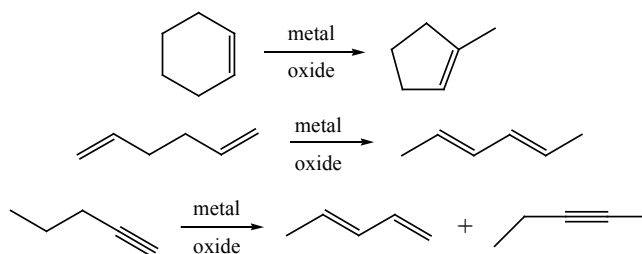


Схема 11. Каталитическая изомеризация замещенного циклопентана в циклогексаны (1905 г.)**Схема 12.** Изомеризация непредельных углеводородов на окисных катализаторах

гептанов, циклоалканов) изомеризоваться в этих условиях в устойчивую шестичленную структуру циклогексана [60, 61].

Над окисными катализаторами (оксиды алюминия, кремния, бериллия) циклогексеновые углеводороды изомеризуются при $450^\circ C$ в циклопентеновые [62, 63]. В тех же условиях претерпевают скелетную изомеризацию также и алкены (гептен-1 и октен-1) [64, 65] с перемещением двойной связи внутрь цепи, изолированные диены с превращением в сопряженные [66], а также алкины с превращением тройной связи в две сопряженные двойные связи [67] (схема 12).

Эти реакции до сих пор остаются удобным препаративно используемым методом получения углеводородов с сопряженной системой двойных связей.

2.3.4. ТРИМЕРИЗАЦИЯ АЦЕТИЛЕНА

Среди методов получения ароматических углеводородов широко известна реакция превращения ацетилена в бензол, осуществленная Зелинским и его учеником Б.А. Казанским в 1924 г. (схема 13).

Ранее М. Бертло в 1866 г. установил, что при нагревании ацетилена до $550\text{--}600^\circ C$ в результате конденсации трех его молекул образуется бензол [68]. Однако выходы бензола в этой реакции были крайне низкими. Зелинский применил в качестве катализатора тримеризации ацетилена активированный уголь, получив бензол с выходом 35%.

2.3.5. СИНТЕЗ ФИШЕРА–ТРОПША

С 1938 г. Зелинский исследовал каталитический синтез на основе оксида углерода(II). Работы велись как по разработке катализаторов, так и по изучению механизма реакции. Господствовавшие в те годы гипотезы – карбидная, по которой металл катализатора образует с CO карбид, вступающий далее в реакцию с водородом с образованием метиленовых радикалов, объединяющихся далее в бензин, и гипотеза промежуточного образования кислородных соединений (спиртов) не были экспериментально обоснованы. В 1940 г. Зелинским и Эйдусом было дано [69] прямое экспериментальное доказательство образования метиленовых радикалов, что имело большое принципиальное значение для объяснения механизма реакции. Эта изящная работа была проведена со скелетным Ni-Co-катализатором: в качестве акцепторов радикалов в реакционную смесь вводилась пары бензола, который, присоединяя CH_2 -радикал, превращался в толуол, присутствие которого в продуктах реакции было доказано. В последующих работах (1942) [70] было показано, что метиленовые радикалы образуются не из карбидов, а непосредственным восстановлением CO. На основании этого была предложена следующая схема реакции (схема 14).

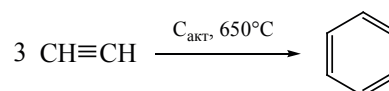
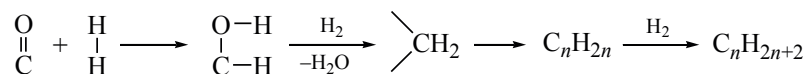
Схема 13. Реакция Зелинского–Казанского

Схема 14. Предполагаемая схема протекания реакции Фишера–Тропша (Зелинский, Эйдус, 1940 г.)



2.3.6. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОЗЗРЕНИЯ НА КАТАЛИЗ

В своих теоретических взглядах на катализ Зелинский примыкал к представлениям Д. Менделеева: «Гидрогенизационный, дегидрогенизационный и необратимый катализ шестичленных кольчатых систем должен быть рассматриваемым главным образом с точки зрения влияния соприкосновения на ход химических превращений» [71]. Зелинский видел причину каталитического действия гетерогенных катализаторов в деформации молекул реагентов, в изменении их формы при контакте с твердой поверхностью (поэтому, в частности, в своих статьях он предпочитал использовать слово *контакт*, а не *катализ*). Слишком сильная деформация молекул под влиянием контакта, по Зелинскому, приводит к образованию осколков молекул, соединяющихся в покрывающие поверхность смолистые и углистые пленки. Катализатор, который при этом дезактивируется, может регенерироваться путем выжигания поверхностных пленок кислородом. Зелинский полагал, что *при катализе не образуется промежуточных соединений между катализатором и реагирующими молекулами* (например, гидридов металлов в случае гидрогенизационного и дегидрогенизационного катализа), хотя для некоторых исследованных им реакций он допускал образование поверхностных метиленовых радикалов (см. выше; например, в случае распада циклогексана с образованием его метильных производных, или в реакциях с участием окиси углерода и водорода).

