

Профессора Белоглазовы и их последователи: вклад в развитие нанотехнологии*

УДК 929:[620.3+544.72]

А. Г. Сырков, профессор кафедры общей и технической физики¹, докт. техн. наук,
эл. почта: Syrkov_AG@pers.spmi.ru

А. Н. Кущенко, ассистент кафедры общей и технической физики¹, канд. техн. наук,
эл. почта: Kuschenko_AN@pers.spmi.ru

Л. А. Ячменова, ассистент кафедры общей и технической физики¹, канд. техн. наук,
эл. почта: Yachmenova_LA@pers.spmi.ru

М. В. Гончарова, доцент кафедры иностранных языков¹, канд. филол. наук,
эл. почта: Goncharova_MV@pers.spmi.ru

М. Э. Кокрицкий, студент-магистрант кафедры машиностроения¹

¹Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург, Россия.

Творческое наследие академика Н. С. Курнакова (1860–1941), одного из самых знаменитых выпускников и профессоров Санкт-Петербургского горного института (СПГИ), достаточно подробно представлено в научной литературе. Вместе с тем все более очевидным становится факт, что исследования отдельных известных представителей его научной школы и последователей изучены недостаточно. В статье представлен анализ трудов профессоров СПГИ К. Ф. Белоглазова (1887–1951) и И. Н. Белоглазова (1950–2011), касающихся физической химии поверхностных явлений и получения высокодисперсных (nanostructured) материалов на основе цветных металлов. На базе изучения научной литературы сделан вывод, что ученики академика Н. С. Курнакова в первой половине XX в. провели исследования по синтезу твердых веществ любой степени дисперсности, «начиная с молекулярной» (П. П. Веймарн), а также по адсорбции веществ на минералах, кинетике и механизму флотации (К. Ф. Белоглазов). Этим названные ученые внесли весомый вклад в разработку научных основ нанотехнологий XXI в. И. Н. Белоглазов, другой представитель научной династии Белоглазовых – Тиме, внук К. Ф. Белоглазова, руководя нанотехнологическими исследованиями в Санкт-Петербургском горном университете (2005–2011), продолжил изучение физикохимии поверхностных явлений в процессах обогащения и металлургической переработки руд цветных металлов. Его последователи и соавторы (профессора О. В. Черемисина, А. Г. Сырков, А. С. Мустафаев и др.) при его научно-организационной поддержке на начальном этапе за последние 15 лет разработали новые способы и состав реагентной смеси для флотации апатит-нефелиновой руды, твердотельные методы синтеза супергидрофобных материалов и плазменные нанотехнологии для минерально-сырьевого сектора. Обоснован непосредственный вклад профессора И. Н. Белоглазова в реализацию целого ряда приоритетных крупных издательских проектов в области нанотехнологии и в победы разработок Горного университета на международных выставках (не менее 20 медалей).

Ключевые слова: школа Н. С. Курнакова, К. Ф. Белоглазов, И. Н. Белоглазов, разработки последователей, нанотехнология, металлургия, вклад, Горный университет (Санкт-Петербург).

DOI: 10.17580/tsm.2025.07.12

Введение

Николай Семенович Курнаков, академик, профессор – один из самых известных выпускников и профессоров Санкт-Петербургского горного института (СПГИ) (рис. 1). В СПГИ он проработал почти полвека и, даже после переезда в Москву для руководства кафедрой в Московском государственном университете, долгое время оставался профессором Горного института в Ленинграде [1–3]. Н. С. Курнаков – один из основоположников российских (советских) научных школ в области металлургии и материаловедения. В российских и зарубежных научных изданиях отмечают его выдающиеся достижения как физикохимика, как создателя

метода физико-химического анализа, как ученого, который внес огромный вклад в изучение водно-солевых систем, имеющих важное индустриальное значение [4–6]. Работы академика и его научной школы сыграли исключительную роль в становлении отечественного производства алюминия, платины, разных сплавов, а также в укреплении обороноспособности страны [4, 7, 8]. В подтверждение этой мысли сошлемся на высказывание нобелевского лауреата Петра Капицы: «...без Чернова, Курнакова и их последователей наша металлургия, конечно, не знала бы ни такой хорошей стали, необходимой для наших орудий, которыми вооружена армия, ни такой великолепной брони, которую мы делаем сейчас. А без нее конструкторы были бы бессильны создать первоклассные танки» [9, с. 69].

*По материалам научной литературы и личным воспоминаниям.

Изучению научного наследия Н. С. Курнакова посвящены десятки работ, которые многократно цитируют исследователи [2, 7, 10]. Существенно меньше публикаций посвящено анализу научных трудов и достижений его учеников. Среди них были очень известные ученые: член-корреспондент АН СССР Н. И. Степанов (1879–1938); основоположник науки о нанотехнологиях, профессор П. П. Веймарн (1879–1935); лауреат Сталинской премии, профессор К. Ф. Белоглазов (**рис. 2**) и др. [11–13].

В этой статье мы остановимся на деятельности К. Ф. Белоглазова, который был учеником Н. С. Курнакова и работал у него ассистентом на кафедре аналитической химии СПГИ, а также – на деятельности И. Н. Белоглазова, нашего современника (**рис. 3**).

О жизни и трудах научной династии Белоглазовых, которая тесно связана с не менее знаменитой династией Тиме [15, 16], написано немало работ [14, 17, 18]. Однако нигде сколько-нибудь подробно не говорится о связи их исследований и научно-организационной деятельности с развитием нанотехнологии. Вместе с тем в канун юбилеев со дня рождения выдающихся ученых, Константина Белоглазова и его внука Ильи Белоглазова, рассмотреть этот вопрос было бы крайне важно и актуально.

Оба исследователя до конца дней работали заведующими кафедрами Горного института (университета) в Санкт-Петербурге (Ленинграде). Их фундаментальные и прикладные работы были связаны с изучением проблем металлургии и переработки минеральных ресурсов. В XXI в. нанотехнология и наноматериалы стали приоритетным направлением развития науки и техники, которое обеспечивает устойчивое развитие минерально-сырьевого сектора и топливно-энергетического комплекса страны [19–21]. Учитывая мировой приоритет Горного университета в области нанотехнологий, обеспеченный прежде всего работами П. П. Веймарна [12, 22], несомненный интерес представляет оценка вклада династии Белоглазовых в это перспективное направление, включая влияние на труды работающих ныне современников, в том числе из Горного университета (СПГУ).

Цель работы: установить вклад К. Ф. Белоглазова в изучение высокодисперсных систем, включая наноматериалы, а также проанализировать научно-организационные достижения в области нанотехнологий И. Н. Белоглазова и последователей названных профессоров.

