

ПРОКОПЕНКО

Віталій Анатолєвич — доктор технічних наук, заступитель директора по науковій роботі Інституту біоколоїдної хімії ім. Ф.Д. Овчаренко НАН України

КОВЗУН

Ігорь Григорєвич — доктор хімічних наук, професор, вєдущий науковий співробітник Інституту біоколоїдної хімії ім. Ф.Д. Овчаренко НАН України

УЛЬБЕРГ

Зоя Рудольфівна — доктор хімічних наук, професор, директор Інституту біоколоїдної хімії ім. Ф.Д. Овчаренко НАН України

Посвящается:

30-лєтїю открития явления избирательной гетерокоагуляции минеральных коллоидных частиц с микроорганизмами

30-лєтїю Інститута біоколоїдної хімії ім. Ф.Д. Овчаренко НАН України

100-лєтїю со дня рожденія академіка НАН України Ф.Д. Овчаренко

80-лєтїю со дня рожденія академіка РАЕН Н.В. Перцова

СОЗИДАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАУЧНОГО ОТКРЫТИЯ

30 лет назад учеными-коллоидниками было открыто явление избирательной гетерокоагуляции минеральных коллоидных частиц с микроорганизмами. В статье кратко раскрыта суть, теоретическое и практическое значение этого открытия. При изучении данного явления сотрудники Института биокolloидной химии им. Ф.Д. Овчаренко НАН Украины получили фундаментальные и прикладные результаты, которые впоследствии легли в основу новейших научных направлений: биокolloидной химии, биогеохимии, коллоидных биотехнологий, а в их рамках — биосинтеза наноразмерных частиц металлов и их соединений, нанофармации, наномедицины и нановетеринарии, биогеотехнологий, биокolloидной экологии.

Согласно Положению об откритиях и изобретениях, определение научного открития звучит следующим образом: «откритием признается установление неизвестных ранее объективно существующих закономерностей, свойств и явлений материального мира, вносящих **коренные изменения** в уровень познания» [1]. В государственном реестре Госкомизобретений СССР под № 361 зарегистрировано откритие в области коллоидной химии «Явление избирательной гетерокоагуляции минеральных коллоидных частиц с микроорганизмами» (с приоритетом 16.12.1981 в части экспериментального обнаружения явления и 11.05.1983 в части его теоретического обоснования). Авторы открития — Ф.Д. Овчаренко, Н.В. Перцов, З.Р. Ульберг, В.Р. Эстрела-Льопис, Б.С. Коган [2].

Впервые в общем виде суть этого открития была сформулирована в докладе Федора Даниловича Овчаренко и Нико-

лая Валериевича Перцова на заседании Президиума АН СССР 25 февраля 1982 г. Доклад вызвал оживленную дискуссию, в которой приняли участие Президент АН СССР академик А.П. Александров, академики П.Л. Капица, Г.К. Скрыбин, А.В. Сидоренко, А.А. Баев, Б.А. Ласкорин и др. Выступающие отмечали новизну и большое научное и практическое значение открытого явления. Дальнейшее развитие эта тема получила на заседании Президиума АН УССР 5 мая 1982 г., где от имени авторов открытия с докладом выступил академик АН УССР Ф.Д. Овчаренко. В обсуждении доклада участвовали Президент АН УССР академик Б.Е. Патон, академики АН УССР П.Г. Костюк, К.М. Сытник, В.П. Кухарь, К.Б. Яцимирский. При дальнейшем рассмотрении предмета открытия в Госкомизобретений СССР к дискуссии были подключены ведущие специалисты многих научных центров страны в области

коллоидной химии, биологии, геохимии, обогащения металлов.

Через год, 11 мая 1983 г., постановлением Президиума АН УССР «с целью концентрации усилий ученых на дальнейшем развитии научных исследований, эффективности научно-практических разработок в области коллоидной биотехнологии обогащения золота и других металлов» было создано Отделение природных дисперсных систем под руководством академика Ф.Д. Овчаренко. На его базе в ноябре 1991 г. организован Институт биокolloидной химии (ИБКХ), который возглавила доктор химических наук, профессор З.Р. Ульберг. За прошедшие годы коллективом ученых Института выполнен большой комплекс экспериментальных и теоретических работ, которые подтвердили основные положения открытия и определили области их научного и практического использования (рис. 1).

