DOI 10.18454/PMI.2016.5.730

Геонаноматериалы

УДК 544.72: 538.9

О ПРИОРИТЕТЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА В ОБЛАСТИ НАУКИ О НАНОТЕХНОЛОГИЯХ И НАНОМАТЕРИАЛАХ

А.Г.СЫРКОВ
Санкт-Петербургский горный университет, Россия

Проанализированы данные десятков научных работ, выполненных профессором Горного института в Санкт-Петербурге П.П.Веймарном в 1910-1915 годах, и доводы целого ряда известных российских специалистов, которые свидетельствуют о том, что основные положения нанотехнологического подхода концептуально были сформулированы П.П.Веймарном более 100 лет назад. Впервые рассматривается взаимосвязь научных трудов П.П.Веймарна, стоявшего у истоков нанотехнологии, с современными исследованиями в Санкт-Петербургском горном университете. Предложена уточненная временна́я последовательность (1910-2010) формирования нанотехнологических знаний, которая связана с именами ученых, внесших наиболее значительный вклад в этот процесс.

Обсуждены причины забвения на долгие годы первых публикаций по «дисперсоидологии», созданных в России, в Горном институте, которые являются пионерными в области науки о нанотехнологиях и наноматериалах. Дана информация о приоритетных разработках последних лет по синтезу поверхностно-наноструктурированных дисперсных металлов, выполненных в Санкт-Петербургском горном университете.

Ключевые слова: приоритет в науке, нанотехнологии, наноматериалы, П.П.Веймарн, дисперсоидология, поверхность и дисперсность веществ, ультрадисперсное состояние

***Как цитировать эту статью*:** Сырков А.Г. О приоритете Санкт-Петербургского горного университета в области науки о нанотехнологиях и наноматериалах // Записки Горного института. 2016. Т.221. С.730-736. DOI 10.18454/PMI.2016.5.730

Введение. Вопрос приоритета в области науки о нанотехнологиях на сегодняшний день является дискуссионным и не имеет однозначного ответа. Вместе с тем ответ на этот вопрос актуален с точки зрения истории науки и интересен не только ученым, поскольку касается первенства конкретных исследователей, университетов и стран в создании основ такого перспективного междисциплинарного направления, как «Нанотехнология и наноматериалы».

Достаточно распространенным является мнение о том, что у истоков нанотехнологии стоял нобелевский лауреат по физике Р.Фейнман. Есть и другие взгляды относительно исторических корней нанотехнологии. Например, В.Ю.Киреев ведет родословную нанотехнологии от Майкла Фарадея, получившего в 1857 г. устойчивые коллоидные растворы золота красного цвета [11].

Ряд авторитетных отечественных специалистов в области нанотехнологий (В.А.Жабрев, В.Т.Калинников, А.И.Николаев, В.И.Марголин и др.) пришли к выводу, что «отцом-основателем» нанотехнологии следует считать нашего соотечественника Петра Петровича Веймарна (1879-1935) [2, 13, 14, 23]. П.П.Веймарн окончил Санкт-Петербургский горный институт Императрицы Екатерины II в 1908 г., позднее стал профессором этого института.

Сам по себе факт приоритета в области нанотехнологий ученого из Горного института (теперь Санкт-Петербургского горного университета) интересен, по крайней мере, по двум причинам. Во-первых, многие, особенно на Западе, полагают, что первые камни новой науки – нанотехнологии – заложил американский физик Р.Фейнман, выступая со своей знаменитой речью на рождественском обеде Американского физического общества в канун 1960 г. [22]. Во-вторых, необычно то, что приоритет П.П.Веймарна, творившего на 45-50 лет раньше, установлен учеными [2, 13, 14, 23], деятельность которых никак не связана с Санкт-Петербургским горным университетом. Эти ученые работают в других университетах или в академических институтах, для которых исследования в области нанотехнологий являются профильными. Приведенные факты важны с точки зрения объективности вывода о приоритете П.П.Веймарна. Но возникает встречный вопрос: почему же сам Горный университет до публикаций В.А.Жабрева, В.И.Марголина, В.Т.Калинникова и других не настаивал на своем приоритете и не использовал этот мощнейший информационный ресурс, например, для обоснования своей научной школы в области нанотехнологий или получения соответствующих грантов?