Результаты исследования

Профессора К. Ф. Белоглазов и П. П. Веймарн

Исследование деятельности профессоров Константина Федоровича Белоглазова и Ильи Никитича Белоглазова базируется на анализе их научных работ, публикаций об их биографии¹.

¹ У первых трех авторов представленной статьи была счастливая возможность работать совместно под началом И. Н. Белоглазова, учиться на его кафедре, общаться с ним (2003–2011 гг.) и слушать воспоминания ученого о своем знаменитом предке К. Ф. Белоглазове.

Отправной точкой в изучении причастности К. Ф. Белоглазова к первым нанотехнологическим исследованиям в СПГИ (а значит, и в мире [12, 22]) послужила информация, приведенная в книге [13]. Там сообщалось, что ученый продолжил пионерские исследования профессора П. П. Веймарна в области высокодисперсных (коллоидных) систем [13, с. 276]. Сегодня мы хорошо знаем о приоритетных в мировом масштабе работах Петра Веймарна 1906–1915 гг. в области синтеза ультра- и нанодисперсных веществ (материалов) [12, 22]. Этот факт подтвержден ведущими российскими экспертами [12, 23] и воспринят международной научной общественностью [26].

К. Ф. Белоглазов уже в своей дипломной работе (1914) изучал микроструктуру сплавов меди с сурьмой [16, 18]. Он активно занимался физической химией поверхностных явлений [27], в том числе изучая влияние дисперсности твердой фазы на флотационный процесс [15]. Количественный химико-минералогический анализ, которым он много занимался, в том числе с Н. С. Курнаковым [28], позволил установить особенности строения и поверхностных свойств разных видов минерального сырья. К. Ф. Белоглазов широко известен как автор кинетической теории флотационного процесса [15, 29, 30]. Этот процесс основан на смачивании поверхности минералов (породы) водой [29, 30], поэтому, изучая его, ученый, по сути, определял гидрофильные свойства поверхности (для пустой породы) и гидрофобные свойства нужного вещества, которое всплывало на поверхность раствора. Известны его работы по изучению адсорбции паров воды и органических веществ глинами, а также по исследованию адсорбции углекислоты в процессе флотации [15, 18].

Уместно вспомнить, что в годы, когда К. Ф. Белоглазов начинал свою работу в Горном институте в качестве ассистента Н. С. Курнакова (1914–1917 гг.), П. П. Веймарн уже был профессором кафедры физической химии. Позиционирование профессора Веймарна как основоположника науки о нанотехнологиях современными экспертами [12, 25, 26] основано на созданной им науке «дисперсоидологии», которая по своим объектам совпадает с объектами нанотехнологии XXI в. [22].

По Веймарну, дисперсоидология – наука о свойствах поверхностей и процессах на них совершающихся. Основной объект изучения – дисперсоид (dispersoide), частица твердой фазы с размером менее 0,1 мкм (100 нм) [12, 31]. К. Ф. Белоглазов тоже занимался изучением дисперсных веществ, но его работы, как правило, касались не чистых веществ (сульфатов, оксидов, металлов), как это было в работах его старшего коллеги [22], а технически значимых дисперсных систем, используемых в горнорудной промышленности и в цветной металлургии [6, 15, 16]. Исследуя такие системы, Константин Федорович умел переносил подходы метода физико-химического анализа Н. С. Курнакова на



Рис. 1. Академик Николай Семенович Курнаков (1860–1941) (Источник: Козлова Т. О. Курнаков Николай Семёнович // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал)



Рис. 2. Профессор Константин Федорович Белоглазов (1887–1951) в юности. (Фото предоставлено деканатом факультета переработки минерального сырья Санкт-Петербургского горного университета)



Рис. 3. Профессор Илья Никитич Белоглазов (1950–2011). (Фото из статьи [14])

достаточно сложные гетерогенные системы, востребованные в промышленности.

В научных судьбах П. П. Веймарна и К. Ф. Белоглазова обнаруживаются «линии соприкосновения», особенно на начальном этапе, во время обучения в Горном институте и в первые годы работы штатными сотрудниками кафедр. Их самые первые научные работы были связаны с солями и водно-солевыми системами [22, 28]. Оба получили премии профессора К. И. Лисенко за свои студенческие научные работы. В 1927 г. К. Ф. Белоглазов был утвержден в должности профессора физической химии и золотого дела. В 1941–1951 гг. он возглавлял кафедру общей и физической химии. Таким образом,

Константин Федорович вначале стал профессором, а потом и заведующим на той кафедре, у истоков которой стоял П. П. Веймарн – первый профессор кафедры физической химии (1908–1919 гг.) Горного института в Санкт-Петербурге [12, 22, 26].

Научная деятельность К. Ф. Белоглазова после 1917 г. была многогранной и охватывала широкий круг вопросов разработки теоретических основ и технологических процессов обогащения и металлургической переработки руд цветных металлов [13, 15, 16]. Но неотъемлемым элементом его исследований было изучение поверхностных свойств и дисперсности минералов. В 1926 г. он предложил способ определения



Рис. 4. Диплом К. Ф. Белоглазова об окончании Санкт-Петербургского горного института [Источник: Архив Горного университета. Дело № 10. Ленинградский горный институт, Отдел кадров. С. 25]



Рис. 5. Профессор СПГИ Петр Петрович Веймарн (1879–1935) [Источник: Известия Уральского горного института. 1918. Т. 1, № 4. С. 4]



Рис. 6. Научный семинар «Нанофизика и наноматериалы» (НиН) 2005 г. Профессор И. Н. Белоглазов – слева (улыбается); профессор А. Г. Сырков – в центре; аспирант, ученый секретарь заседания (ныне кандидат наук) А. Н. Попова – справа (Из личного архива А. Г. Сыркова)

открытой поверхности халькопирита посредством обработки кислым раствором сульфита натрия [18]. В 1936–1937 гг. Константин Федорович разработал методику количественной оценки распределения меди между свободными зернами карбонатов и высокодисперсными включениями карбонатов в силикатах [16]. Изучая флотационный процесс, ученый впервые установил математическую связь между флотационной активностью и разными параметрами флотации, включая свойства поверхностей минеральных частиц и средство (прочность прикрепления) этих частиц к пузырькам газа [16, 29, 30].

