

НОВОЕ В СОВРЕМЕННОМ РАЗВИТИИ НЕКОТОРЫХ ИДЕЙ В.И. ВЕРНАДСКОГО И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

© 2013 С.А. Остроумов*

Ключевые слова: биосфера, загрязнение, иммобилизация, химические элементы, биогенный материал, водная среда, наночастицы.

Инновации в науке об окружающей среде вносят вклад в научную основу экономически эффективных шагов для достижения экологической безопасности и рационального использования природных ресурсов. В статье изложены результаты исследований, которые могут быть использованы для разработки вопросов экологической безопасности и устойчивого использования природных ресурсов. Ряд химических элементов, имеющих большое значение в промышленности высоких технологий, изучались как потенциальные загрязнители окружающей среды. В экспериментах были получены новые данные по иммобилизации этих химических элементов биогенным материалом, которые проанализированы с использованием данных научной литературы. В результате автором сформулированы предложения по обновлению некоторых концепций В.И. Вернадского, которым сделан новаторский вклад в науки об окружающей среде. Область практического применения результатов исследования - научные основы обеспечения экологической безопасности промышленного производства и устойчивого использования природных ресурсов, в том числе редкоземельных элементов, необходимых для современной промышленности.

Введение

Данная статья посвящена вопросам развития научного наследия В.И. Вернадского и написана по материалам доклада, сделанного автором на академических чтениях памяти В.И. Вернадского в Самарском государственном экономическом университете 14 марта 2013 г. на заседании под председательством ректора СГЭУ профессора Г.Р. Хасаева.

В.И. Вернадский уделял значительное внимание приложению научных знаний к решению проблем устойчивого экономического развития России. Он был председателем Комиссии по изучению естественных производительных сил (КЕПС). Его работа в этой должности длилась значительный период времени: с 1915 г. - начала деятельности Комиссии по изучению естественных производительных сил - до 1930 г. Вернадский был ее бессменным руководителем.

Постоянное нарастание внимания к природным ресурсам, повышение их стоимости заставляют все больше интересоваться научной информацией о компонентах биосферы, которые выступают как природные ресурсы

с точки зрения экономики. Кроме того, современное развитие промышленности высокотехнологических продуктов вовлекает в производственные процессы большое количество химических элементов, в том числе редкоземельных. Эти элементы и технологические процессы неизбежно становятся новыми видами загрязнения окружающей среды и биосферы. Возникают новые задачи обезвреживания и детоксикации этих новых загрязнителей среды, что увеличивает интерес к природным биосферным процессам обезвреживания токсичных веществ.

В этой связи представляют интерес новые исследования, которые расширяют знания о природном потенциале биосферы и биогенных материалов для обезвреживания токсичных веществ.

Исследования В.И. Вернадского [1] положили начало новому этапу в исследованиях биогеохимии и геохимической среды [2-29]. Значительное внимание уделялось накоплению новых фактов о содержании химических элементов в компонентах биосферы, о химико-биотических взаимодействиях

* Остроумов Сергей Андреевич, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. E-mail: ar55@yandex.ru.

[3-31]. В последние годы все большее значение приобретает также накопление новых данных о токсичности тех или иных химических элементов и их соединений, что стало актуальным ввиду нарастания опасностей загрязнения окружающей среды (например, [5, 30, 32]).

В.И. Вернадский в своих работах поднял ряд принципиально важных вопросов об организации биосферы и геохимической среды и выдвинул идеи, надолго определившие направления научного поиска. Среди таких вопросов - биогенная миграция элементов [1].

Работами многих исследователей установлено, что биогенная миграция элементов [1-4] играет большую роль в формировании геохимической среды и элементного состава компонентов экосистем. Изучалась роль различных компонентов экосистем в миграции элементов, исследовался элементный состав биотических и абиотических компонентов окружающей среды [4, 5, 7-13]. Накоплены внушительные сведения о токсичности ряда химических элементов [4, 5, 10, 15]. Изучение количественных характеристик процессов и явлений, связанных с миграцией элементов, продолжает оставаться актуальным и связано с приоритетными вопросами загрязнения окружающей среды в современных условиях техногенеза [4, 19]. В предыдущих работах установлена способность биомассы макрофитов иммобилизовывать некоторые элементы [26]. Выявлена также способность биодетрита иммобилизовывать редкоземельные элементы [27]. Автором были проведены дополнительные исследования вопросов миграции химических элементов и сформулированы выводы о некоторых особенностях экологической и биогеохимической роли детрита и других видов биогенного материала [7-10]. Связывание химических элементов с мортмассой привлекло внимание в связи с новыми концепциями о типологии вещества в биосфере [7-10].