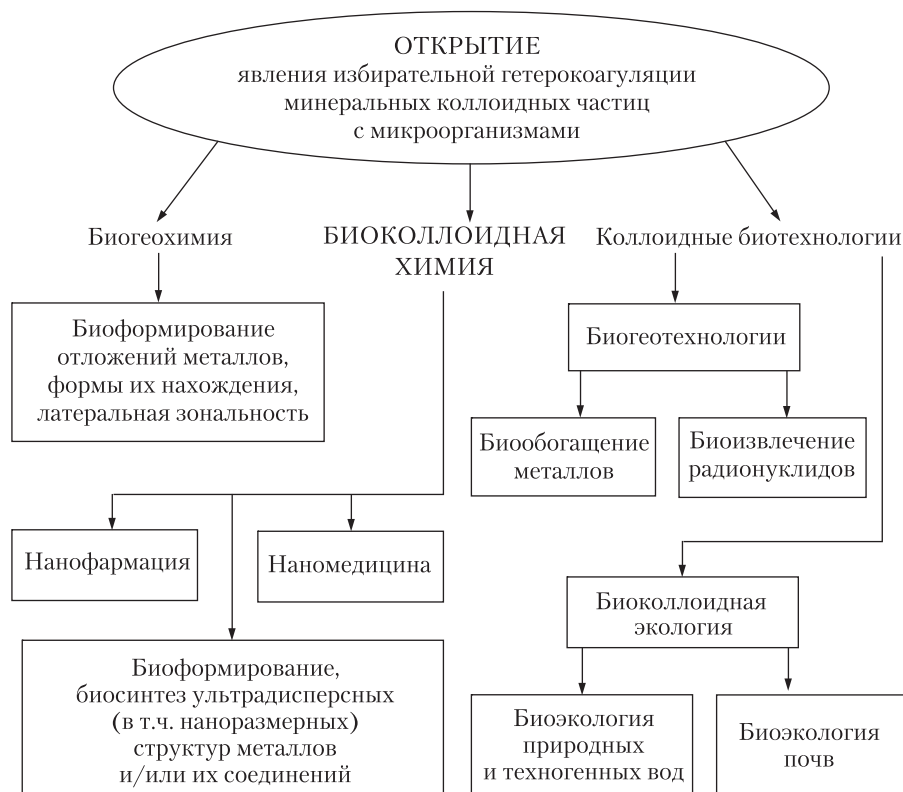


Рис. 1. Области научного и практического использования основных положений открытия

Среди уникальных научных направлений, возникших на основе открытия указанного явления, прежде всего следует отметить создание, становление и развитие новой науки — биокolloидной химии, основным содержанием которой является изучение взаимодействий между объектами живой и неживой природы. Живая клетка как неравновесная термодинамическая система, обусловленная работой электрогенных насосов, синтезирующая и выделяющая продукты своего метаболизма в окружающую дисперсионную среду, изменяя ее состав не только в окружении клетки, но и во всем объеме, становится общепризнанным специфическим объектом коллоидной химии. Основной характеристикой метаболизирующих клеток, представляющих термодинамически неравновесную систему, является трансмембранный потенциал, особенно та его часть, которая ассоциирована с внешним двойным электрическим слоем. При дальнейшем изучении этих систем для описания взаимодействий между биологическими клетками потребовался учет дополнительных механизмов в основополагающей в коллоидной химии теории устойчивости дисперсных систем — теории ДЛФО (Дерягина — Ландау — Фервея — Овербека). Так, был разработан коллоидно-биохимический механизм процессов гетерокоагуляции живых клеток с коллоидными минеральными частицами в прямой зависимости от метаболизма клетки или ее физиологической активности [3, 4]. Концепция, положенная в основу этого механизма, впервые рассматривает движение частиц вблизи живой клетки (диффузиофорез), обратимое и необратимое адгезирование их на поверхности клетки и проникновение внутрь нее через плазматическую мембрану [5–7].

Исследования механизмов и процессов, лежащих в основе заложенного природой селективного взаимодействия биологических клеток с коллоидными минеральными частицами, позволили сформулировать понятие металлофильности как генетически детерминированного свойства, отражающего систему взаимодействий клеток с микро- и наночастицами

минеральной природы. Такие взаимодействия включают: 1) способность клеток аккумулировать, в том числе и селективно, металлы в количествах, значительно превышающих таковые в окружающей среде; 2) свойство металлорезистентности клеток микроорганизмов; 3) неспособность клеток микроорганизмов развиваться на средах, лишенных определенных металлов [8].

В изучении природы избирательности была определена роль структурного и метаболического факторов во взаимодействии клетка — частица. Нами показано, что особенности химического строения клеточной поверхности обуславливают различия в способности живых клеток концентрировать частицы, тогда как особенности протекания метаболических энергопреобразующих процессов контролируют вариабельность в величине аккумулирующей активности клеток одного вида. Фиксация ультрадисперсных частиц металлов на поверхности и внутри клетки происходит с использованием нескольких механизмов [5, 9]. Мы установили два основных механизма концентрирования, имеющих принципиальные отличия. Первый — пассивная локализация металлов за счет электростатических, координационных и других типов связывания металлов структурными компонентами клеточной мембраны. Второй — метаболизмозависимая аккумуляция металлов, присущая исключительно живым объектам и связанная с функционированием ферментных систем клетки, которые обеспечивают обмен веществом и энергией с внешней средой. В этом плане нами впервые был определен и исследован механизм энергозависимого и избирательного накопления металлов прокариотическими и эукариотическими клетками.