Задача данной статьи – дополнительно аргументировать на основе анализа (в том числе и путем сравнения хронологии) работ П.П.Веймарна, что он действительно был одним из создателей науки о нанотехнологиях, а также проанализировать взаимосвязь его работ с современными исследованиями, проводимыми в Санкт-Петербургском горном университете.

Методы исследования: аналитический, исторический, текстологический, сравнительный.

DOI 10.18454/PMI.2016.5.730

Результаты анализа и их трактовка. С точки зрения теоретических представлений физики, наномир был открыт около 90 лет назад, когда наш соотечественник Г.А.Гамов (1904-1968) получил решение уравнения Шредингера, описывающее туннельный эффект. Решение объяснило многие экспериментальные данные и послужило фундаментом атомной науки и техники, основой для создания сканирующего туннельного микроскопа (СТМ). Однако предсказанные Г.А.Гамовым результаты на практике были реализованы в туннельных диодах (Ю.С.Тиходеев) через 30-50 лет, в СТМ – через 50-60 лет (Г.Бинниг и Г.Рорер) [2].



Петр Петрович Веймарн (1879-1935)

Что же позволяет строго утверждать, что у истоков нанотехнологической науки стоял профессор П.П.Веймарн? Авторы, доказывающие приоритет П.П.Веймарна путем анализа ряда его работ, исходили из того, что именно он заложил фундаментальные основы нанотехнологии и сделал ее наукой [2, 13, 14, 23]. Тогда из рассмотрения автоматически выпадают конкуренты, которые получили образцы веществ, содержащие, как позже выяснилось, наночастицы, или наладили методики, позволяющие оценивать размер этих частиц. Это разумно, поскольку, если бы такие конкуренты учитывались, то мы бы зашли в тупик. Дело в том, что на уровне ремесла (часто интуитивно) наночастицы человечество использовало давно. Вспомним о египетских синях (чернила с коллоидными частицами силиката кальция), кубке Ликурга (наночастицы золота и серебра в стеклянной матрице), о секрете булатной стали и т.д. [23].

Что же сделал П.П.Веймарн? На основании собственных экспериментов и теоретических представлений он постулировал, что между миром молекул и миром микроскопически видимых частиц существует особая форма вещества с комплексом присущих ей новых физико-химических свойств – ультрадисперсное или коллоидное состояние, образующееся при степени его дисперсности в области 10 мкм – 1 нм, в котором пленки имеют толщину, а волокна и частицы – размер в поперечнике в диапазоне 1-100 нм [3, 7-10]. П.П.Веймарн также считал необходимым вообще отказаться от термина «коллоид» и заменить его на понятие «дисперсоид», а коллоидную химию переименовать в дисперсоидологию – науку о свойствах поверхностей и процессах, на них совершающихся [3-5, 7, 9].

Следует обратить внимание на то, что об этом и о многих других вопросах, сохраняющих актуальность по сей день, он писал в своих работах в период с 1910 по 1915 г. В это время он уже был профессором Горного института, заведуя лабораторией физической химии. Утверждая, что для любого вещества можно создать специальные условия, при которых получаются высокодисперсные, достаточно устойчивые системы, П.П.Веймарн ссылается на опыты с двумя сотнями различных систем [3].

Из работ П.П.Веймарна мы узнаем, что он сотрудничал с известными учеными из германских университетов, редактировал переведенные на русский язык книги, например работу Вольфганга Оствальда [15]. Кроме того, он активно ссылался на свежие на тот момент труды известных ученых: В.Нернста, В.Бильца, Г.Штайгмюллера и др. П.П.Веймарн не боялся вступать в дискуссии с признанными авторитетами [3-5]. Так, в своей работе о контрактивной и экспансивной энергии он критиковал взгляды Н.С.Курнакова о делении химических соединений на бертоллиды и дальтониды [5].

Впечатляет масштаб затрагиваемых П.П.Веймарном проблем. Он не только предваряет возникновение новых областей естествознания (наука о нанотехнологиях в их числе), но и дает взаимосвязи своих результатов с теорией атомов и молекул и периодическим законом Менделеева [4]. Неудивительно, что нобелевский лауреат по химии В.Оствальд называл профессора П.П.Веймарна гениальным ученым, а австрийский минеролог Феликс Корн один из первых коллоидных минералов назвал в его честь веймарнитом [23]. Мировое признание работы П.П.Веймарна получили, когда ему было 36 лет.