Научное творчество К. Ф. Белоглазова всегда было направлено на решение актуальных проблем народного хозяйства с учетом физической химии обогащения полезных ископаемых [15, 32]. Он работал и возглавлял научные коллективы не только в СПГИ, но и в

Институте физико-химического анализа АН СССР (1916–1919 гг.), в Механобре (1922–1947 гг.) и других научно-исследовательских институтах Ленинграда [16]. С 1934 г. он входил в группу металлургии Горного института, которая выполняла ряд важных заданий промышленности. За цикл работ по использованию сульфидных медно-никелевых руд и извлечению цветных и благородных металлов он был удостоен Сталинской премии первой степени (1943 г., в составе коллектива). Его исследования, в частности, позволили получить первый никель из медно-никелевых руд Мончегорских Тундр [6, 18], что в промышленном масштабе было реализовано на Норильском горно-металлургическом комбинате [16].

Интересно, что диплом с отличием, который был выдан К. Ф. Белоглазову 28 августа 1914 г. об окончании полного курса в Горном институте Императрицы Екатерины II с указанием о выполненной дипломной работе по химии, подписали выдающиеся физикохимики с мировой известностью Иван Шредер и Петр Веймарн, тем самым дав молодому исследователю «путевку в научную жизнь» (**рис. 4**). Профессор И. Ф. Шредер в 1912–1917 гг. был директором института; профессор П. П. Веймарн – инспектором по студенческим делам [11].

Как уже отмечалось, физическая химия занимала видное место в спектре научных интересов К. Ф. Белоглазова. Неслучайно, что в современном обзоре



Рис. 7. Фото на память с участниками семинара НиН-2006.

В центре – профессор А. Г. Сырков; слева – профессор В. Г. Корсаков; справа (через человека) – профессор И. Н. Белоглазов; на трибуне и слева от нее (3 чел.) – будущие кандидаты (Т. Г. Камалова, Е. В. Ремзова) и доктор наук (Н. С. Пщелко) по нанотехнологии (Из личного архива А. Г. Сыркова)

научных школ химико-металлургического факультета СПГУ он позиционируется как ученый-физикохимик, специалист в области использования руд цветных металлов, который разработал теорию флотационного процесса [6, 32].



Рис. 8. Золотые и серебряные медали за разработки Горного университета по нанотехнологии, полученные под руководством И. Н. Белоглазова



Рис. 9. Дипломы за научные разработки по нанотехнологии (2007–2010 гг.), награжденные золотыми и серебряными медалями



Рис. 10. События 2009–2010 гг. и люди, с которыми И. Н. Белоглазов работал по нанотехнологии в этот период:
а – открытие И. Н. Белоглазовым секции «Нанотехнологии» на Международном форуме молодых ученых «Проблемы недропользования» (2009); б – работа аспиранта Е. В. Ремзовой на машине трения ДМ-29М в лаборатории кафедры АТПП И. Н. Белоглазова (2011); в – коллектив-победитель в номинации «Лучший научный коллектив» в открытом конкурсе Международного фонда «Поколение» (2011): слева направо студент кафедры В. Ф. Туфрикова, профессор А. Г. Сырков (руководитель), аспирант Т. Г. Камалова, аспирант Л. А. Ячменова; г – стоят: ассистент, кандидат химических наук Д. С. Быстров – победитель в номинации «Лучший молодой ученый» (от фонда «Поколение», 2011), профессор А. Г. Сырков, сидят: аспиранты Е. В. Ремзова, Л. А. Ячменова (ныне – кандидаты наук)

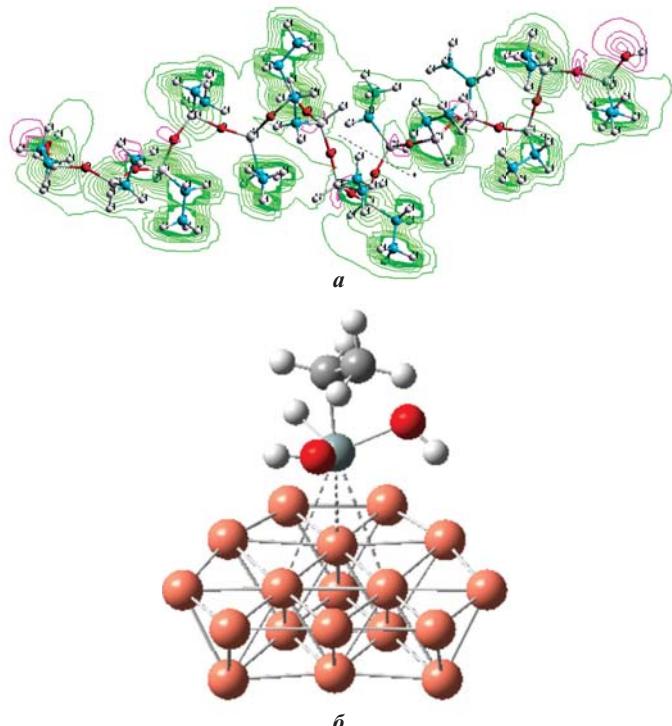
Самой высокой наградой Константина Федоровича (с официальной точки зрения) была Сталинская премия (1943). Ее он получил в 56 лет. П. П. Веймарн, работая уже в Японии, в 53 года получает престижную премию Леонардо от Коллоидного общества Германии (1932).



Установка для получения укрупненных партий дисперсных наноструктурированных металлов

Этим он упрочил свое международное признание, которое ранее опиралось более чем на 200 публикаций в известных зарубежных журналах [12, 22, 33].

Вот так по-разному в итоге сложились научные судьбы двух талантливых учеников академика Н. С. Курнакова. К. Ф. Белоглазов до конца дней неутомимо трудился и многое сделал для развития горно-металлургической промышленности своей страны. П. П. Веймарн (рис. 5) в России занимался в основном фундаментальными исследованиями мирового уровня [12, 33]. Спасаясь



Рассчитанная квантово-химические модель молекулы-модификатора поверхности металла (а) и схема взаимодействия молекулы с поверхностью меди (б)

вначале от «красного террора», а затем и «белого террора», он вынужден был покинуть Россию. В Японии он очень быстро доказал высочайшую квалификацию российского ученого, разработки которого демонстрировали опережающий уровень по сравнению с результатами японских и западных коллег [22, 33, 34]. Тем самым был обоснован мировой приоритет в области синтеза ультра- и нанодисперсных материалов российской науки и Санкт-Петербургского горного института (ныне – университета). Сам термин «нанотехнология» вошел в научный обиход только в 1974 г. [12, 25]. Именно поэтому оба ученых не использовали приставку «нано-» в своих работах. Тем не менее работы П. Веймарна по получению твердых веществ любой степени дисперсности, «начиная с молекулярной» [35–37], и исследования К. Ф. Белоглазова по адсорбции веществ и механизму флотации [27, 29] стали научным фундаментом современного нанотехнологического подхода [12, 22, 25]. В какой-то степени их наработки предвосхитили популярный ныне метод нанотехнологии – золь-гель технологию [38, 39].