Результаты этих фундаментальных исследований стали основой двух прикладных направлений коллоидной биотехнологии, разрабатываемых в Институте в последние годы (рис. 1). Это, во-первых, создание и использование в промышленности ряда биотехнологических процессов обогащения из руд таких металлов, как золото, платина, вольфрам, ниобий и др.

[10, 11] (биокolloидная технология, названная нами «Биоселект»), а во-вторых, биоэкологические технологии для очистки почв, природных и технологических вод, разрушения особо токсичных реагентов [12].

В качестве высокоселективных флокулянтов и сорбентов в процессах флотации и седиментации при извлечении высокодисперсных металлов использовались интактные клетки микроорганизмов. На рис. 2 представлены клетки *Bacillus sp.* с адгезированными на их поверхности частицами золота и биокосный агрегат клеток *Bacillus sp.*, извлекаемый из руды и обогащенный золотом. Использование таких эффективных материалов позволило повысить промышленное извлечение металлов на 5–25%.

Клеточные окислительно-восстановительные реакции микроорганизмов были задействованы в биотехнологиях разложения токсичных соединений. На рис. 3 показан внешний вид установки для разложения цианидов в пульпе после экстракции из нее золота, что обеспечивает дополнительное извлечение металла (биотехнология «Биоцитан»). Объем перерабатываемой установкой пульпы составляет 25 м³ в сутки.

Указанные разработки защищены более чем 20 патентами Украины, США, Канады, ЮАР, Бразилии, России.

Имея большой опыт работы в золотодобывающей промышленности, ИБКХ им. Ф.Д. Овчаренко НАН Украины был включен в число организаций, которым поручалось формирование концепции создания золотодобывающей промышленности Украины, а также координация работ по технологическому обеспечению создаваемого золотодобывающего комплекса. Институт был определен головной научной организацией при подготовке Государственной программы «Золото Украины» на 1995–2000 и 2000–2010 гг. (протокол совещания КМ Украины от 06.06.95, № 347). Программа включала, в частности, использование технологических разработок Института при обогащении руд Клинцовского, Майского и других месторождений Украинского щита. Сотрудники ИБКХ

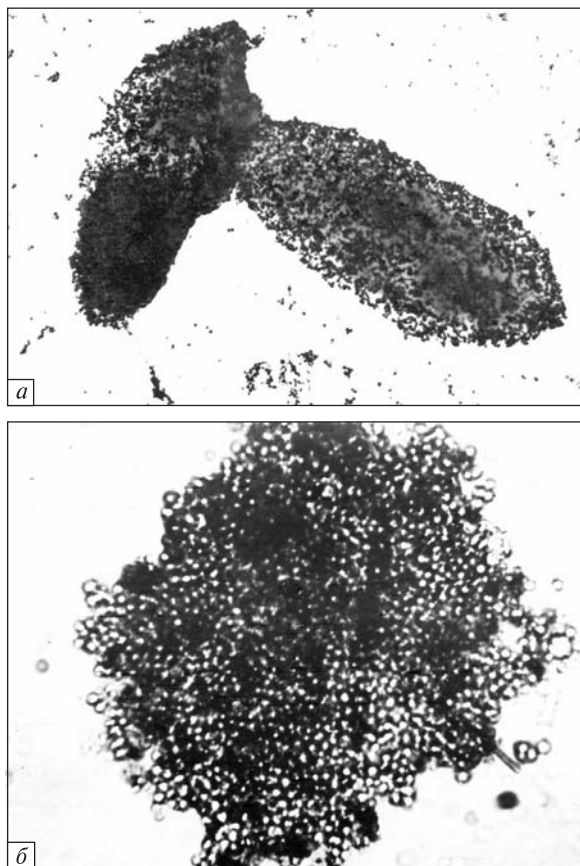


Рис. 2. Полученные с помощью электронной микроскопии изображения клеток *Bacillus sp.* с адгезированными на их поверхности частицами золота (а) и биокосный агрегат клеток *Bacillus sp.*, извлекаемый из руды и обогащенный золотом (б)



Рис. 3. Установка для разложения цианидов в пульпе

создали экономическую и технологическую концепцию освоения Мужиевского золотоносного месторождения, а также строительства и введения в промышленную эксплуатацию соответствующего обогатительного предприятия. В качестве главного технологического процесса была предложена наиболее эффективная и экологически безопасная для Закарпатского региона биофлотационная технология. В соответствии с рекомендациями Института принята схема расположения главных производственных участков. На практике были применены разработанные учеными ИБКХ технологии одностадийного аффинажа сплавов золота с высоким содержанием свинца и сульфидов, оборотного водоснабжения, произведена закладка выработанного шахтного пространства, выполнено ТЭО строительства предприятия с учетом требований, предъявляемых к экологически чистому региону Закарпаття.