Цель проведенных опытов - продолжить работы в этом направлении и проверить гипотезу о том, способна ли мортмасса водных растений (макрофитов) *Myriophyllum aquaticum* иммобилизовывать химические элементы, находящиеся в водной среде, такие как палладий, скандий, титан, цирконий и др. Полученные в данном исследовании

результаты дали положительный результат и подтвердили справедливость проверяемой гипотезы, дополнили существующие знания о междисциплинарных проблемах биосферы, имеющих прикладное значение для устойчивого использования и сохранения природных ресурсов и экологической безопасности [33-45]. Факты, полученные в экспериментах автора, дополнительно поддерживают изложенные в [7-10] положения. Это позволяет использовать новые результаты для анализа вопроса о том, как продолжается развитие идей В.И. Вернадского в отношении указанных в начале статьи вопросов.

Экономическое значение и применение химических элементов, использованных в данном исследовании

Значение изученных элементов для экономики существенно. Примеры их применения даны ниже.

Церий (Ce) применяется в стекольной, керамической, нефтеперерабатывающей промышленности, металлургии, производстве осветительного оборудования, телевизоров, катализаторов, автомобилей; как добавка к сплавам, используемым в реактивных двигателях [46].

Европий (Eu) - один из самых активных и дорогих элементов-лантанидов. Европий применяется в качестве активатора для изготовления иттриевых люминофоров, как поглотитель нейтронов в ядерных реакторах, для изготовления лазерных стекол и кристаллов [47].

Индий (In) используется для производства полупроводниковых материалов; как яркий блестящий металл, формирующий тонкий защитный слой окисла (80-100 ангстрем), индий применяется в качестве декоративного отделочного покрытия из металла в бытовых электроприборах и отделке кузовов автомобилей; упрочняет некоторые металлы и сплавы; индий является поглотителем нейтронов; в производстве жидкокристаллических экранов; для покрытия зеркал, в частности, автомобильных фар; как люминофоры; в дизельных двигателях; для создания чрезвычайно стабильных во времени источников тока (аккумуляторов) высокой удельной энергоемкости; для управления атомными реакторами [48, 49].

Палладий (Pd) - драгоценный металл, используется в ювелирном деле, а также в катализаторах в нефтеперерабатывающей и автомобильной промышленности. Хлорид палладия применяется как катализатор и для обнаружения следов угарного газа в воздухе или газовых смесей, а также для глубокой очистки водорода. Палладий и палладиевые сплавы - в электронике для покрытий, устойчивых к воздействию сульфидов. Палладий используется в производстве прецизионных резисторов высокой точности (авиационно-космической техники). Его применение обусловлено высокой износоустойчивостью палладия. Палладий входит в композиционный состав керамических конденсаторов. Такие конденсаторы отличаются высокими показателями по температурной стабильности и емкости в радиоаппаратуре. Экспорт палладия в мире в 2007 г. составил 267 т (в том числе Россия - 141 т, Южная Африка - 86 т, США и Канада - 31 т, другие страны - 9 т) [50].

Рутений (Ru) - драгоценный металл. Применяется в электротехнике, например, в производстве термопар (рутениевые термопары фиксируют самые высокие температуры) и катализаторов. Из рутения изготавливают контакты для радиоаппаратуры и топливные элементы для космической промышленности [51].

Скандий (Sc) входит в число пяти самых дорогих металлов, используемых для высоких технологий. В металлургии добавление незначительного количества скандия к сплавам из алюминия и магния улучшает их свойства по текучести, сопротивлению, устойчивости к окислению и т.д.; оксиды скандия используются для производства оптоэлектронных стекол; применяется для сплавов с алюминием, без которых сегодня не обходится ни одна профессиональная спортивная экипировка, где существует необходимость в высокопрочных материалах; сплавы, содержащие скандий, активно внедряются в авиационно-ракетостроении; используется для изготовления так называемых сверхтвердых материалов; микроэлектроника использует скандий для производства систем хранения данных с высокой скоростью обмена информацией; ионид скандия в незначительных количествах добавляют в ртутно-газовые лампы, что по-

зволяет приблизить данные источники искусственного света к естественному солнечному; изотопы радиоактивного типа используются как метки в нефтеперерабатывающей промышленности, для лечения раковых опухолей в медицине и контроля некоторых металлургических процессов; скандий входит в состав лазерных материалов и материалов для солнечных батарей; хромид скандия используется как материал для изготовления электродов для МГД-генераторов и во многих других областях передовых технологий [52].