По мнению В.И.Марголина, В.А.Жабрева и других их соавторов, Петр Петрович Веймарн концептуально сформулировал все основные современные положения нанотехнологического подхода [2, 23], причем сделал это на много десятков лет ранее, чем его западные коллеги. Если обратиться к тексту уже упомянутой лекции Р.Фейнмана [22], то в ней трудно найти основы какого-либо концептуального подхода. Р.Фейнман предложил обратить внимание на малоизученную область физики, связанную с контролем и управлением строения вещества в интервале очень малых размеров. Он предложил также создавать сверхминиатюрные устройства, которые должны быть аналогами имеющихся микромеханизмов, типа «крошечных роботов», а затем создать сколь угодно крошечные стан-

DOI *10.18454/PMI.2016.5.730*

ки и т.д. Вряд ли это можно назвать прогнозом о возникновении новой науки и новой научной парадигмы [23]. Справедливости ради, надо отметить, что в работах [2, 23] анализируются также сильные стороны доклада и полезные предвидения Р.Фейнмана. Бесспорным, по мнению авторов данных работ, является приоритет термина «нанотехнология», который был введен в научную практику японским ученым Норио Танигучи в 1974 г.

С учетом приведенных фактов и мнений [23], автор данной статьи предлагает уточненную схему хронологии важнейших достижений в области нанотехнологической науки, связав их с именами ученых, творивших в последние 100 лет:

П.Веймарн → Г.Гамов → И.Ленгмюр → В.Алесковский → Р.Фейнман → К.Дрекслер, Т.Сунтола → Ж.Алферов → Г.Бинниг, Г.Рорер → А.Гейм, К.Новоселов → …

Подобная схема (с многоточием вместо фамилии Г.А.Гамов) впервые была представлена автором данной статьи в докладе на пленарном заседании Международного симпозиума «Нанофизика и Наноматериалы» (N&N-2015) 24 ноября 2015 г., где она была одобрена участниками симпозиума, включая профессора В.И.Марголина.

Вернемся к личности основоположника нанотехнологической науки – Петра Петровича Веймарна, – который на долгие годы, вплоть до 2012 г., был практически забыт и, прежде всего, у себя на Родине. Почему так произошло? Петр Петрович был далеко не ординарным человеком. Дворянин, из рода древних викингов, статский советник. По семейным традициям окончил кадетский корпус, а затем поступил в Петербургский горный институт, с блеском его окончил в 1908 г.

Вся первая половина его жизни связана с этим заведением, где он стал профессором и открыл новые направления в науке. В течение нескольких лет ему присуждаются престижные премии: Русского физико-химического общества, Императорской Петербургской академии наук, дважды – премия Императорского Московского университета и Горного института. П.П.Веймарн – лауреат премий имени академика Н.А.Бекетова, имени В.И.Щукина, имени тайного советника Н.М.Ахматова, награжден орденом Святой Анны III степени. Помимо работы в Горном институте Петр Петрович преподавал в Императорском Санкт-Петербургском университете курс дисперсоидологии, в рамках которого в 1910 г. прочитал свою знаменитую лекцию «Значение коллоидной химии для различных отраслей естествознания» (см. рисунок) [3].

Осенью 1915 г. он уехал в Екатеринбург, где стал первым ректором (1917-1920) Уральского горного института. Далее П.П.Веймарн с соратниками переехал во Владивосток и стал ректором Владивостокского политехнического института (1920-1922). Затем П.П.Веймарн эмигрировал с семьей в Японию, где в 1922-1931 годах читал лекции в должности профессора Императорского индустриального института в г.Осака, с 1931 г. стал сотрудником частной лаборатории в Кобе (Япония). П.П.Веймарн умер в Шанхае 2 июня 1935 г., похоронен в Кобе. За могилой профессора Веймарна до сих пор тщательно и благоговейно ухаживают [2, 14, 23].