Следует особо отметить высокий профессионализм и организационный талант профессора Н.В. Перцова, проявившиеся в процессе выполнения этих сложных технологических работ. В 1999 г. он и профессор З.Р. Ульберг были награждены Почетными грамотами Кабинета Министров Украины «за значительный вклад в создание золотодобывающей и золотоперерабатывающей промышленности...». Эта тематика и сегодня остается одним из приоритетных научных направлений в деятельности Института, проводится подготовка специалистов, развивается научная, технологическая и аналитическая база.

Полученные ранее фундаментальные результаты в последние годы нашли успешное применение в области **нанофармации и наномедицины**. Основой для этих исследований стали изученные нами механизмы и процессы взаимодействия наночастиц металлов (золота, серебра, железа, висмута) с эукариотическими клетками (в данном случае клетками тканей и органов лабораторных животных). В Институте разработаны методы получения наночастиц металлов и их водных и органических дисперсий путем химического восстановления из разбавленных растворов. Такие наночастицы

характеризуются монодисперсностью, строго сферической формой, монофазностью, чистотой поверхности, биосовместимостью.

С целью направленного использования наночастиц металлов в фармакологии параллельно с отработкой методики получения частиц проводилась работа по оценке их безопасности, разрабатывался системный подход для оценки потенциальных рисков при их использовании. В части создания нормативно-методической базы для оценки безопасности наночастиц металлов были разработаны и утверждены следующие документы:

1) в области гуманной медицины — в 2013 г. Государственным экспертным центром МОЗ Украины утверждены «Методические рекомендации по оценке биобезопасности лекарственных препаратов» (разработчики — Институт медицины труда НАМН Украины, Институт биокolloидной химии им. Ф.Д. Овчаренко НАН Украины, кафедра клинической фармакологии Киевского медицинского университета). По сути, сделаны первые шаги для официального признания Минздравом Украины такой отрасли, как нанофармакология;

2) в области ветеринарной медицины — разработаны и утверждены Научно-техническим советом Государственного комитета по ветеринарии «Методические рекомендации по оценке биобезопасности наноматериалов органической и неорганической природы методом определения генотоксичности щелочным гель-электрофорезом» и «Методические рекомендации по определению биобезопасности частиц металлов в составе пробиотиков с целью повышения их эффективности» (2011).

На основе этих регламентных документов в ИБКХ НАН Украины создан банк наночастиц металлов, охарактеризованных по физико-химическим свойствам, которые уже сегодня используются для разработки лекарственных препаратов. В ходе этих исследований обнаружен фундаментальный эффект, состоящий в том, что степень риска (опасности) при использовании наночастиц зависит от их размера. В данной области Институт проводит исследования по таким основным направлениям:

1) разработка фармакологических препаратов для лечения туберкулеза, сепсиса, нозокомиальных инфекций; 2) создание иммунобиологических препаратов, пробиотиков, вакцин; 3) разработка противоанемийного препарата на основе наночастиц железа; 4) создание наноконструкций целевой доставки кардиотропных и антипоптозных препаратов [13–16]. Основная концепция, выдвигаемая авторами этих работ, состоит в том, что частица не только выступает в качестве платформы для векторной доставки лекарств в клетки-мишени (направление drug delivery [17–19]), но и сама оказывает **направленное терапевтическое действие**.

В рамках этой концепции создано несколько субстанций на основе наночастиц металлов и их конъюгатов с лекарственными препаратами. Так, разработан наноконъюгат на основе изоиазида и частиц золота и серебра для лечения резистентных форм туберкулеза (заказчик — Государственное агентство по вопросам науки, инноваций и информатизации Украины) [20]. Завершены доклинические испытания препарата на основе наночастиц золота и серебра для челюстно-лицевой хирургии. Кроме повышенной, в сравнении с традиционными препаратами, антибактериальной активности наночастиц при их использовании наблюдается усиление процесса регенерации тканей [14].

Нозокомиальные инфекции занимают четвертое место по частоте причинной летальности вслед за болезнями сердечно-сосудистой системы. Результаты исследований показали, что частицы висмута имеют мощный потенциал бактерицидного действия в отношении особо опасных инфекций: лептоспироз, сифилис, боррелиоз, сибирская язва, сальмонеллез. Активно ведутся работы по использованию наночастиц висмута в ветеринарии [21]. Разработан, получен и прошел доклинические испытания противоанемийный препарат нового поколения «Нанофер» на основе наночастиц железа, который выпускается в виде капсул или сиропа для лечения железодефицитной анемии и анемии хронических заболеваний. «Нанофер» демонстрирует значительно более

высокие показатели по накоплению железа и трансферрина в сыворотке крови по сравнению с коммерческим препаратом последнего поколения «Мальтофер». Важным преимуществом «Нанофера» является и то, что при внутривенном введении препарата отмечено существенно пролонгированное повышение пролиферативной функции клеток костного мозга, характеризующееся высокими показателями митотического индекса [22].