Эти взгляды на катализ были далее существенно развиты и модифицированы учеником Зелинского А.А. Баландиным при разработке *мультиплетной теории катализа* [72].

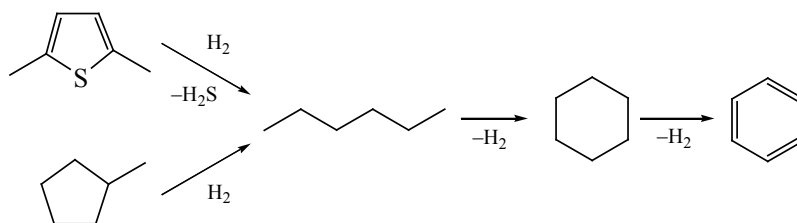
2.4. ХИМИЯ НЕФТИ

Исследования Зелинского в области органического катализа и химии углеводородов логично привели его в область исследований, занимающую одно из важнейших мест в его экспериментальных работах. Область эта – химия нефти.

Детальное изучение контактных превращений на платиновом катализаторе Зелинского индивидуальных циклоалканов (дегидрогенизационный катализ, необратимый катализ, каталитическая изомеризация), алканов (каталитическая дегидроциклизация), непредельных углеводородов (каталитическая изомеризация, а также каталитическое обессеривание над тем же катализатором) показало необычайную универсальность этого катализатора. На кафедре органической химии Московского университета предшественником Зелинского В.В. Марковниковым активно проводились исследования в области нефтехимии [8]. Продолжая работы своего предшественника, Зелинский на основе найденных им реакций разрабатывал способы рационального использования нефти, в частности, вопросы ее ароматизации.

2.4.1. ПРЕВРАЩЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ НЕФТИ, ОБЕССЕРИВАНИЕ НЕФТИ И ЕЕ ОБОГАЩЕНИЕ БЕНЗИНОВОЙ ФРАКЦИЕЙ (БЕНЗИНИЗАЦИЯ)

В 1901–1902 гг. Зелинский участвовал в разработке химической стороны пиролитической ароматизации по методу инженера А.Н. Никифорова [73] и А.А. Летнего [74]. Он доказал техническую возможность получения из нефти ароматических углеводородов – толуола, бензола и др., и на основе разработанного им процесса в начале 1900-х гг. около г. Кинешма был построен первый в России пирогенетический завод, выпускавший бензол, анилин и другие продукты. Однако используемый способ пирогенизации нефти имел существенный недостаток – малый выход ароматических углеводородов. Применяв в 1912 г. открытые им Pt и Pd катализаторы для дегидрогенизации нефтяных фракций 100–104°C, содержащих метилциклогексан, Зелинский смог получить из них до 68.5% толуола, из фракции 119.5–121.4°C – до 54.5% толуола, а работая над внедрением пиролитической ароматизации нефти на Кавказских нефтяных месторождениях в 1915 г. – показать возможность применения в нем природных алюмосиликатов и синтетических катализаторов [75]. Таким образом,

Схема 15. Основные процессы, происходящие при каталитической переработке нефти на катализаторе Зелинского

еще в 1915 г., задолго до создания крекинг-процесса Гудри [76] Зелинский использовал каталитическую активность окисных катализаторов в реакциях крекинга углеводородов.

Воздействуя водородом в присутствии никеля на окиси алюминия, а лучше – платины на угле при 300°C на углеводородные смеси: сернистые нефти, смолы горючих сланцев, Зелинский и И.Н. Тиц добились полного расщепления сернистых соединений с удалением серы в виде сероводорода [77]. В результате катализатор Зелинского позволил превращать нефтяные погоны в моторное топливо.

Зелинский впервые указал и способ восстановления постепенно снижающейся активности катализатора. Объясняя падение активности катализатора отложением на его поверхности пленки угля, он предложил отжигать катализатор в струе воздуха [78]. Этим достигалась полная очистка поверхности катализатора, и отравленные «закоксованные катализаторы» полностью восстанавливали свою активность. Заметим, что когда 20–25 лет спустя в мировой нефтеперерабатывающей промышленности начали применять окисные и алюмосиликатные катализаторы, то единственным способом регенерации этих катализаторов стал способ Зелинского – выжигание углистых отложений в токе воздуха. Этот способ обеспечил возможность промышленного применения каталитического крекинга и риформинга.