Почему же такой значительный вклад П.П.Веймарна, профессора Горного института, до сих пор не оценен по достоинству? П.П.Веймарн, будучи представителем высшего дворянского сословия, мягко говоря, не вписывался в идеологические установки советского времени. К тому же он эмигрировал, спасаясь от наступления Красной армии, и работал в не самой дружественной к Советской России капиталистической стране. Этого, по-видимому, уже было достаточно, чтобы вклад П.П.Веймарна в отечественную науку был забыт. На наш взгляд, с 1922 по 1991 г. вспоминать о нем было просто небезопасно. Кроме того, ушли из жизни исследователи, которые знали П.П.Веймарна и работали с ним. Те же, кто имел доступ к его публикациям (библиографы, историки, реже – химики), вероятно, не могли установить нанотехнологический аспект трудов П.П.Веймарна, их научный потенциал и перспективы. В его работах (это же касается и первых работ Р.Фейнмана) отсутствуют термин «нано-» и, тем более, привычные нам термины: «нанотехнология», «наносистемы» и т.д. К примеру, П.П.Веймарн в своих работах говорит о процессах «при прогрессивном возрастании степени дисперсности» и о необычном поведении частичек дисперсной фазы при их размере не более 0,1 микрона (использует для обозначения 1 микрона греческую букву μ) [3] (см. рисунок). Вряд ли эта информация была понятна и интерпретируема в нанотехнологическом ключе для неспециалиста, даже владеющего основами классической физической и коллоидной химии.

Кроме того, надо иметь в виду, что нанотехнология – молодая отрасль науки, термины и представления которой продолжают формироваться. Поэтому только ряду высококлассных профессионалов в области нанотехнологий и уже в XXI в. удалось установить приоритет нашего соотечественника в этой области. О квалификации этих специалистов, ссылки на работы которых приведены в конце