Разработки П. П. Веймарна по получению и стабилизации нанодисперсного золота [35] и К. Ф. Белоглазова по извлечению золота и платиновых металлов [6, 29] оказались полезными для создания новых методов доизвлечения ультрадисперсного золота из рабочих растворов на горно-металлургических предприятиях [40]. Опыт изучения адсорбции паров воды, органических и иных веществ на оксидных подложках (Белоглазов) и стабилизации наноразмерных структур



в разных дисперсионных средах (Веймарн) представляет интерес для технологии получения неорганических и гибридных материалов, включая дисперсные, методом молекулярного наслаждания [41]. Этот способ, предложенный в СССР В. Б. Алексовским, получил широкое развитие и на Западе более известен под названием Atomic Layer Deposition (ALD) [12, 25, 42].

Исследования К. Ф. Белоглазова и П. П. Веймарна в Горном институте (1910–1916 гг.) в области морфологии и поверхностных свойств твердых веществ были выполнены с использованием, в частности, ультрамикроскопа Зигмонда с разрешением 3–5 нм [6, 31, 36]. Полученные результаты не потеряли своей актуальности и в наши дни. Ведущие научные школы мира в XXI в. занимаются изучением свойств, методов контроля и получения наноразмерных структур, в том числе посредством плазменных нанотехнологий [43–45].

Профессор И. Н. Белоглазов

Ранее, до 2004 г., И. Н. Белоглазова позиционировали как крупного ученого в области металлургии, химии, вычислительных методов в области процессов и аппаратов химической технологии [14–16]. Неслучайно, что в 2003 г. он получил медаль Американского биографического института и был назван «Человеком года» за выдающиеся достижения в металлургии, химии и математике [15].

В 2004–2011 гг. профессор СПГИ **Илья Никитич Белоглазов**, представитель научной династии Белоглазовых, внес важнейший вклад в исследования направления, которое уже официально называлось «Нанотехнологии» [15, 16, 24].

Вначале его активность была связана с поддержкой научного семинара «Нанофизика и наноматериалы» (НиН), включая непосредственное участие в нем (рис. 6, 7). Ученый всемерно содействовал представлению научных разработок Горного института на всероссийских и международных выставках, успешно реализовал несколько издательских проектов по нанотехнологии, в т. ч. на международном уровне.

И. Н. Белоглазов был ученым-энциклопедистом с многогранными научными интересами. В работе [15] говорится, что у него есть публикации по металлургии, химии, математике, физике. К этому, конечно, надо добавить его работы по нанотехнологии, выполненные совместно с профессором А. Г. Сырковым [23, 24]. По базовому образованию ученый был металлургом, поскольку закончил металлургический факультет Горного института в 1972 г. с отличием [16, 17], защитил кандидатскую диссертацию по специальности «Металлургия цветных и черных металлов» (1974). Докторская диссертация позволила еще больше расширить творческий диапазон исследователя – защита была сразу по двум научным специальностям «Металлургия цветных и черных металлов» и «Процессы и аппараты химической технологии». В этой работе

Илья Никитич проявил себя еще и как великолепный математик, разработав симплексный метод и внедрив его в металлургическую промышленность [6, 16].

Хорошая подготовка в области фундаментальных наук, широкий кругозор позволили И. Н. Белоглазову одним из первых в СПГИ оценить значимость и перспективы развития нанотехнологических исследований и заняться поиском единомышленников в этой области.

В начале 2004 г. он зашел на кафедру общей и технической физики (ОТФ), чтобы проконсультироваться по поводу исследования оптических свойств нанопленок. Заведующий кафедрой ОТФ, профессор Э. И. Богуславский рекомендовал ему обратиться к профессору этой кафедры А. Г. Сыркову. В ходе беседы И. Н. Белоглазов получил в подарок учебное пособие «Физика и химия – в нанотехнологиях», А. Г. Сыркову было предложено написать статью о фундаментальных основах нанотехнологии металлов для журнала «Цветные металлы» (№ 4 – 2004). Так началось очень плодотворное сотрудничество кафедры ОТФ и кафедры автоматизации технологических процессов и производств (АТПП). Очень скоро были реализованы два замечательных проекта и совместно с Издательским домом «Руда и Металлы» (Москва) напечатаны специальные тематические выпуски названного журнала на русском языке (2005) и в виде англоязычной версии (2006).

В 2005 г. вышла в свет одна из первых в России научная монография по нанотехнологии «Кластеры структуры и материалы наноразмера. Инновационные и технические перспективы» под ред. И. Н. Белоглазова. Чтобы усилить вовлечение студентов в процесс нанотехнологического образования уже во время чтения курса лекций по физике, он организует ускоренный выпуск учебного пособия «Физика. Элементы физики конденсированного состояния, химической физики и нанофизики» (2005).

В 2006 г. Илью Никитича назначают деканом факультета фундаментальных и гуманитарных дисциплин, куда структурно входит кафедра ОТФ. Поскольку он по-прежнему оставался заведующим кафедры АТПП, это обстоятельство было благоприятным для пополнения ассистентов и аспирантов ОТФ студентами и выпускниками кафедры АТПП с металлургического факультета. А. Г. Сырков, читая лекции по физике студентам 1–3-го курсов с кафедры АТПП, использовал в том числе материалы учебного пособия по нанофизике и квантовой механике, отбирал наиболее способных студентов для научной работы по нанотехнологии на кафедре ОТФ (заметим, что И. Н. Белоглазов практически всегда эти кандидатуры поддерживал и давал личные рекомендации этим молодым людям для поступления в аспирантуру). Став деканом, Илья Никитич особый акцент сделал на подготовке научных разработок поnanoструктурированным металлам и покрытиям для их демонстрации на престижных научно-технических

выставках и конгрессах, включая зарубежные. Первые почетные дипломы и медали (рис. 8) с этих выставок были получены уже в 2007 г. На рис. 9 приведены «сканы» дипломов 2007–2010 гг. с указанием на них достоинства медалей. Особо продуктивным был период 2008–2010 гг., когда научные разработки Горного института были награждены 12 медалями, 7 из которых были золотыми. Международные выставки проходили в Москве, Санкт-Петербурге, Тайбэе, Нюрнберге, Женеве и в других крупных городах мира. Всплеск инновационной активности, на наш взгляд, был обусловлен тем, что в 2008 г. Горному институту Санкт-Петербурга, согласно Постановлению Правительства РФ № 498, было выделено финансирование 130 млн руб. на создание Научно-образовательного центра по направлению «Нанотехнологии». Научным руководителем центра был назначен профессор И. Н. Белоглазов. Было закуплено новое оборудование, в том числе атомно-силовой микроскоп фирмы Jeol (Япония); возросла продуктивность научных исследований по нанотехнологии.