Таким образом, разработанный Зелинским платиновый катализатор позволил осуществить при нефтепереработке следующий каскад превращений: циклогексаны дегидрируются, теряя водород и давая арены; алканы при дегидроциклизации дают сначала циклоалканы а затем арены; циклопентаны присоединяют выделяющийся в других процессах водород и дают алканы, которые в свою очередь превращаются в циклогексаны и арены;

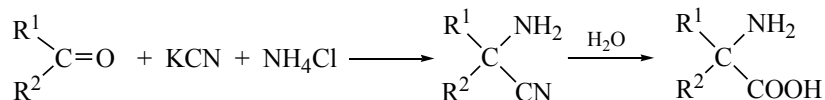
тиофеновые соединения разрушаются с выделением сероводорода. Происходящие процессы суммированы на схеме 15.

Подобный многореакционный процесс каталитической переработки нефти, позволяющий в присутствии гетерогенного платинового катализатора получать высокосортные бензины из низкосортных и ароматические соединения из других классов и одновременно производить обессеривание нефтяных фракций лишь намного позднее (в 1940 г.) был описан В. Гензелем (Universal Oil Products, UOP) [79]. Процесс Гензеля в 1949 г. был коммерциализирован UOP для производства высокооктанового бензина из низкооктановой нефти, и этот процесс стал известен под названием «Платформинг». Необходимо отметить также, что присоединение изобутана к олефинам C^3-C^4 в присутствии $AlCl_3$, приводящее к разветвленным углеводородам C^7-C^8 , компонентам высококачественного авиационного бензина, впервые было предложено В. Ипатьевым в 1932 г. [80]. К сожалению, за пределами России работы Зелинского по нефтепереработке остаются в основном неизвестными, вероятно из-за их низкой доступности (цитированные выше работы опубликованы в русскоязычных журналах).

2.4.2. ПРОИСХОЖДЕНИЕ НЕФТИ

Исследуя возможности химической переработки нефти, Зелинский одновременно активно интересовался и вопросами ее происхождения. Ему удалось экспериментально доказать, что органические кислоты, холестерин и бетулин при сравнительно низкой температуре могут превращаться в смесь различных углеводородов в присутствии хлористого алюминия как катализатора. На основании этого Зелинский предположил, что нефть образуется в природе, если органические вещества растительного или животного происхождения длительное время соприкасаются с глинами (алю-

Схема 16. Реакция Зелинского–Стадникова



мосиликатные соединения) в присутствии микроорганизмов. Дополнительным подтверждением органического происхождения нефти он считал оптическую активность выделенных из нее соединений [81, 82].

2.5. АМИНОКИСЛОТЫ И БЕЛКИ

Самая первая, студенческая, работа Зелинского «О продукте присоединения метиламина к β-метилглицидной кислоте» [83] была посвящена синтезу α-окси-β-метаминомасляной кислоты. Позднее, в 1906 г., синтезируя аминокислоты из кетонов, полученных из углеводов нефти, он разработал доступный метод получения α-аминокислот (реакция **Зелинского–Стадникова**, схема 16) [84]. В этом методе, модифицируя метод Штреккера–Тимана, предусматривающий реакцию карбонильного соединения с синильной кислотой [85, 86], Зелинский использовал водный раствор смеси хлорида аммония и цианистого калия; взаимодействие альдегидов и кетонов с такой смесью позволило безопаснее и с лучшими выходами получать α-аминокислоты (схема 16).

Продолжением работ по синтезу аминокислот явились исследования белков, которым Зелинский уделил много внимания. Он впервые совместно с Н.И. Гавриловым и В.С. Садиковым провел гидролиз белковых веществ в автоклавах с разбавленной соляной кислотой в течение короткого времени и получил при этом помимо нерастворимых продуктов (высшие монокарбоновые кислоты и стеарины) водорастворимый гидролизат [87–89]. Обнаружив в водном гидролизате кроме аминокислот также их циклические ангидриды – дикетопиперазины, Зелинский пришел к выводу, что дикетопиперазины не образуются при гидролизе из аминокислот, а присутствуют уже в самих белковых веществах [90]. Хотя дикетопиперазиновая теория строения белков была позже опровергнута, работы Зелинского 1920-х гг. внесли заметный вклад в плодотворную дискуссию по созданию современной теории строения белковых молекул.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суммируя этот краткий обзор научных открытий, большинство из которых отделено от нас почти столетием, и оценивая научные достижения Зелинского с позиций последующих событий в развитии химии, отметим, что его имя связано с двумя важнейшими событиями в российской и мировой химической науке: **открытием и совершенствованием методических и теоретических основ гетерогенного катализа** (использование катализаторов, нанесенных на подложку; взаимные превращения насыщенных и ненасыщенных 5- и 6-членных углеводов) и широким **практическим использованием процессов нефтепереработки** (бензинизация, обессеривание, каталитический крекинг и риформинг).