DOI 10.18454/PMI.2016.5.730

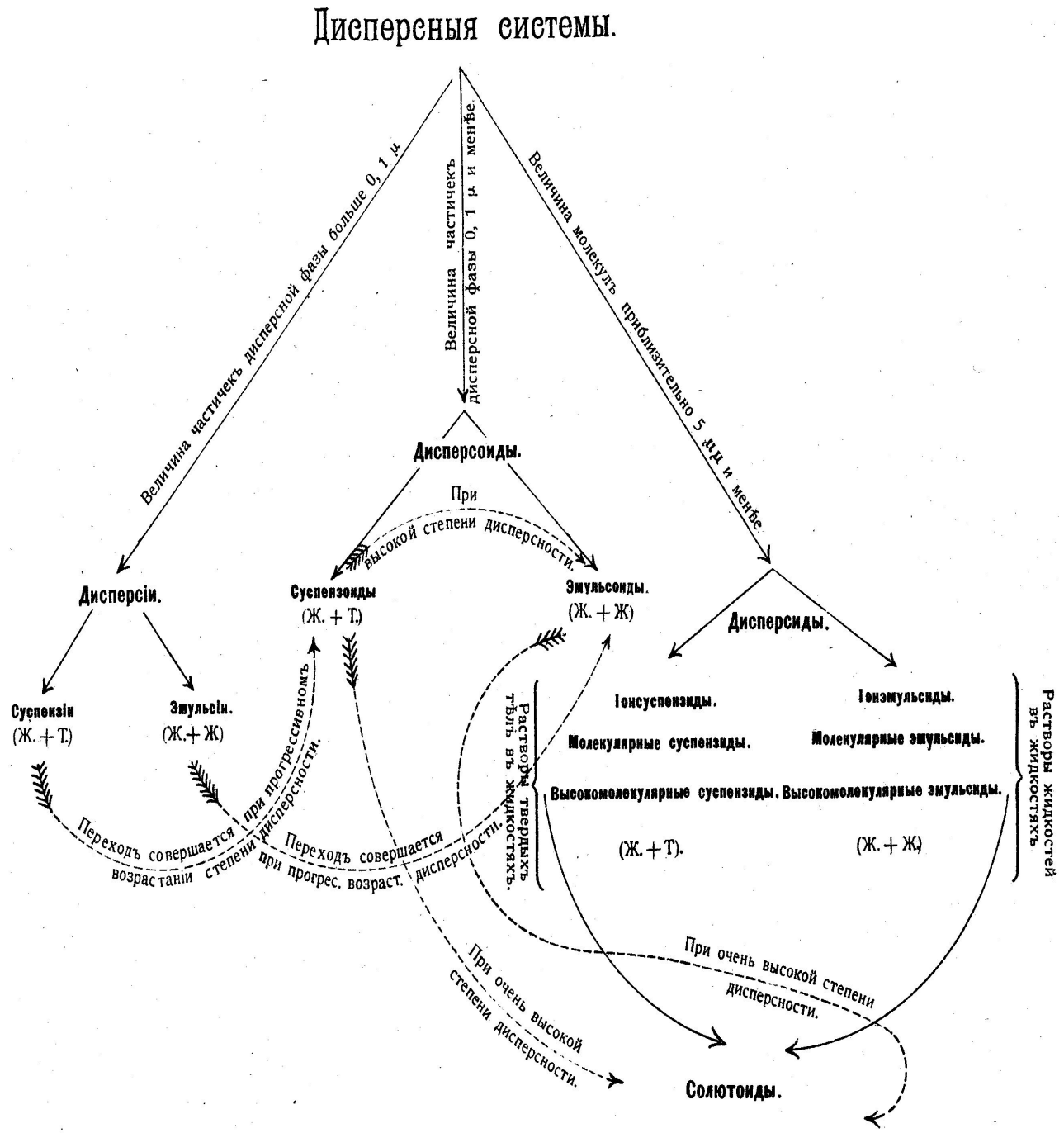


Схема классификации дисперсных систем в лекции, прочитанной П.П.Веймарном в Санкт-Петербургском университете [3]

статьи, говорят следующие факты. Все они – профессора, доктора наук. В.И.Марголин – один из авторов Национальной доктрины развития нанотехнологий в РФ [12], член секции «Химия поверхности и синтез наночастиц» Научного совета РАН по неорганической химии, член Научного совета по проблемам материаловедения при президиуме Санкт-Петербургского научного центра РАН по направлению «Конструкционные материалы и нанотехнологии». Среди соавторов, написавших книги [13, 23], где зафиксирован приоритет П.П.Веймарна, три академика (Н.Т.Кузнецов, В.М.Новоторцев, В.Т.Калинников) и два члена-корреспондента РАН (В.А.Жабрев, А.И.Николаев).

Труды П.П.Веймарна 1910-1915 годов, как мы уже видели, находили поддержку и признание. Его работы охотно публиковали ведущие зарубежные и отечественные журналы: «Kolloid-Zeitschrift» (Германия) [30-32], «Журнал Русского Физико-Химического общества», «Записки Горного института» [6, 8-10]. С 1908 по 1913 г. в «Записках Горного института» вышло более 20 статей П.П.Веймарна, 17 из которых напрямую связаны с развитием дисперсоидологии.

Нельзя не сказать о чрезвычайно плодотворной научной среде, которая окружала П.П.Веймарна. Он имел возможность общаться с корифеями науки и не только с Н.С.Курнаковым, с которым они

DOI 10.18454/PMI.2016.5.730

проводили совместные исследования (1902) и имеют общие публикации. Примерно в это же время (до 1914 г.) на кафедре физики Горного института работал в должности доцента А.Ф.Иоффе – впоследствии известный академик, создатель Физико-технического института. Несколько раньше на кафедре физики работал Р.Э.Ленц-младший, член-корреспондент Санкт-Петербургской академии наук, который одним из первых измерил магнитные свойства высокодисперсного железа. Было бы несправедливым не вспомнить о работах П.К.Соболевского и В.В.Любарского, выполненных в Горном институте, которые, по сути, заложили основы отечественной порошковой металлургии. Они тоже внесли существенный вклад в изучение дисперсных металлов; об их исследованиях, наверняка, знал П.П.Веймарн.

Несмотря на досадный разрыв во времени, нанотехнологические исследования ведутся в Санкт-Петербургском горном университете и в настоящее время, особенно интенсивно – с 2000 г. [17-19]. По Постановлению Правительства РФ от 02.08.2007 № 498 с 2008 г. в Университете действует Научно-образовательный центр по направлению «Нанотехнологии». Этот центр входит в Национальную нанотехнологическую сеть России. С 2003 г. в Университете работает научный семинар «Нанофизика и Наноматериалы», который с 2013 г. имеет статус международного симпозиума [17, 19]. За последние 7-8 лет по нанотехнологической тематике защищено пять докторских работ и десятки кандидатских диссертаций.