2009 год запомнился несколькими важными событиями. На базе Международного форума молодых ученых «Проблемы недропользования», который традиционно каждый год проводится в Горном институте, была открыта новая секция «Нанотехнологии» (рис. 10, а). В ее работе активно участвовали молодые исследователи из Австрии, Германии, Польши, Белоруссии, Украины, России и других стран. В декабре 2009 г. прошла защита первой кандидатской диссертации по наноструктурированным металлам. Диссертацию защитил в Технологическом институте Д. С. Быстров – выпускник металлургического факультета Горного института. Одним из оппонентов по работе Д. С. Быстрова «Наноструктурное регулирование реакционной способности и антифрикционных свойств поверхности алюминия и стали» выступил профессор И. Н. Белоглазов. Также в 2009 г. в научном журнале «Российские нанотехнологии» вышла первая статья из Горного института под названием «Электрофизические и химико-физические микро- и нанотехнологии усиления адгезии компонентов в системе металл-диэлектрик» (Н. С. Пщелко, А. Г. Сырков, Т. Г. Вахренева и др.). Исследования были выполнены по гранту № 1.4.09 на тему «Исследование закономерностей синтеза наноструктур, свойств синтезированных и природных нанообъектов и обоснование приоритетных направлений их использования в горнодобывающей и перерабатывающей промышленности» (научный руководитель – профессор И. Н. Белоглазов). В этом же году Илья Никитич выделил научной группе А. Г. Сыркова лабораторное помещение в аудитории 6103 своей кафедры для выполнения исследований по докторским и выигранным проектам. Это было замечательным подспорьем для работы шести аспирантов, одного докторанта и нескольких студентов (ассистентов профессора) (рис. 10, б–г).

Новые научные результаты и победы не заставили себя долго ждать. В 2011 г. были получены первые премии от Международного фонда «Поколение» (фонд Андрея Скоча) в двух номинациях: «Лучший научный коллектив» (рис. 10, в) и «Лучший ученый» в области изучения наноматериалов и нанотехнологий (рис. 10, г). В 2010 г. в СПГИ была защищена диссертация И. В. Пантишина, выпускника кафедры АТПП (аспиранта А. Г. Сыркова), с названием: «Твердотельный синтез поверхностно-наноструктурированных металлов (Ni, Cu, Al) через стадию адсорбционного модифицирования». В 2011 г. состоялась защита работы Н. С. Пщелко – первой докторской диссертации, выполненной в Горном институте по нанотехнологии. Эта работа открыла дорогу другим докторским работам СПГУ, в которых решаются актуальные научные проблемы синтеза и исследования наноматериалов (В. Ю. Бажин, К. В. Гоголинский, Ф. Ю. Шариков и др.).

И. Н. Белоглазов был легким в общении и очень доброжелательным человеком, не только талантливым ученым, но и великолепным организатором научно-образовательных и издательских проектов. Никогда не настаивал, чтобы в тех проектах, которые он помогал реализовать, его включали соавтором в статьи, изобретения, книги. Интересы дела всегда были для него выше всего. В ноябре 2011 г., когда Илья Никитич тяжело болел и уже не ходил на работу в СПГУ, он нашел силы, чтобы дать отзыв на автореферат докторской диссертации Н. С. Пщелко и быть в курсе исследований Научно-образовательного центра по направлению «Нанотехнологии».

Круг научных интересов И. Н. Белоглазова был чрезвычайно широк: металлургия, химическая технология, автоматизация производства, нефтегазопереработка, нанотехнология и др. Но, чем бы ни занимался профессор, он всегда старался использовать в процессе исследования математику и достижения фундаментальных наук, в том числе физической химии [46, 47]. Такой подход роднит научные стили работы И. Н. Белоглазова и К. Ф. Белоглазова. Подобный подход к решению технологических задач минерально-сырьевого комплекса можно найти и в работах последователей профессоров Белоглазовых на кафедрах АТПП, металлургии, общей и физической химии и ОТФ [48–50].

Став в 2010 г. деканом химико-металлургического факультета (бывшего металлургического), Илья Никитич продолжал активно заниматься направлением «Нанотехнологии». Именно в 2010–2011 г. была написана книга И. Н. Белоглазова, А. Г. Сыркова «Химико-физические основы и методы получения поверхностно-наноструктурированных металлов». В ней изложены принципы и закономерности твердотельного гидридного синтеза металлов, а также метода наслаждания разноразмерных молекул модификаторов на поверхности никеля, меди и железа [24, 26, 50].

Коллектив молодых исследователей, получивший в 2011 г. престижные премии от фонда «Поколение», состоял в основном из бывших выпускников или студентов химико-металлургического факультета (Д. С. Быстров, Е. В. Ремзова, Л. А. Ячменова, В. Ф. Туфрикова). Работа по подготовке кадров в аспирантуру и резерва специалистов для преподавания и исследований на кафедрах (АТПП, ОТФ и др.), где работают по нанотехнологическим направлениям, шла «в долгую». Это было проверено фактами в 2009–2025 гг. Из примерно 20 диссертаций, защищенных в названный период по нанотехнологической тематике, не менее 10 было защищено выпускниками металлургического факультета, включая выпускников кафедры АТПП (д. С. Быстров, И. В. Панюшин, Е. В. Ремзова, А. В. Саитов, А. А. Виноградова, М. О. Силиванов, Л. А. Ячменова, А. Н. Кущенко, Д. Х. Чан, В. Р. Кабиров и др.). Из пяти молодых преподавателей, которые работают на кафедре и занимаются нанотехнологиями, трое являются выпускниками металлургического факультета (двое из них закончили кафедру АТПП). Все три преподавателя учились у И. Н. Белоглазова и защищали диссертации под руководством А. Г. Сыркова.

И. Н. Белоглазов оказывал содействие всем желающим заниматься нанотехнологиями в СПГУ. Но особо выделял три направления исследований, возглавляемые, соответственно, А. С. Мустафаевым, А. Г. Сырковым и В. Ю. Бажиным. Адресность его поддержки оказалась вполне оправданной. В 2018 г. А. С. Мустафаев стал соавтором научного открытия (Диплом № 509) в области графеновых структур и плазменных нанотехнологий [45]. В 2020 г. три научных направления в области нанотехнологий решением Ученого совета университета получили статус научных направлений мирового уровня:

- Наноструктурированные лигатуры с редкоземельными металлами для получения легких сверхпластичных сплавов (руководитель – В. Ю. Бажин);
- Плазменные нанотехнологии и новые материалы в минерально-сырьевом секторе (руководитель – А. С. Мустафаев);
- Наноструктурированные высокогидрофобные металлы и твердотельные методы их получения (руководитель – А. Г. Сырков).