В значительной мере это связано с тем, что Зелинский жил и работал на стыке двух «химических эпох»: **периода становления и развития классической структурной теории**, когда шла разработка и совершенствование синтетических методов, стереохимических представлений, представлений о строении природных молекул и т.п., и **периода физической органической химии**, когда были разработаны динамические модели строения молекул и ключевая роль стала отводиться рассмотрению механизмов органических реакций [91, 92]. Именно в этот период произошли принципиальные изменения в структуре органической химии: в ней сформировались такие крупные самостоятельные области, как химия нефти, химия углеводов, химия гетероциклических соединений, химия природных соединений и др.; а полученные химиками-органиками в этот период знания послужили основой создания большого количества технологий и быстро развивающейся химической индустрии, и промышленность тяжелого и тонкого органического синтеза стала важнейшей отраслью экономики развитых стран.

Память о Николае Дмитриевиче Зелинском сегодня сохраняется не только в названиях именных реакций, но и в ряде мемориальных объектов – это в

первую очередь Музей-квартира Н.Д. Зелинского в Москве (Никитский пер, д. 2) и Дом-музей ученого на его родине – в г. Тирасполь; именем Зелинского названы улицы в этих городах, а также в Кишиневе, Воскресенске, Ярославле, Тюмени, Уфе, Казани, Орске, Саранске, Рыбинске и Великом Новгороде, переулки в Кинешме, Новошахтинске и Нерехте. Имя Н.Д. Зелинского носит Институт органической химии РАН, Большая химическая аудитория на Химфаке МГУ им. М.В. Ломоносова, школа в г. Тирасполе, а также одна из престижных научных премий РАН, которая раз в три года присуждается за выдающиеся работы в области органической химии и химии нефти. Памятники ученому установлены в Тирасполе, г. Электросталь Московской области (рис. 10), на территории предприятия, производящего средства индивидуальной и коллективной защиты «Электростальский химико-механический завод», которому в 2014 г. также было присвоено имя Зелинского, и в Москве.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность А.И. Нудель, главному хранителю Политехнического музея, Москва, и Л.В. Сауляк, заведующей Мемориальным домом-музеем Н.Д. Зелинского в г. Тирасполь (филиал МУ «Тираспольский объединенный музей», Приднестровская Молдавская республика), за предоставление фотоматериалов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Белоглазкина Елена Кимовна, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6796-8241>

Ненайденко Валентин Георгиевич, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9162-5169>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белецкая И.П., Анаников В.П. *ЖОрХ*. **2015**, *51*, 159–161. [Beletskaya I.P., Ananikov V.P., *Russ. J. Org. Chem.* **2015**, *51*, 145–147.] doi 10.1134/S1070428015020013
- Богатский А.В., Лазурьевский Г.В., Нирка Е.А. *Н.Д. Зелинский (1861–1953). Страницы жизни и творчества*. Кишинев: Штиинца, **1976**.



Рис. 10. Памятник Зелинскому в г. Электросталь на территории ОАО «ЭХМЗ им. Н.Д. Зелинского»

- Андрусев М.М., Табер А.М. *Н.Д. Зелинский. Книга для учащихся*. М.: Просвещение, **1984**; Zaitseva E. *New Dictionary of Scientific Biography*. Ed. N. Koertge. Detroit: Scribner. **2008**, *7*, 395–397.
- Beloglazkina E.K., Bogatova T.V., Nenajdenko V.G. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, *59*, 20744–20752. doi 10.1002/anie.202005233
- Цит. по: Богатский А.В., Лазурьевский Г.В., Нирка Е.А. *Н.Д. Зелинский (1861–1953)*. Кишинев: Штиинца, **1976**.
- Краткий отчет Императорского Новороссийского университета за 1866/67 акад. год*. Одесса, **1867**.
- Баландин А.А., Зелинская Н.Е., Зелинский А.Н. *Зелинский Н.Д. Избранные труды*. Ред. А.А. Баландин. М.: Наука, **1968**.
- Beletskaya I.P., Nenajdenko V.G. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2019**, *58*, 4778–4789. doi 10.1002/anie.201810035
- Богатова Т.В. *Женщины-химики: Биографический портрет, вклад в образование и науку, признание*. Ред. В.В. Лунин. М.: Янус-К, **2013**, 191–229.
- Панарин В.Ю., Баум Е.А. *История и педагогика естествознания*. **2018**, 56–60. doi 10.24411/2226-2296-2018-10412
- Зелинский Н.Д., Садиков В.С. *Уголь как средство борьбы с удушающими и ядовитыми газами. Экспериментальное исследование 1915–1916 гг.* М.: Изд-во АН СССР, **1960**, 64.
- Зелинский Н.Д., Садиков В.С. *Уголь как средство борьбы с удушающими и ядовитыми газами. Экспериментальное исследование 1915–1916 гг.* М.: Изд-во АН СССР, **1960**, 64.