Селен (Se) используется в преобразовательной технике в выпрямительных полупроводниковых диодах, а также для фотоэлектрических приборов (гексагональный), электрофотографических копировальных устройств (аморфный селен), синтеза различных селенидов, в качестве люминофоров в телевидении, оптических и сигнальных приборах, терморезисторах и т.п. Селен широко применяется для обесцвечивания зеленого стекла и получения рубиновых стекол; в металлургии - для придания литой стали мелкозернистой структуры, улучшения механических свойств нержавеющей сталей; в химической промышленности - в качестве катализатора. Селен используется также в фармацевтической промышленности и других отраслях [53].

Титан (Ti) по использованию в качестве конструкционного материала находится на 4-м месте после Al, Fe и Mg. Аллюминиды титана являются очень стойкими к окислению и жаропрочными, что определило их использование в авиации и автомобилестроении в качестве конструкционных материалов. Используется в пищевой промышленности и восстановительной хирургии. Титан и его сплавы широко применяются в технике ввиду своей высокой механической прочности, которая сохраняется при высоких температурах, коррозионной стойкости, жаропрочности, удельной прочности, малой плотности и прочих полезных свойств. Титановые сплавы играют большую роль в авиационной технике: из них изготавливают обшивку, детали крепления, силовой набор, детали шасси, различные агрегаты. Эти сплавы применяются в конструкциях авиационных реактивных двигателей, в ракетостроении. Из титановых сплавов производят диски и лопатки компрессора, детали воздухозаборника и направляю-

щего аппарата, крепеж. Титан благодаря исключительно высокому сопротивлению коррозии незаменим в химической промышленности и судостроении. Его применяют при изготовлении компрессоров и насосов для перекачки таких агрессивных сред, как серная и соляная кислота и их соли, трубопроводов, запорной арматуры, автоклав, различного рода емкостей, фильтров и т.п. Только титан обладает коррозионной стойкостью в таких средах, как влажный хлор, водные и кислые растворы хлора, поэтому из титана изготавливают оборудование для хлорной промышленности. Из титана делают теплообменники, работающие в коррозионно активных средах, например, в азотной кислоте. В судостроении титан используется для изготовления гребных винтов, обшивки морских судов. На титан и его сплавы не налипают водные моллюски (ракушки), которые тормозят движение судна. Соединения титана получили широкое применение в различных отраслях промышленности. Карбид титана обладает высокой твердостью и применяется в производстве режущих инструментов и абразивных материалов. Белый диоксид титана (TiO_2) используется в красках (например, титановые белила), а также при производстве бумаги и пластика. Титанорганические соединения применяются в качестве катализатора и отвердителя в химической и лакокрасочной промышленности. Неорганические соединения титана - в химической, электронной, стекловолоконной промышленности в качестве добавки. Диборид титана - важный компонент сверхтвердых материалов для обработки металлов. Нитрид титана применяется для покрытия инструментов [54].

Уран (U) применяется в производстве ядерного топлива для АЭС. Есть и другие разнообразные применения. Например, для окраски стекол в красный или зеленый цвет или придания им красивого зеленовато-желтого оттенка. Урановые стекла используют в электротехнике в вакуумных конденсаторах. Уран также применяется в нитях ламп, в кожевенной и деревообрабатывающей промышленности в составе красителей. Соли урана используют в растворах протравы и морения шерсти и кожи. До 1980-х гг. уран широко применяли дантисты, включая его в состав керамики, что позволяло добиться естествен-

ного цвета и вызвать оригинальную флуоресценцию зубных протезов и коронок, т.е. сделать улыбку ярче. Уранаты типа $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$ ("желтый уранил") нашли применение в качестве пигментов для керамических глазурей и эмалей (окрашивают в цвета желтый, зеленый и черный, в зависимости от степени окисления). $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$ используется также как желтая краска в живописи. Обедненный уран - при изготовлении самолетных противовесов и противорадиационных экранов медицинской радиотерапевтической аппаратуры. Из обедненного урана изготавливают транспортные контейнеры для перевозки радиоактивных грузов и ядерных отходов, а также изделия биологической защиты (например, защитные экраны). С точки зрения поглощения гамма-излучения, уран в 5 раз эффективнее свинца, что позволяет существенно снизить толщину защитных экранов и уменьшить объем контейнеров, предназначенных для транспортировки радионуклидов. Бетон на основе оксида обедненного урана используют вместо гравия для создания сухих хранилищ радиоактивных отходов. Обедненный уран используется и как балластная масса в аэрокосмических применениях, таких как рулевые поверхности летательных аппаратов. Этот материал используется в высокоскоростных роторах гироскопов, больших маховиках, как балласт в космических спускаемых аппаратах и гоночных яхтах, при бурении нефтяных скважин. Фосфорные удобрения содержат довольно большие количества урана [55].