Успешно ведется работа по госзаданиям и госконтрактам, где исследуются низкоразмерные системы [16, 21, 24, 25, 28]. Есть внедрения разработок на предприятиях России и Беларуси, получено более 20 медалей на различных международных выставках и конгрессах в области высоких технологий [17, 19]. В Санкт-Петербургском горном университете, продолжающем традиции Горного института, выполнен целый ряд пилотных нанотехнологических исследований, в результате которых созданы новые методы получения наноматериалов: наслаивание разноразмерных молекул четвертичных соединений аммония на металлах [16, 18, 21, 26, 28, 29] и твердотельный гидридный синтез поверхностно-наноструктурированных металлов [18, 20, 24]. Приоритет данных разработок защищен патентами РФ (№ 2425910, 2570599 и др.) Кроме того, развиваются оригинальные научные направления: влияние восстановителя на строение и реакционную способность дисперсных металлов [16, 18, 24] и нелинейность свойств поверхностно-модифицированных металлов [20, 21, 26, 28].

Три профессора Горного университета входят в редколлегию международного научного журнала «Smart Nanocomposites» (Нью-Йорк, США, Издательство «Nova Science Publishers, Inc.»). Автор статьи – один из этих профессоров, специализирующийся в области нанотехнологий, а также член редколлегии научного журнала «Записки Горного института», издаваемого Санкт-Петербургским горным университетом. Главный редактор журнала «Smart Nanocomposites» – доцент кафедры общей и технической физики Санкт-Петербургского горного университета К.Л.Левин.

Довольно успешно развивается направление, связанное с деятельностью ведущей в РФ научной школы члена-корреспондента РАН (АН СССР) В.Б.Алесковского (1912-2006) [16, 18, 21, 24-26, 28]. В своих работах он часто ссылался на труды Н.С.Курнакова, работавшего в Горном институте. Знакомство со статьями и докладами П.П.Веймарна показывает их некоторую общность с работами В.Б.Алесковского, ученики и последователи которого трудятся ныне в Санкт-Петербургском горном университете. В частности, В.Б.Алесковский, как и его предшественник, довольно часто оперировал понятием дисперсности D ($D = S/V$, S – площадь поверхности, V – объем вещества) и искал взаимосвязь свойств различных соединений с их дисперсностью [1]. С учетом того, что школы П.П.Веймарна и В.Б.Алесковского уже получили признание по отдельности [2, 13, 14, 20, 23, 27]), можно предположить, что, благодаря современным исследованиям, в стенах Санкт-Петербургского горного университета осуществляется развитие научной школы Веймарна – Алесковского.

Значение трудов П.П.Веймарна для нанотехнологии с точки зрения исторического приоритета не только Горного университета, но и всей российской науки невозможно переоценить. Масштаб личности и творческого наследия этого ученого еще предстоит осознать. Сегодня трудно представить, чтобы горный инженер по образованию мог так глубоко и творчески разбираться в вопросах физической, коллоидной химии, в теоретических и методологических проблемах естествознания в целом.

П.П.Веймарн и его научные достижения, на наш взгляд, – очень достойные примеры для изучения в рамках современного горного образования. На заседаниях международного симпозиума N&N-2015, проходившего в Горном университете, обсуждались не только суть и значимость исследований П.П.Веймарна, но и возможные пути и способы увековечивания памяти о нем. Конечно, ученый такого уровня и масштаба достоин мемориальной доски на фасаде Главного здания Горного университета. В числе других путей увековечивания имени П.П.Веймарна на симпозиуме предлагалось: переиздание его избранных научных трудов; создание именной аудитории профессора П.П.Веймарна на базе уже имеющейся лаборатории экспериментальной физики и нанотехнологий [19].

DOI *10.18454/PMI.2016.5.730*

Мы все в большом долгу перед отцом-основателем нанотехнологии Петром Петровичем Веймарном. И первые шаги в сохранении памяти об этом выдающемся ученом, который прославил российскую науку, работая более 100 лет назад в Горном институте, должен сделать, конечно, Санкт-Петербургский горный университет.