- периментальное исследование 1915–1916 гг. М.: Изд-во АН СССР, **1960**, 130–139.
13. Панарин В.Ю., Баум Е.А. *Технические решения защиты от ОВ в годы Первой мировой войны. Начало широкого использования активированного угля в противогазах*. Доклад на XXV Годичной научной международной конференции ИИЕТ РАН. 25–29 марта 2019 г.
 14. Фигуровский Н.А. *Очерк возникновения и развития угольного противогаза Н.Д. Зелинского*. М.: Изд-во АН СССР, **1952**, 198.
 15. Баландин А.А., Зелинская Н.Е., Зелинский А.Н. *Зелинский Н.Д. Избранные труды*. Ред. А.А. Баландин. М.: Наука, **1968**, 606–607.
 16. Зелинский Н.Д. *Нефтяное и сланцевое хозяйство*. **1921**, 2, 44–48.
 17. Наметкин С.С. *Президент Московского общества испытателей природы академик Н.Д.Зелинский. К 50-летию со дня рождения*. М., **1911**, 13.
 18. Зелинский Н.Д. *Собрание трудов*. 2. М.: Изд-во АН СССР, **1955**, 201.
 19. Силаев А.Б. *Преодоление*. М., **2006**, 49–50.
 20. Zelinsky N. *Ber.* **1887**, 20, 2026. doi 10.1002/cber.188702001452
 21. Hell C. *Ber.* **1881**, 14, 891–893. doi 10.1002/cber.188101401187
 22. Volhard J. *Ann. Chim.* **1887**, 242, 141–163.
 23. Зелинский Н.Д. *Исследования явлений стереоизомерии в рядах предельных углеродистых соединений (Диссертация на получение степени доктора химии)*. Одесса: Тип. Шульце, **1891**, 1–190.
 24. Zelinsky N. *Ber.* **1895**, 28, 780–783. doi 10.1002/cber.189502801172
 25. Zelinsky N. *Ber.* **1895**, 28, 1022–1025. doi 10.1002/cber.189502801224
 26. Zelinsky N., Rudevich V. *Ber.* **1895**, 28, 1341–1344. doi 10.1002/cber.18950280220
 27. Zelinsky N., Reformatsky A. *Ber.* **1896**, 29, 214–216. doi 10.1002/cber.1896029014
 28. Zelinsky N., Rudsky M. *Ber.* **1896**, 29, 403–405. doi 10.1002/cber.18960290180
 29. Zelinsky N., Generozov V. *Ber.* **1896**, 29, 729–733. doi 10.1002/cber.189602901133
 30. Zelinsky N., Naumov S. *Ber.* **1898**, 31, 3206–3208. doi 10.1002/cber.189803103114
 31. Зелинский Н.Д. *ЖРФХО*. **1909**, 41, 720–728.
 32. Зелинский Н.Д., Целиков И. *ЖРФХО*. **1901**, 33, 644–555.
 33. Зелинский Н.Д., Шлезингер Н. *ЖРФХО*. **1908**, 40, 1018–22.
 34. Зелинский Н.Д., Наумов С.Н. *ЖРФХО*. **1899**, 31, 9–13.
 35. Zelinsky N. *Ber.* **1913**, 40, 160–172. doi 10.1002/cber.19130460128
 36. Зелинский Н.Д. *ЖРФХО*. **1909**, 41, 720–722.
 37. Зелинский Н.Д., Шуйкин Н. *ЖРФХО*. **1928**, 61, 2245–2250.
 38. Зелинский Н.Д. *ЖРФХО*. **1911**, 43, 1220–1222.
 39. Zelinsky N., Turowa-Pollak M. *Ber.* **1925**, 58, 1298–1303. doi 10.1002/cber.19250580718
 40. *Н.Д. Зелинский. Избранные труды*. М.: Наука, **1968**, 518–545.
 41. *Уголь как средство борьбы с удушающими и ядовитыми газами*. М.: Изд. АН СССР, **1941**.
 42. Zelinsky N., Pavloff G. *Ber.* **1911**, 44, 2781–2782. doi 10.1002/cber.191104403116
 43. Zelinsky N., Turowa-Pollak M. *Ber.* **1929**, 62, 2865–2869. doi 10.1002/cber.19290621031
 44. Зелинский Н.Д., Казанский Б.А., Платэ А.Ф. *ЖОХ*. **1934**, 4, 168–180. [Zelinsky N., Kazansky B., Plate A. *Zh. Obshch. Khim.* **1934**, 4, 168–180.]
 45. Зелинский Н.Д., Шахназарова Е.М. *Изв. АН СССР. Сер. хим.* **1936**, 571–577. [Zelinsky N., Shakhnazarova E. *Izv. Akad. Nauk Ser. Khim.* **1936**, 571–577.]
 46. Зелинский Н.Д., Юрьев Ю.К. *Изв. АН СССР. Сер. хим.* **1930**, 851–854 [Zelinsky N., Yuriev Yu. *Izv. Akad. Nauk Ser. Khim.* **1930**, 851–854.]
 47. Zelinsky N., Yurieff Yu. *Brennst.-Chem.* **1933**, 14, 347–349.
 48. Zelinsky N., Kommarewsky W. *Ber.* **1924**, 57, 667–669. doi 10.1002/cber.19240570414
 49. Зелинский Н.Д., Шуйкин Н.И. *Докл. АН СССР*. **1934**, 3, 225–228.
 50. Zelinsky N., Tits I., Fatejew L. *Ber.* **1926**, 59, 2580–2590. doi 10.1002/cber.19260591026
 51. Зелинский Н.Д., Гальперн Г.Д., Мусаев И.А. *Изв. АН СССР. Сер. хим.* **1936**, 1017–1024.
 52. Зелинский Н.Д., Шуйкин Н.И. *ЖОХ*. **1934**, 4, 901–907.
 53. Kazansky B., Plate A. *Ber.* **1936**, 69, 1862–1869. doi 10.1002/cber.19360690813
 54. Зелинский Н.Д., Марушкин М.Н., Павлов Л.Н. *Докл. АН СССР*. **1941**, 32, 136–139.
 55. Зелинский Н.Д., Глинка Н.Л. *ЖРФХО*. **1911**, 43, 1084–1091.
 56. Zelinsky N., Pavloff G. *Ber.* **1924**, 57, 1066–1070. doi 10.1002/cber.19240570632