В кардиотерапии используются как терапевтические свойства наночастиц золота, так и возможность применения их для векторной доставки лекарств. На основе наночастиц золота разработан конъюгат с кардиотропным препаратом «Левосимендан» для лечения сердечной недостаточности. Полученный конъюгат эффективно накапливается в кардиомиоците и оказывает положительное влияние на уровень энергетических затрат сердечной мышцы. Это позволяет пациенту избежать таких негативных явлений, сопутствующих использованию «Левосимендана», как, например, тахикардия [16].

Еще одной областью науки, где рассматриваемое открытие, его объекты и закономерности оказались весьма полезны и важны, является геохимия, или, точнее, **биогеохимия** (рис. 1). Работы, которые собственно и привели к формулированию открытия, начинались с изучения механизмов образования черносланцевых (углеродосланцевых) формаций, содержащих значительные концентрации тонкодисперсного золота. В геологической науке установлено, что коллоидное состояние характерно и для ряда других минеральных веществ и систем, особенно в зоне гипергенеза [23]. Осадочные месторождения образуются на дне морей и океанов, россыпные — на дне рек и побережий морей, а месторождения выветривания — на поверхности континентов. Однако роль микроорганизмов в этих процессах во многом еще остается неясной.

Уже первые исследования, проведенные с черносланцевыми материалами, а также с золотосодержащими осадками шельфов Японского моря, позволили выделить микроорганизмы, активно взаимодействующие с золотом в ион-

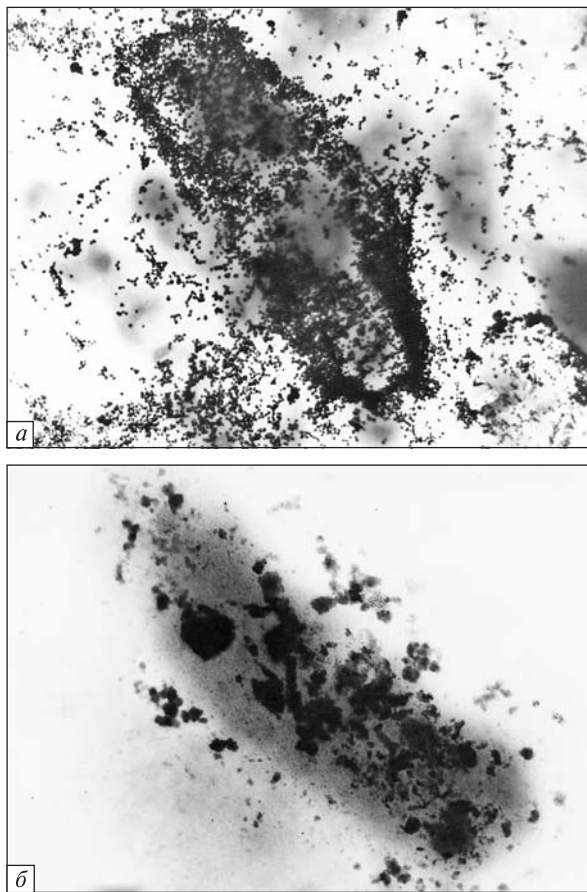


Рис. 4. ПЭМ-изображения, демонстрирующие модель природного процесса перекристаллизации золота клетками культуры *Bacillus subt.*: *a* — клетка с адгезированными ультрадисперсными частицами золота; *б* — клетка с выделенными ею в результате перекристаллизации на своей поверхности частицами золота

ном и коллоидном состоянии, обладающие способностью осуществлять окислительно-восстановительные реакции с растворением и последующей кристаллизацией золота и, что не менее важно, резистентные к высоким концентрациям этого металла.

Эти уникальные штаммы микроорганизмов были выделены среди многих морфологических видов клеток, а их средство к золоту и способность аккумулировать его в виде тонкодисперсной фазы значительно превышала адсорбированные количества других сопутствующих металлов, содержащихся в исследуемых

природных материалах. При этом было показано, что наиболее сильное взаимодействие с золотом проявляют природные ассоциативные культуры (бактериальные биогеоценозы) в сравнении с музейными штаммами.

Биогеоценозы подобного типа, развиваясь во внешних, мористых областях барьерной системы река — море с повышенной металлоносностью, могут служить одним из биогеохимических механизмов стока тонкодисперсных металлов в формирующемся зональном ореоле.

Так возникла идея использования таких флокул — биокосных агрегатов, образующихся в результате селективного взаимодействия микроорганизмов с минеральными частицами, для экстракции металлов из руд. Выделенные металлофильные в отношении золота микроорганизмы после дополнительной селекции и адаптации к золоту вошли в коллекцию музея микроорганизмов ИБКХ им. Ф.Д. Овчаренко НАН Украины, Государственную коллекцию микроорганизмов Украины, а также в Европейскую коллекцию в качестве технологических штаммов, используемых в биотехнологических процессах извлечения тонкодисперсного золота [24–26]. Постоянная трансформация металлов микроорганизмами есть одна из форм их существования в природных системах. На рис. 4 представлены снимки, сделанные с помощью электронного микроскопа, которые демонстрируют модель природного процесса перекристаллизации золота клетками культуры *Bacillus subt.*, выделенными на золотоносной отмели Японского моря.