Одна из потенциальных возможностей третьего направления, отчасти уже реализованная на практике, состоит в создании весьма перспективных супергидрофобных материалов, в том числе на основе металлов [51, 52]. В частности, научной группой получены дисперсные металлы (Fe, Ni, Cu), на которых в насыщенных парах H_2O наблюдается мизерная адсорбция молекул воды (на уровне 0,1 от монослоя) [24, 26, 50]. Суммарное число медалей, полученных по трем названным направлениям в 2008–2011 гг., составило не менее 20. В последние годы число медалей удвоилось; суть нанотехнологических разработок-победителей в период

2003–2024 гг. докладывали на Международном симпозиуме НиН [45, 53, 54]. Разработки последователей трудов профессоров Белоглазовых внедрены с экономическим эффектом на предприятиях России и Белоруссии [26, 45, 53]. Важно отметить, что соответствующие исследования на начальном этапе координировал И. Н. Белоглазов. Работы, выполненные в 2020–2024 гг. под руководством профессоров В. Н. Бричина и О. В. Черемисиной [48, 49, 55], продолжают изыскания К. Ф. Белоглазова в области флотации руд и физической химии глинозема.

Приведенный выше материал умножает научное наследие профессора И. Н. Белоглазова [56–58], обсуждавшееся в более ранних литературных источниках [16, 17].

Выводы

Профессора Санкт-Петербургского горного института (университета) К. Ф. Белоглазов и И. Н. Белоглазов продолжили и развили исследования научной школы академика Н. С. Курнакова, в том числе изучая структуру и свойства дисперсных веществ и минералов, включая нанодисперсные материалы. Проанализированы научные труды К. Ф. Белоглазова, и показано, что он провел систематические исследования адсорбции разных веществ глинами и в процессе флотации; вывел уравнение для расчета поверхностной энергии бинарных растворов. Разработал теорию и получил кинетическое уравнение флотационного процесса с учетом дисперсности и поверхностных свойств используемых минералов. Исследования К. Ф. Белоглазова на основе физико-химического анализа процессов, учитывающего влияние дисперсности и структуры поверхности минералов, в частности, позволили разработать технологию получения никеля из медно-никелевых руд для Норильского горно-металлургического комбината.

Заслуженный деятель науки РФ, профессор И. Н. Белоглазов в 2005–2011 гг. продолжил изучение физикохимии поверхностных явлений и совместно с А. Г. Сырковым разработал твердотельные методы синтеза наноструктурированных высокогидрофобных металлов, которые внедрены на ряде горно-химических предприятий Союзного государства. Будучи деканом факультета фундаментальных и гуманитарных дисциплин (2006–2010 гг.), а затем химико-металлургического факультета (2010–2011 гг.) Горного университета, Илья Никитич выступил эффективным научным координатором перспективных исследований в области плазменных нанотехнологий (профессор А. С. Мустафаев) и термодинамического подхода к поиску реагентной смеси при флотации руд (профессор О. В. Черемисина). И. Н. Белоглазов принял непосредственное участие в написании и редактировании книг по наноразмерным системам; курируемые им разработки были награждены 20 медалями на международных выставках. В том, что Санкт-Петербургский горный университет входит

в Национальную нанотехнологическую сеть (ННС) России и принял активное участие в выполнении Президентской программы в области наноиндустрии, есть весомый вклад деятельности профессора И. Н. Белоглазова.

Представленная статья приурочена к юбилеям выдающихся выпускников и профессоров СПГИ: 165-летию со дня рождения академика АН СССР Н. С. Курнакова и 75-летию со дня рождения И. Н. Белоглазова, заслуженного деятеля науки РФ.

Tsvetnye Metally. 2025. No. 7. pp. 85–95
DOI: 10.17580/tsm.2025.07.12

**PROFESSORS BELOGLAZOVS AND THEIR FOLLOWERS:
CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF NANOTECHNOLOGY**

Information about authors

A. G. Syrkov, Professor of the Department of General and Technical Physics¹, Doctor of Technical Sciences, e-mail: Syrkov_AG@pers.spmi.ru
A. N. Kushchenko, Assistant of the Department of General and Technical Physics¹, Candidate of Technical Sciences, e-mail: Kuschenko_AN@pers.spmi.ru
L. A. Yachmenova, Assistant of the Department of General and Technical Physics¹, Candidate of Technical Sciences, e-mail: Yachmenova_LA@pers.spmi.ru
M. V. Goncharova, Associate Professor at the Department of Foreign Languages¹, Candidate of Philology Sciences, e-mail: Goncharova_MV@pers.spmi.ru
M. E. Kokritskiy, master's student of the Department of Machine Engineering¹

¹Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia.

Abstract

The creative legacy of Academician N. S. Kurnakov (1860–1941), one of the most famous graduates and professors of the Saint Petersburg Mining Institute (SPMI), is presented in sufficient detail in the scientific literature. At the same time, it is becoming increasingly evident that research on individual well-known representatives of his scientific school and followers has been insufficiently studied. This article analyses the works of SPMI professors K. F. Beloglazov (1887–1951) and I. N. Beloglazov (1950–2011) concerning the physical chemistry of surface phenomena and the production of highly dispersed (nanostructured) materials based on non-ferrous metals. Based on the study of scientific literature it is concluded that the scholars of academician N. S. Kurnakov in the first half of the 20th century conducted research on the production of solids of any degree of dispersity, “starting with molecular” (P. P. Weimarn), as well as the research on the adsorption of substances on minerals, the kinetics and the mechanism of flotation (K. F. Beloglazov). These scientists have made a significant contribution to the development of scientific foundations of nanotechnology in the 21st century. I. N. Beloglazov, another representative of the Beloglazovs–Thiemes scientific dynasty and the grandson of K. F. Beloglazov, led nanotechnology research at Saint Petersburg Mining University (2005–2011) and continued the research of the physical chemistry of surface phenomena in the processes of enrichment and metallurgical processing of non-ferrous metal ores. Under his scientific and organizational guidance, his followers and co-authors (professors O. V. Cheremisina, A. G. Syrkov, A. S. Mustafaev, and others) developed innovative methods and reagent compositions for the flotation of apatite-nepheline ores, solid-state synthesis techniques for superhydrophobic materials, and plasma-based nanotechnologies for the mineral resource sector over the past 15 years. It is established that professor I. N. Beloglazov made a direct contribution to the realization of several high-priority large-scale publishing projects in nanotechnology and the victory of Mining University developments at international exhibitions (at least 20 medals).