57. Zelinsky N., Pavloff G. *Ber.* **1933**, *66*, 1420–1422. doi 10.1002/cber.19330660951
58. Delaby R., Birch S.F. *J. Chem. Soc.* **1954**, *2*, 4059–4061. doi 10.1039/JR9540004059
59. Зелинский Н.Д., Паппе И.О. *ЖРФХО.* **1905**, *37*, 625–632.
60. Zelinsky N., Turowa-Pollak M. *Ber.* **1925**, *58*, 1292–1298. doi 10.1002/cber.19250580717
61. Zelinsky N., Turowa-Pollak M. *Ber.* **1932**, *65*, 1299–1301. doi 10.1002/cber.19320650814
62. Зелинский Н.Д., Арбузов Ю.А. *Докл. АН СССР.* **1939**, *24*, 542–545.
63. Арбузов Ю.А., Батуев М.И., Зелинский Н.Д. *Изв. АН СССР.* **1945**, *24*, 665–674.
64. Зелинский Н.Д., Арбузов Ю.А. *Докл. АН СССР.* **1941**, *30*, 712–715.
65. Зелинский Н.Д., Арбузов Ю.А. *Докл. АН СССР.* **1945**, *46*, 165–168.
66. Левина Р.Я. *Синтез и контактные превращения непредельных углеводов.* М.: Изд. МГУ, **1949**.
67. Левина Р.Я., Викторова Е.А. *ЖОХ.* **1949**, *19*, 305–313.
68. Classical syntheses of M. Berthelot. *Adv. Chem.* **1939**, *8*, 731.
69. Зелинский Н.Д., Эйбус Я.Т. *Изв. АН СССР. Сер. хим.* **1940**, 289–293.
70. Зелинский Н.Д., Эйбус Я.Т. *Изв. АН СССР. Сер. хим.* **1942**, 190–195.
71. *Зелинский Н.Д. Избранные труды.* Изд. АН СССР **1941**, *2*, 24.
72. Balandin A.A. *Catalysis and Chemical Kinetics.* New York: Academic Press, **1964**.
73. Nikiforov A. *Chem. Ztg.* **1896**, *20*, 8–15.
74. Летний А. *ЖРФХО.* **1877**, *9*, 78–89.
75. Зелинский Н.Д. *ЖРФХО.* **1915**, *47*, 1807–1813.
76. Oblad A.G. *Heterogeneous Catalysis: Selected American Histories.* ACS Symposium. D.H. Burtron, H.P. Jr. William. **1983**, *222*, 61–75. doi 10.1021/bk-1983-0222.ch006
77. *Зелинский Н.Д. Избранные труды.* М.: Изд. АН СССР, **1941**, *1*, 600.
78. *Зелинский Н.Д. Избранные труды.* М.: Изд. АН СССР, **1941**, *1*, 7.
79. Gembiki S., Haensel V. *A Biographical Memoir; Biographical Memoirs.* Washington: National Academy of Science, **2006**, 88.
80. Ipatieff V.N. *The Life of a Chemist: Memoirs of V.N. Ipatieff.* Eds. X.J. Eudin, H.D. Fisher, H.H. Fisher. Stanford: Univ. Press, **1946**.
81. Zelinsky N. *Ber.* **1927**, *60*, 1793–1800. doi 10.1002/cber.19270600812