На первой стадии имеет место процесс клеточного растворения ультрадисперсных частиц золота, адгезированных клеткой, а на второй — клеточная кристаллизация металла из образованного ею раствора в виде более крупных частиц на поверхности и внутри клетки. Благодаря реализации этого процесса в природных условиях становится возможным спустя определенное время вернуться к обогащению уже отработанных ранее отвалов золотоизвлекательных фабрик.

В природе реализуются подобные механизмы биогенного формирования месторождений

других металлов в виде устойчивых соединений, образующихся путем восстановления металлов из растворов клетками микроорганизмов. На рис. 5 представлены микрофотографии осадков различных металлов. Эта уникальная способность микроорганизмов трансформировать растворимые формы металлов в нерастворимые минеральные была положена в основу биотехнологических процессов обезвреживания почв, содержащих тяжелые металлы и радионуклиды [27].

Сегодня эти исследования получают дальнейшее развитие в основных направлениях научных и прикладных работ ИБКХ им. Ф.Д. Овчаренко НАН Украины:

- биокolloидная химия и физика природных и синтетических дисперсных систем и материалов, биологические наносистемы и биосенсорные нанотехнологии; биотехнологии обогащения минерального сырья и защиты окружающей среды;

- коллоидная химия и физика дисперсных систем и материалов; наноразмерные коллоидные системы и материалы; принципы, методы и технологии их использования в промышленности; макрокинетика и фрактальные свойства дисперсных систем;

- физико-химическая механика и геомеханика природных и техногенных дисперсных систем, в том числе с участием микроорганизмов.

О значительной роли исследований, проводимых в ИБКХ им. Ф.Д. Овчаренко НАН Украины, убедительно свидетельствует ряд фундаментальных трудов сотрудников Института, опубликованных во всемирно известных научных издательствах: *Nanoscience: Colloidal and Interfacial Aspects* (2010); «Нанонаука, нанобіологія, нанофармація» (2012); «Сополимерные гидрогели медицинского назначения. Синтез, свойства и применение» (2011); «Компьютерное моделирование физических систем» (2011) и др. Кроме того, ученые Института принимали участие в подготовке и написании разделов в таких авторитетных коллективных монографиях, как *Encyclopedia of Colloid and Interface Sci-*

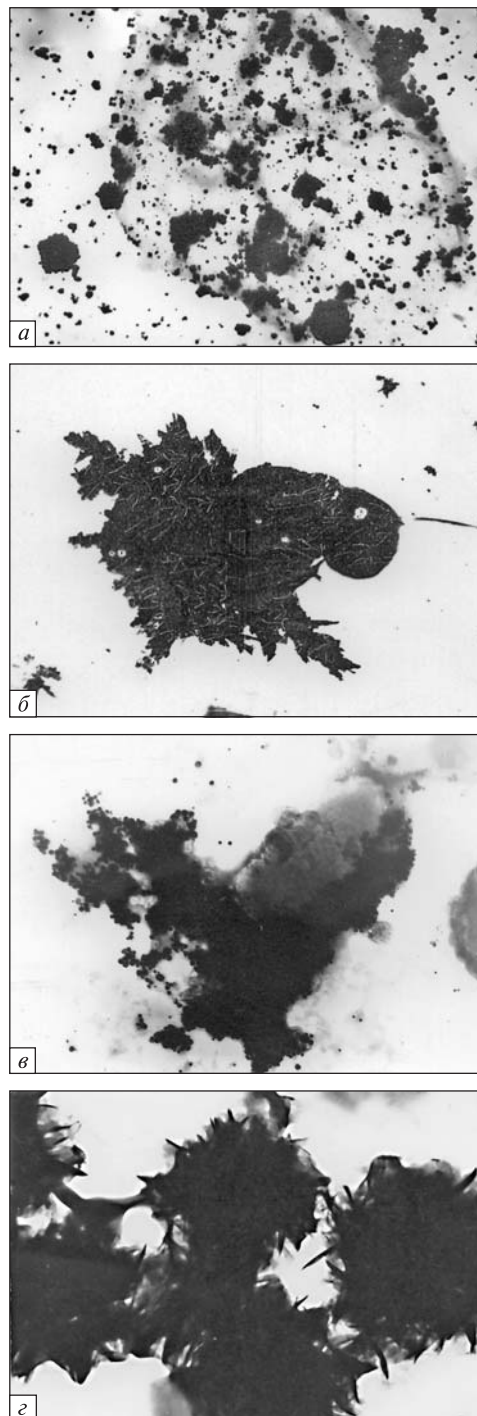


Рис. 5. Микрофотографии дисперсных фаз, восстановленных клетками микроводоросли *Chlorella vulg.* из соответствующих растворов: золота (а); смеси оксидов и гидроксидов серебра (б); оксидов и гидроксидов меди (в); диоксида марганца (г)

ence (2013); Colloid and Interface Chemistry for Nanotechnology (2013); Transport and Reactivity of Solutions in Confined Hydrosystems (2014).