Key words: school of N. S. Kurnakov, Beloglazov K. F., Beloglazov I. N., developments of followers, nanotechnology, metallurgy, contribution, Mining University (Saint-Petersburg).

Работа выполнена при поддержке Международного центра компетенций в горнотехническом образовании под эгидой ЮНЕСКО и рекомендована к публикации оргкомитетом Международного симпозиума «Нанофизика и Наноматериалы».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

См. англ. блок



References

- Kuznetsov N. T., Ievlev V. M., Danilov V. P. XI International Kurnakov Meeting on Physical and chemical analysis. *Zhurnal neorganicheskoi khimii*. 2017. Vol. 62, No. 5. pp. 535–537.
- Danilov V. P., Kuznetsov N. T., Novotortsev V. M. N. S. Kurnakov scientific school of physical and chemical analysis. *Zhurnal neorganicheskoi khimii*. 2014. Vol. 59, No. 7. pp. 836–839.
- Podolsky S. I. Academician N. S. Kurnakov and his contribution to the formation of the Russian industry in the late XIX – early XX centuries. *Bylye Gody*. 2024. Vol. 19, No. 3. pp. 1304–1317.
- Briscol H. V. A. Professor N. S. Kurnakov. *Nature*. 1941. Vol. 148. pp. 310–312.
- Dubovikov O. A. Scientific heritage of academician Nikolai Semenovich Kurnakov. *Zapiski Gornogo instituta*. 2015. Vol. 215. pp. 65–74.
- Brichkin V. N., Vorobyov A. G., Bazhin V. Yu. Mining Institute's metallurgists: a tradition serving the Country, science and production industry. *Tsvetnye Metally*. 2020. No. 10. pp. 4–13.
- Morachevsky A. G. An academician Nikolai Semenovich Kurnakov and his scientific school. Saint Petersburg : Publishing House of the Polytechnic University, 2010. 99 p.
- Solovyov Yu. I. Nikolay Semyonovich Kurnakov: 1860–1941. Moscow : Nauka, 1986. 272 p.
- Kapitsa P. L. Experiment, theory, practice. Moscow : Nauka, 1974. 288 p.
- Kuznetsov N. T., Novotortsev V. M. Nikolay Semenovich Kurnakov (on the 150th anniversary of his birth). *Zhurnal neorganicheskoi khimii*. 2010. Vol. 55, No. 11. pp. 1764–1776.
- Essays on the history of the Mining Institute (1773–1917) edited by V. G. Afanasyev. Saint Petersburg : Saint Petersburg State Mining Institute, 2010. 185 p.
- Kuznetsov N. T., Novotortsev V. M., Zhabrev V. A., Margolin V. I. Fundamentals of nanotechnology. Moscow : BINOM. Laboratory of Knowledge, 2014. 397 p.
- Plekhanov Leningrad Mining Institute of the Order of Lenin and the Order of the Red Banner of Labor 1773–1973 edited by N. Levenberg N. V. Leningrad : Leningrad Soyuzpoligrafsprom Printing House No. 6, 1973. pp. 275–277.
- Zablotski E. Mining dynasties in pre-revolutionary Russia. *Proceedings of the 6th International Mining History Congress. September 26–29, 2003. Akabira City, Hokkaido, Japan*, pp. 337–340.
- Engineering dynasties of Russia. Edited by V. A. Mansurov. Moscow : ROS, 2017. 331 p.
- The dynasty of Beloglazov mining engineers. *Tsvetnye Metally*. 2010. No. 7. pp. 96–100.
- Bazhin V. Yu., Vorobiev A. G., Beloglazov I. I. Professor Beloglazov as the founder of the Process and plant automation department with mining university. *Tsvetnye Metally*. 2020. No. 7. pp. 41–48.
- Beloglazov K. F. Biography of Konstantin Fedorovich Beloglazov (1887–1951). *Zapiski Gornogo instituta*. 1956. Vol. 32, No. 3. pp. 5–11.
- Pashkevich N. V., Khloponina V. S., Pozdnyakov N. A., Avericheva A. A. Analysis of the problems of reproduction of the mineral resource base of scarce strategic minerals. *Zapiski Gornogo instituta*. 2024. Vol. 270. pp. 1004–1023.
- Zhdanev O. V. The ensuring the technological sovereignty of the fuel and energy complex sectors of the Russian Federation. *Zapiski Gornogo instituta*. 2022. Vol. 258. pp. 1061–1078. DOI: 10.31897/PMI.2022.107.
- Chudakova M. V., Ovchinnikov K. A., Ulyanov D. N., Kulakova A. M. et al. Carbon dioxide corrosion inhibitors: the current state of research and development. *Zapiski Gornogo instituta*. 2025. Vol. 271. pp. 3–21.