Основные выводы. Таким образом, основываясь на мнении ряда авторитетных специалистов в области низкоразмерных систем, анализе соответствующей литературы, можно утверждать следующее. Фундаментальные основы нанотехнологии были сформулированы профессором Горного института в Санкт-Петербурге Петром Петровичем Веймарном более 100 лет назад (1910-1915). В отличие от Р.Фейнмана (США), он не ограничился только прогнозами о необычных свойствах сверхмалых частиц вещества и сверхминиатюрных устройств. Именно П.П.Веймарн (Россия) на 45 лет раньше, чем его западные коллеги концептуально сформулировал основные положения нанотехнологического подхода, который он сам успешно применил для получения ультрадисперсных частиц, размер которых лежит в нанометровом диапазоне. В процессе своих исследований П.П.Веймарн сделал ряд важнейших выводов, которые значимы не только для конкретных разделов физики, химии, биологии, минералогии, но и для философии, актуальны с точки зрения методологии современной науки. К таким выводам относятся положения учения П.П.Веймарна в области дисперсоидологии о том, что:

– кристаллическое состояние – единственное внутреннее состояние материи [6];

– границы между двумя видами материи: кристаллоидами и коллоидами, – не существует [3, 8];

– коллоидное состояние вещества можно рассматривать как общее свойство материи; при определенных условиях, найденных П.П.Веймарном, любое вещество, независимо от его обычного агрегатного состояния, может быть переведено в ультрадисперсное коллоидное состояние с размером частиц 1-100 нм [3, 10].

Работы и взгляды П.П.Веймарна, особенно в области металлов, получили развитие и подтверждение в современных исследованиях, которые проводятся ныне в Санкт-Петербургском горном университете.

Благодарность. *Автор признателен профессору В.И.Марголину, одобрившему идеи автора статьи, и профессору И.Г.Ребещенковой – за ценные замечания и пожелания при просмотре материалов статьи.*

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алесковский В.Б.* Химия надмолекулярных соединений. СПб: Изд-во СПбГУ, 1996. 256 с.

2. Введение в нанотехнологию / В.И.Марголин, В.А.Жабрев, Г.Н.Лукьянов, В.А.Тупик. СПб: Лань, 2012. 464 с.

3. *Веймарн П.П.* Значение коллоидной химии для различных отраслей естествознания: Вступительная лекция по коллоидной химии, прочитанная 12 октября 1910 г. в Императорском Санкт-Петербургском университете // Записки Горного института. 1911. Т.3. С.127-131.

4. *Веймарн П.П.* Контрактивная и векториальная энергии объема и поверхности и тепловое состояние вещества // Записки Горного института. 1913. Т.4. С.239-240.

5. *Веймарн П.П.* Контрактивная и экспансивная энергия объема и поверхности, физико-химические свойства и тепловое состояние веществ. СПб: Типография М.П.Фроловой, 1915. 60 с.

6. *Веймарн П.П.* Кристаллическое состояние – единственное внутреннее состояние материи // Записки Горного института. 1909. Т.1. С.94-101.

7. *Веймарн П.П.* Об электропроводности металлов и их сплавов с точек зрения дисперсоидной химии. СПб: Экон. Типо-Литогр., 1912. 15 с.

8. *Веймарн П.П.* Новая систематика агрегатных состояний материи и основной закон дисперсоидологии // Записки Горного института. 1912. Т.4. С.128-143.

9. *Веймарн П.П.* К дисперсоидной химии хлорной меди в бензоле // Записки Горного института. 1912. Т.4. С.75-95.

10. *Веймарн П.П.* Простой общий метод получения любого тела в состоянии твердых коллоидных растворов любой степени дисперсности, начиная от молекулярной / П.П.Веймарн, И.Б.Каган // Записки Горного института. 1910. Т.2. С.398-399.

11. *Киреев В*. Нанотехнологии: история возникновения и развития // Наноиндустрия. 2008. № 2. С.2-10.

12. *Марголин В.И.* Перспективы и проблемы нанотехнологий / В.И.Марголин, С.Е.Шишов // О национальной доктрине развития в Российской Федерации нанотехнологий: Аналитический сборник / Совет Федерации Федерального Собрания РФ. М., 2006. С.54-63.

13. Основы нанотехнологии / Н.Т.Кузнецов, В.М.Новоторцев, В.А.Жабрев, В.И.Марголин. М.: Изд-во «БИНОМ. Лаборатория знаний», 2014. 397 с.

14. Основы синтеза наноразмерных частиц и пленок / В.И.Грачев, В.А.Жабрев, В.И.Марголин, В.А.Тупик. Ижевск: Удмуртия, 2014. 480 с.