Особо следует подчеркнуть, что, несмотря на имеющийся большой арсенал прикладных технологических разработок, приоритетом в деятельности ИБКХ всегда являлась фундаментальная наука. Поэтому и неслучайно, что научный коллектив Института объединил в себе авторов трех научных открытий, имеющих непреходящее значение в современной коллоидной химии:

1) явления адсорбционного понижения прочности, или эффекта Ребиндера (открытие № 28, 1964 г.) — акад. РАЕН Н.В. Перцов;

2) вкратце описанного выше явления избирательной гетерокоагуляции минеральных коллоидных частиц с микроорганизмами (открытие № 361, 1983 г.) — д.х.н., проф. З.Р. Ульберг; акад. РАЕН Н.В. Перцов; акад. НАН Украины Ф.Д. Овчаренко, к.х.н. В.Р. Эстрела-Льопис;

3) явления диффузиофореза (открытие № 376, 1989 г.) — д.х.н., проф. З.Р. Ульберг.

Материалы, полученные при всесторонних исследованиях этих явлений, а также новые результаты деятельности Института по указанным выше направлениям стали основой формирования в ИБКХ трех научных школ: физико-химия дисперсных минералов, биокolloидная химия, электроповерхностные явления в дисперсиях и наносистемах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Положение об открытиях и изобретениях. Госкомитет СССР по делам открытий и изобретений. — М., 1981.
2. Овчаренко Ф.Д., Перцов Н.В., Ульберг З.Р., Эстрела-Льопис В.Р., Коган Б.С. Диплом на Открытие № 361. — Госкомизобретений СССР, гос. регистрация 20.12.1990.
3. Dukhin A.S., Ulberg Z.R., Karamushka V.I., Gruzina T.G. Peculiarities of live cells' interaction with micro- and nanoparticles // Adv. Colloid Interface Sci. — 2010. — V. 159, N 1. — P. 60–71.
4. Ulberg Z.R., Gruzina T.G., Pertsov N.V. Colloidal Chemical Properties of Biological Nanosystems. Biomembranes // Nanoscience: Colloidal and Interfacial Aspects / Ed. V.M. Starov. — London, New York: CRC Press Taylor&Francis Group, LLC, 2010. — P. 269–305.
5. Ulberg Z.R., Dukhin A.S., Karamushka V.I. Interaction of energized bacteria cells with particles of colloidal gold: peculiarities of the process // Biochim. Biophys. Acta. — 1992. — V. 1134. — P. 89–95.
6. Dukhin A.S., Karamushka V.I., Ulberg Z.R., Abidor I.G. On the existence of an intramembrane field stabilization system in cells // Bioelectrochem. Bioenerg. — 1991. — V. 26, N 2. — P. 131–138.
7. Дерягин Б.В., Духин С.С., Ульберг З.Р., Дворниченко Г.Л. Диплом на Открытие «Явление диффузиофореза» № 376. — Госкомизобретений СССР, гос. регистрация 21.12.1989.
8. Овчаренко Ф.Д., Ульберг З.Р., Перцов Н.В., Гарбара С.В. Механизм биогенного формирования аутигенных включений золота в тонкодисперсные осадки // ДАН СССР. — 1985. — Т. 284, № 3. — С. 711–716.
9. Ульберг З.Р., Грузина Т.Г., Резниченко Л.С., Дибкова С.М. Біологічні системи різного рівня організації і наночастинки золота // Нанонаука, нанобіологія, нанофармація. — К.: Поліграфплюс, 2012. — С. 190–227.
10. Волобаев И.И., Марочко Л.Г., Ульберг З.Р. Высокоселективные биофлокулянты для извлечения ультрадисперсных частиц золота // Коллоид. журн. — 2012. — Т. 74, № 4. — С. 454–459.
11. Ващенко А.А., Марочко Л.Г., Ульберг З.Р. Извлечение тонкодисперсного золота из руд методом биофлокулярной флотации // Коллоид. журн. — 2006. — Т. 68, № 4. — С. 445–452.
12. Ульберг З.Р., Подольська В.І. Біотехнології в золотодобувній промисловості // Вісн. НАН України. — 2011. — № 3. — С. 14–29.
13. Ульберг З.Р., Воробйова А.М., Грузина Т.Г. та ін. Наночастинки золота як потенційний агент цільової терапії патологій серцево-судинної системи // Вісн. проблем біології і медицини. — 2012. — Т. 1, № 3. — С. 106–112.
14. Маланчук О.В., Ульберг З.Р., Рибачук А.В. та ін. Антимікробна активність наночастинок срібла // Доповіді НАМН України. — 2012. — Т. 18, № 3. — С. 384–388.
15. Оцінка безпеки лікарських препаратів: методичні рекомендації. — Затв. Наук.-експерт. радою Держ. експерт. центру МОЗ України (протокол № 8 від 26.09.2013). — К., 2013. — 108 с.