22. Peter Petrovich von Weimarn. The Great Russian Encyclopedia. – URL: <https://bigenc.ru/c/veimarn-piotr-petrovich-fon-b63837> (accessed: 26.03.2025).
23. Beloglazov I. N., Syrkov A. G. Nanostructured metals and materials: the significance of the problem and the prospects of research. *Tsvetnye Metally*. 2005. No. 9. pp. 4–5.
24. Beloglazov I. N., Syrkov A. G. Research in the field of nanostructures and nanomaterials in St. Petersburg State Mining Institute (Technical University). *Tsvetnye Metally*. 2007. No. 10. pp. 91–94.
25. Margolin V. I., Zhabrev V. A., Lukyanov G. N., Tupik V. A. Introduction to nanotechnology. St. Petersburg : Publishing house “Lan”. 2012. 464 p.
26. Applied aspects of nano-physics and nano-engineering. eds. K. L. Levine, A. G. Syrkov. N. Y. : Nova Science Publishers, Inc., 2019. pp. 139–146.
27. Beloglazov K. F. Equation of free surface energy of binary solutions in the absence of adsorption (normal surface layer). *Zapiski Gornogo instituta*. 1956. Vol. 32. No. 3. pp. 83–96.
28. Kurnakov N. S., Beloglazov K. F., Shmatko M. K. Deposits of potassium chloride in the Solikamsk salt-bearing stratum. *Izvestiya Akademii Nauk*. 1917. Vol. 11. pp. 467–474.
29. Beloglazov K. F. Patterns of the flotation process. Moscow : Metallurgizdat, 1947. 144 p.
30. Pogorelyi A. D. The limits of applicability of the Beloglazov flotation kinetics equation // *Izvestiya vuzov. Tsvetnaya metallurgiya*. 1962. No. 1. pp. 34–40.
31. Weimarn P. P. A new systematics of aggregate states of matter and the basic law of dispersoidology. *Zapiski Gornogo instituta*. 1912. Vol. 4. pp. 128–143.
32. Scientific schools of the Faculty of Chemistry and Metallurgy. – URL : https://web.archive.org/web/20140521035544/http://spmi.ru/nsciarticle/nsciarticle_8520 (accessed: 27.03.2025)
33. Ostwald Wo. P. P. von Weimarn, 1879–1935. *Kolloid Zeitschrift*. 1936. Bd. 74, Heft. 1. S. 1–10.
34. Kashima K. An eminent Russian chemist. *Industrial and Engineering Chemist*. 1924. Vol. 16, Iss. 5. pp. 540–541.
35. Weimarn P. P. Studien Über Dispersoide Synthese des Goldes. III. *Kolloid Zeitschrift*. 1926. Bd. 39. pp. 166–172.
36. Weimarn P. P., Kagan I. B. A simple general method for obtaining bodies in a state of solid colloidal solutions of any degree of dispersion, starting from molecular. *Zapiski Gornogo instituta*. 1910. Vol. 2. pp. 398–400.
37. Weimarn P. P. On the Numerical data of Dispersoidology. *Journal of Chemical Education*. 1926. Vol. 3, Iss. 4. pp. 373–381.
37. Latif W. A., Al-Owaidi M. N. Review article: Solgel Method, “Synthesis and applications”. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*. 2023. Vol. 8, Iss. 2. pp. 160–166.
38. Sokhovich E. V., Tomaev V. V., Taraban V. V., Pleskunov I. V. Optimized sol-gel synthesis of WO₃ hydrogel for obtaining electrochromic films. *Tsvetnye Metally*. 2023. No. 8. pp. 39–43.
40. Chanturiya V. A., Aleksandrova T. N. Contribution by Russian Academy of Sciences to the development of minerals concentration and processing technology. Marking the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences. *Tsvetnye Metally*. 2024. No. 1. pp. 6–16.
41. Sosnov E. A., Malkov A. A., Malygin A. A. Nanotechnology of molecular layering in the production of inorganic and hybrid materials for various functional purposes (review). I. History of the creation and development of the molecular layering method. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 2021. Vol. 94, No. 8. pp. 967–986.
42. Denisova O. V., Karapetyan K. G. Carbon materials surface modified with transition metal ions. *Tsvetnye Metally*. 2023. No. 8. pp. 56–61.
43. Mustafaev A. S., Grabovskiy A. Y., Sukhomlinov V. S., Shtoda E. V. Technology for monitoring the surface emission inhomogeneity in plasma electronics devices. *Journal of Applied Physics*. 2024. No. 20. pp. 1–12.
44. Cai Y., Michiels R., De Luca F., Neyts E. et al. Improving molecule-metal surface reaction networks using the meta-generalized gradient approximation: CO₂ hydrogenation. *Journal of Physical Chemistry C: Nanomaterial Interfaces*. 2024. Vol. 128. pp. 8611–8620.
45. Popova A. N., Klimenkov B. D., Grabovsky A. Y. Scientific School of Plasma Nanotechnology and Energy Engineering at the Mining University. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya nelineinaya dinamika*. 2021. Vol. 29, No. 2. pp. 317–336.
46. Beloglazov I. N., Kurochkina M. I. Calculation of the kinetics of chemical extraction processes. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 1985. Vol. 58. pp. 2079–2083.
47. Beloglazov I. N., Klushin S. A., Kurochkina M. I. Method of determining parameters in the Yerofeyev-Kolmogorov kinetic equation. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 1986. Vol. 59. pp. 2146–2149.
48. Brichkin V. N., Fedorov A. T. Calculation and experimental determination of equilibrium composition of liquors in certain instances of the Na₂O – K₂O – Al₂O₃ – H₂O System. *Tsvetnye Metally*. 2022. No. 7. pp. 33–38.
49. Sergeev V. V., Cheremisina O. V., Fedorov A. T., Gorbacheva A. A., Balandinsky D. A. Interaction features of sodium oleate and oxyethylated phosphoric acid esters with the apatite surface. *ACS Omega*. 2022. Vol. 7, No. 3. pp. 3016–3023.
50. New materials. Preparation, properties and applications in the aspect of nanotechnology. ed. A. G. Syrkov, K. L. Levine. N. Y. : Nova Science Publishers, Inc. 2020. 248 p.
51. Trandsekaran P., Su C.-H., Liu Y.-H., Lu K.-L. Hydrophobic metal-organic frameworks and derived composites for microelectronic applications. *Chemistry – A European Journal*. 2021. Vol. 27. pp. 16453–16563.
52. Wei. T., Dang S. X. Direct laser texturing technique for metal surfaces to achieve superhydrophobicity. *Materials Today Physics*. 2022. Vol. 23. DOI: 10.1016/j.mtphys.2022.100651.
53. Nanophysics and nanomaterials: Collection of scientific papers. St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II. St. Petersburg, 2023. 317 p. (*International seminar dedicated to the 250th anniversary of the founding of St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II and the 20th anniversary of the International Symposium “Nanophysics and Nanomaterials”*. November 22–23, 2023).
54. Nanophysics and nanomaterials: Collection of scientific papers. St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II. St. Petersburg, 2024. 268 p. (*International seminar dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences and the 145th anniversary of the birth of Professor Peter Petrovich Weimarn*, Mining Institute. November 20–21, 2024).
55. Cheremisina O. V., Gorbacheva A. A., Balandinsky D. A., Luo Yunizhou, Ponomareva M. A. Synergetic effect of a mixture of ethoxyphosphoric esters and sodium oleate in aqueous solutions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2024. Vol. 685. pp. 1–10.
56. Habashi F., Beloglazov I. N., Galnbek A. A. The Problems of Complex Ores Utilization. USA : Gardon and Breach Publishers, 1995. 210 p.
57. Rodrigues Domingues J. I., Chang Cardona A. R., Beloglazov I. N. Improvements in the ammonium carbonate leaching process during the treatment of oxidized nickel ores. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 1995. Vol. 15. pp. 140–145.
58. Beloglazov I. N., Rodrigues Domingues J. I. Efficiency of Utilization of Working Volume of Continuous Action Hydrometallurgical Equipment. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 1995. Vol. 15. pp. 138–141.