82. Zelinsky N. *Ber.* **1929**, *62*, 2202–2205. doi /10.1002/cber.19290620853
83. Зелинский Н.Д. *ЖРФХО.* **1884**, *16*, 687–688.
84. Зелинский Н.Д., Стадников Г. *ЖРФХО.* **1906**, *38*, 473–475.
85. Strecker A. *Lieb. Ann.* **1850**, *75*, 2–45. doi 10.1002/jlac.18500750103
86. Tiemann F. *Ber.* **1880**, *13*, 381–385. doi 10.1002/cber.188001301113
87. Zelinsky N.D., Sadikov V.S. *Bioch. Z.* **1923**, *136*, 241–249.
88. Zelinsky N.D., Sadikov V.S. *Bioch. Z.* **1923**, *138*, 156–160.
89. Zelinsky N.D., Gavrilov N.I. *Bioch. Z.* **1927**, *182*, 18–25.
90. Zelinsky N.D., Gavrilov N.I. *Bioch. Z.* **1927**, *182*, 11–17.
91. Антипин И.С., Казымова М.А., Кузнецов М.А., Васильев А.В., Ищенко М.А., Киришкин А.А., Кузнецова Л.М., Макаренко С.В., Островский В.А., Петров М.Л., Солод О.В., Тришин Ю.Г., Яковлев И.П., Ненайденко В.Г., Белоглазкина Е.К., Белецкая И.П., Устынюк Ю.А., Соловьев П.А., Иванов И.В., Малина Е.В., Сивова Н.В., Негребетский В.В., Бауков Ю.И., Пожарская Н.А., Травень В.Ф., Щекотихин А.Е., Варламов А.В., Борисова Т.Н., Лесина Ю.А., Краснокутская Е.А., Рогожников С.И., Шуров С.Н., Кустова Т.П., Ключев М.В., Хелевина О.Г., Стужин П.А., Федоров А.Ю., Гушчин А.В., Додонов В.А., Колобов А.В., Плахтинский В.В., Орлов В.Ю., Кривенько А.П., Федотова О.В., Пчелинцева Н.В., Чарушин В.Н., Чупахин О.Н., Климошкин Ю.Н., Климошкина А.Ю., Курятников В.Н., Малиновская Ю.А., Левина А.С., Журавлев О.Е., Ворончихина Л.И., Фисюк А.С., Аксенов А.В., Аксенов Н.А., Аксенова И.В. *ЖОрХ* **2017**, *53*, 1257–1408. [Antipin I.S., Kazymova M.A., Kuznetsov M.A., Vasilyev A.V., Ishchenko M.A., Kiryushkin A.A., Kuznetsova L.M., Makarenko S.V., Ostrovskii V.A., Petrov M.L., Solod O.V., Trishin Y.G., Yakovlev I.P., Nenaidenko V.G., Beloglazkina E.K., Beletskaya I.P., Ustynyuk Y.A., Solov'ev P.A., Ivanov I.V., Malina E.V., Sivova N.V., Negrebetskii V.V., Baukov Y.I., Pozharskaya N.A., Traven' V.F., Shchekotikhin A.E., Varlamov A.V., Borisova T.N., Lesina Y.A., Krasnokutskaya E.A., Rogozhnikov S.I., Shurov S.N., Kustova T.P., Klyuev M.V., Khelevina O.G., Stuzhin P.A., Fedorov A.Y., Gushchin A.V., Dodonov V.A., Kolobov A.V., Plakhtinskii V.V., Orlov V.Y.,