16. Мохнатий С.І., Воробйова Г.М., Ступіна О.С. та ін. Використання наночастинок золота для цільової доставки кардіотропних препаратів // Щорічник наукових праць Асоціації серцево-судинних хірургів України. — 2013. — Вип. 21. — С. 314–317.
17. Ziu W.T. Nanoparticles and their biological and environmental application // J. Biosci. Bioeng. — 2006. — V. 102, N 1. — P. 1–7.
18. Sanchez A., Tobio M., Gonzalez Z. et al. Biodegradable micro- and nanoparticles for parenteral drug delivery // Adv. Drug Deliv. Rev. — 2004. — N 56. — P. 1257–1272.
19. Ульберг З.Р., Грузина Т.Г., Карпов О.В. Нанотехнології в медицині: роль колоїднохімічних процесів // Вісн. НАН України. — 2008. — № 8. — С. 28–41.
20. Ульберг З.Р., Чекман І.С. Нанофармакологія: міждисциплінарний аспект наукових досліджень // Сучасні проблеми токсикології. — 2013. — Т. 55, № 1–2. — С. 32–37.
21. Karnaukova A.Yu., Reiznichenko L.S., Gruzina T.G. et al. Bismuth nanoparticles as antimicrobial substance in effective struggle with high pathogen microorganisms // Clusters and Nanostructured Materials (CNM-3): Proc. Int. Meeting (14–17 Oct. 2012, Uzhorod, Ukraine). — P. 170.
22. Reiznichenko L., Doroshenko A., Gruzina T. et al. Iron nanoparticles effectiveness for new antianemic preparations development // NANOCON-2013: Proc. 5th Int. Conf. (16–18 Oct. 2013, Brno, Czech Republic). — P. 556–560.
23. Чухров Ф.В. Коллоиды в земной коре. — М.: Изд-во АН СССР, 1955. — С. 671–675.
24. Перцов Н.В., Ульберг З.Р., Козан Б.С. и др. Механизм биогенного концентрирования металлов в шельфовых зонах дефицита наноса // Геохимия. — 1990. — № 1. — С. 112–116.
25. Овчаренко Ф.Д., Ульберг З.Р., Гарбара С.В. и др. Биогеохимическое формирование металлоносных зон в прибрежных тонкодисперсных осадках // ДАН УССР, Сер. Б. — 1985. — С. 44–48.
26. Овчаренко Ф.Д., Ульберг З.Р., Перцов Н.В., Козан Б.С. Механизмы биогенного концентрирования металлов в шельфовых зонах дефицита наносов // ДАН УССР, Сер. Б. — 1989. — № 1. — С. 19–22.
27. Baldi F., Kukhar V.P., Ulberg Z.R. Bioconversion and removal of metals and radionuclides // Perspectives in Bioremediation. Technologies for Environmental Improvement. NATO ASI Series. — 1997. — V. 19. — P. 75–90.

V.A. Prokopenko, I.G. Kovzun, Z.R. Ulberg

Інститут біоколоїдної хімії ім. Ф.Д. Овчаренка Національної академії наук України
бульвар Академіка Вернадського, 42, Київ, 03680, Україна

ТВОРЧИЙ ПОТЕНЦІАЛ НАУКОВОГО ВІДКРИТТЯ

У статті коротко висвітлено суть, теоретичне і практичне значення відкритого 30 років тому вченими-колоїдниками явища вибіркової гетерокоагуляції мінеральних колоїдних частинок з мікроорганізмами. Отримані вченими Інституту біоколоїдної хімії ім. Ф.Д. Овчаренка НАН України при його вивченні фундаментальні і прикладні результати лягли в основу новітніх наукових напрямів: біоколоїдної хімії, біогеохімії, колоїдних біотехнологій, а в їхніх рамках — біосинтезу нанорозмірних частинок металів і їх сполук, нанофармації, наномедицини і нановетеринарії, біогеотехнології, біоколоїдної екології.

V.A. Prokopenko, I.G. Kovzun, Z.R. Ulberg

Ovcharenko Institute of Biocolloidal Chemistry of National Academy of Sciences of Ukraine
42 Academician Vernadsky Blvd., Kyiv, 03680, Ukraine

THE CREATIVE POTENTIAL OF SCIENTIFIC DISCOVERY

In summary the article reveals the essence, theoretical and practical values of discovered by the colloid chemistry scientists 30 years ago the phenomenon of selective heterocoagulation of colloidal mineral particles with microorganisms. Fundamental and applied results obtained by scientists of Ovcharenko Institute of Biocolloidal Chemistry of NAS of Ukraine during studying of the discovery formed the basis of modern scientific trends: biocolloidal chemistry, biogeochemistry, colloidal biotechnology, and within them — biosynthesis of nanosized particles of metals and their compounds, nanopharmacy, nanomedicine and nanoveterinary, biogeotechnology, biocolloidal ecology.