15. *Оствальд В.* Важнейшие свойства коллоидного состояния материи / Авториз. перевод с немецкого под ред. П.П.Веймарна. СПб: Естествоиспытатель, 1910. 44 с.

16. *Плескунов И.В*. Применения достижений нанотрибологии и наноструктурной пассивации поверхности для контроля свойств смазки и защиты металлического оборудования горно-химического предприятия / И.В.Плескунов, А.Г.Сырков, А.А.Виноградова // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 2. С.86-98.

DOI *10.18454/PMI.2016.5.730*

17. *Сырков А.Г.* Всероссийский семинар с международным участием «Нанофизика и Наноматериалы» // Конденсированные среды и межфазные границы. 2014. Т.16. № 1. С.103-110.

18. *Сырков А.Г.* Исследования в области наноструктур и наноматериалов в СПГГИ (ТУ) / А.Г.Сырков, И.Н.Белоглазов // Цветные металлы. 2007. № 10. С.91-94.

19. *Сырков А.Г.* Международный семинар-симпозиум «Нанофизика и Наноматериалы» // Конденсированные среды и межфазные границы. 2016. Т.18. № 1. С.161-167.

20. *Сырков А.Г.* Нанотехнология и наноматериалы. Роль неравновесных процессов. СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 194 с.

21. *Сырков А.Г.* Синергетическое усиление реакционной способности алюминия в присутствии четвертичных соединений аммония на поверхности // Журнал общей химии. 2013. Т.83. № 8. С.1392-1393.

22. *Фейнман Р.Ф.* Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики // Российский химический журнал. 2002. Т.46. № 5. С.4-6.

23. Физико-химические процессы синтеза наноразмерных объектов / В.А.Жабрев, В.Т.Калинников, В.И.Марголин, А.И.Николаев, В.А.Тупик. СПб: Элмор, 2012. 328 с.

24. Электрофизические и химико-физические микро- и нанотехнологии усиления адгезии компонентов в системе металл – диэлектрик / Н.С.Пщелко, А.Г.Сырков, Т.Г.Вахренева, И.В.Пантюшин, Д.А.Сырков // Российские нанотехнологии. 2009. Т.4. № 11-12. С.42-47.

25. Application of electrochemical impedance spectroscopy for characterization of nanoporous films (Book Chapter) Nanoscale-arranged systems for nanotechnology / A.V.Bezmaternykh, A.G.Syrkov, K.L.Levine, et. al. / Ed. by K.Levine. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2015. 191 p.

26. *Nazarova E.A.* Nonlinearity of Dependence of Integral Friction Index of Tribosystem from Hydrophilic Properties of Surface-Modified Metal Fillers / E.A.Nazarova, A.G.Syrkov, V.N.Brichkin // Advanced Materials Research. 2014. Vol.1040. P.103-106.

27. *Rikka L. Puurunen*. Surface chemistry of atomic layer deposition: A case study for the trimethylaluminum/water process // Journal of Applied Physics. 2005. Vol.97. N 12. P.121301-121352.

28. *Syrkov A.G.* Synergetic change of tribochemical properties of copper in the presence of quaternary ammonium compounds in the surface // Russ. J. Gen. Chem. 2015. Vol. 85. N 6. P.1538-1539.

29. *Syrkov A.G.* Tribochemical peculiarities of lubricant composition with surface-modified metal powder / A.G.Syrkov, M.O.Silivanov, A.N.Kushchenko // J. Phys. Conf. Ser. 2016. Vol.729. N 1. P.012026-012031.

30. *Weimarn P.P.* Kristallinische feste Losungen ais disperse Systeme verschieden Dispersitats grades // Kolloid-Zeitschrift. 1910. Vol.7. P.35-38.

31. *Weimarn P.P.* Zur Dispersoidchemie der Zellulose // Kolloid-Zeitschchrift. 1912. Vol.9. P.41-43.

32. *Weimarn P.P.* Ueber der Darstellung sogenannter kolloid-amorpher Bildungen gutkristallisierbarer und gut wasser losliher Salze der alkalischen und erdalkalischen Metalle // Kolloid-Zeitschrift. 1908. Vol.3. P.89-91.

Автор **А.Г.Сырков**, *д-р техн. наук*, *профессор*, *syrkovandrey@spmi.ru* (*Санкт-Петербургский горный университет*, *Россия*).

Статья принята к публикации 29.06.2016.