- Kriven'ko A.P., Fedotova O.V., Pchelintseva N.V., Charushin V.N., Chupakhin O.N., Klimochkin Y.N., Klimochkina A.Y., Kuryatnikov V.N., Malinovskaya Y.A., Levina A.S., Zhuravlev O.E., Voronchikhina L.I., Fisyuk A.S., Aksenov A.V., Aksenov N.A., Aksenova I.V. *Russ. J. Org. Chem.* **2017**, *53*, 1275–1437.] doi 10.1134/S1070428017090019
92. Коновалов А.И., Антипин И.С., Бурилов В.А., Маджидов Т.И., Курбангалиева А.Р., Немтарев А.В., Соловьева С.Е., Стойков И.И., Мамедов В.А., Захарова Л.Я., Гаврилова Е.Л., Синяшин О.Г., Балова И.А., Васильев А.В., Зенкевич И.Г., Красавин М.Ю., Кузнецов М.А., Молчанов А.П., Новиков М.С., Николаев В.А., Родина Л.Л., Хлебников А.Ф., Белецкая И.П., Вацадзе С.З., Громов С.П., Зык Н.В., Лебедев А.Т., Леменовский Д.А., Петросян В.С., Ненайденко В.Г., Негребецкий В.В., Бауков Ю.И., Шмиголь Т.А., Корлюков А.А., Тихомиров А.С., Щекотихин А.Е., Травень В.Ф., Воскресенский Л.Г., Зубков Ф.И., Голубчиков О.А., Семейкин А.С., Березин Д.Б., Стужин П.А., Филимонов В.Д., Краснокутская Е.А., Федоров А.Ю., Нючев А.В., Орлов В.Ю., Бегунов Р.С., Русаков А.И., Колобов А.В., Кофанов Е.Р., Федотова О.В., Егорова А.Ю., Чарушин В.Н., Чупахин О.Н., Климошкин Ю.Н., Осянин В.А., Резников А.Н., Фисюк А.С., Сагитуллина Г.П., Аksenov A.B., Aksenov N.A., Grachev M.K., Maslennikova V.I., Koroteev M.P., Brel' A.K., Lisina S.V., Medvedeva S.M., Shikhaliev Kh S., Suboch G.A., Tovbis M.S., Mironovich L.M., Ivanov S.M., Kurbatov S.V., Kletskii M.E., Burov O.N., Kobrakov K.I., Kuznetsov D.N. *Russ. J. Org. Chem.* **2018**, *54*, 157–371.] doi 10.1134/S107042801802001x
- вич Л.М., Иванов С.М., Курбатов С.В., Клецкий М.Е., Буров О.Н., Кобраков К.И., Кузнецов Д.Н. *ЖОРХ* **2018**, *54*, 161–360. [Konovalov A.I., Antipin I.S., Burilov V.A., Madzhidov T.I., Kurbangaliyeva A.R., Nemtarev A.V., Solovieva S.E., Stoikov I.I., Mamedov V.A., Zakharova L.Ya, Gavrilova E.L., Sinyashin O.G., Balova I.A., Vasilyev A.V., Zenkevich I.G., Krasavin M.Yu, Kuznetsov M.A., Molchanov A.P., Novikov M.S., Nikolaev V.A., Rodina L.L., Khlebnikov A.F., Beletskaya I.P., Vatsadze S.Z., Gromov S.P., Zyk N.V., Lebedev A.T., Lemenovskii D.A., Petrosyan V.S., Nenaidenko V.G., Negrebetskii V.V., Baukov Yu I., Shmigol' T.A., Korlyukov A.A., Tikhomirov A.S., Shchekotikhin A.E., Traven' V.F., Voskresenskii L.G., Zubkov F.I., Golubchikov O.A., Semeikin A.S., Berezin D.B., Stuzhin P.A., Filimov V.D., Krasnokutskaya E.A., Fedorov A.Yu, Nyuchev A.V., Orlov V.Yu, Begunov R.S., Rusakov A.I., Kolobov A.V., Kofanov E.R., Fedotova O.V., Egorova A.Yu, Charushin V.N., Chupakhin O.N., Klimochkin YuN., Osyanin V.A., Reznikov A.N., Fisyuk A.S., Sagitullina G.P., Aksenov A.V., Aksenov N.A., Grachev M.K., Maslennikova V.I., Koroteev M.P., Brel' A.K., Lisina S.V., Medvedeva S.M., Shikhaliev Kh S., Suboch G.A., Tovbis M.S., Mironovich L.M., Ivanov S.M., Kurbatov S.V., Kletskii M.E., Burov O.N., Kobrakov K.I., Kuznetsov D.N. *Russ. J. Org. Chem.* **2018**, *54*, 157–371.] doi 10.1134/S107042801802001x

N. D. Zelinsky: on the 160th Anniversary from Birthday

T. V. Bogatova*, E. K. Beloglazkina, and V. G. Nenaidenko

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Chemistry, Leninskie gory, 1/3, Moscow, 119991 Russia

**e-mail: bogtv@mail.ru*

Received May 18, 2021; revised May 26, 2021; accepted May 28, 2021

February 2021 marked the 160th anniversary of the birth of N.D. Zelinsky, who worked at Moscow University for over 50 years, was the head of an extensive school of organic chemists. The presented historical sketch of the life path and scientific achievements of Nikolai Zelinsky demonstrates his contribution to the development of catalysis, petrochemistry and hydrocarbon chemistry, as well as a wide range of his interests in the field of organic chemistry.

Keywords: history of chemistry, organic chemistry, N.D. Zelinsky, biography, oil chemistry, organic catalysis