Цирконий (Zr). В промышленности двуокись циркония первыми применили силикатные производства и металлургия. Еще в начале прошлого века были изготовлены цирконовые огнеупоры, которые служат в 3 раза дольше обычных. Огнеупоры, содержащие добавку ZrO_2 , позволяют провести до 1200 плавков стали без ремонта печи. Цирконовые кирпичи потеснили шамот (широко распространенный огнеупорный материал на основе глины или каолина) при выплавке металлического алюминия. Значительные количества двуокиси циркония потребляют производства керамики, фарфора и стекла. Цирконий добавляют в сталь. Если образец стали, не легированной цирконием, разрушается при нагрузке около 900 кг, то сталь той же рецептуры, но с добавкой всего лишь 0,1% цир-

кония выдерживает нагрузку уже в 1600 кг. Значительные количества циркония потребляет цветная металлургия. Незначительные добавки циркония повышают теплостойкость алюминиевых сплавов, а многокомпонентные магниевые сплавы с добавкой циркония становятся более коррозионно-устойчивыми. Цирконий повышает стойкость титана к действию кислот. Коррозионная стойкость сплава титана с 14% Zr в 5%-ной соляной кислоте при 100°C в 70 раз больше, чем у технически чистого титана. Добавка 5% циркония удваивает твердость молибдена. Высокая коррозионная стойкость и относительная тугоплавкость позволили использовать цирконий во многих отраслях промышленности. Среди изделий из металлического циркония - фильтры для производства искусственного волокна, детали горячей арматуры, лабораторное и медицинское оборудование, катализаторы. Цирконий используется в ядерной энергетике. На первой американской атомной подводной лодке "Наутилус" был установлен реактор из циркония. Позже выяснилось, что выгоднее делать из циркония оболочки топливных элементов, а не стационарные детали активной зоны реактора [56].

Методика проведения экспериментов и измерений

В опытах инкубацию образцов мортмассы растений *Myriophyllum aquaticum* проводили в водных системах объемом 1 л. Использовали воду, очищенную в системе Barnstead, Nanopure Ultrapure Water System. Характеристика воды - 18 МΩ см.

Добавление элементов в водную среду произведено до создания концентраций: палладий 0,5 мг/л, скандий 0,5 мг/л, титан, цирконий 1 мг/л. Были добавлены наночастицы окиси титана (TiO₂) в концентрации 20 мг/л.

Для проведения измерений в опытах использовали следующие реактивы.

Стандартный раствор палладия: Plasma Emission Standard, Spectrum®; 999,2 ppm (999,2 мкг в 1 мл) в 20% HCl. Производитель - Spectrum Chemical Mfg Corp., Garden, CA 90248, США.

Стандартный раствор скандия: Plasma Emission Standard, Spectrum®; 1000,2 ppm (1000,2 мкг в 1 мл) в 5% азотной кислоте. Spectrum Chemical Mfg Corp., США.

Стандартный раствор циркония: 1000 ppm (1000 мкг в 1 мл), в 10% HCl. Spex Industries, Inc.; Edison, NJ 08820, США.

Сходным образом использовались стандартные растворы других химических элементов.

Наночастицы TiO₂: диаметр 50 нм, площадь поверхности 325 м²/г. Производитель - Zhejiang Hongsheng Material Technology Co., Китай.

Длительность инкубации при 20°C составляла 24 ч. Измерения проведены методом ICP-OES. Измерения выполнены М.Е. Джонсон, Дж. Тайсоном (М.Е. Джонсон, Дж. Тайсон, С.А. Остроумов, Б. Шин, статья в подготовке).

Результаты проведенных опытов и измерений

Проведенные опыты показали следующее. После инкубации концентрация изученных элементов в мортмассе *Myriophyllum aquaticum* нарастала, о чем свидетельствуют данные, приведенные в табл. 1.

Цифры, приведенные в табл. 1, показывают, что концентрация палладия в контрольном образце мортмассы растений *Myriophyllum aquaticum* (который инкубировали в аналогичной водной системе, но без добавления в водную среду палладия) составляла 1,89 ± 1,27 мкг/кг. После инкубации в водной среде, содержащей палладий, содержание этого элемента в образце мортмассы *Myriophyllum aquaticum* выросло в 5 раз и составило 9,59 ± 1,09 мкг/кг.

Сходным образом, в результате инкубации выросло содержание скандия. В контрольном образце содержание скандия было на уровне 0,09 ± 0,002 мкг/кг. После инкубации в водной среде, содержащей скандий, его содержание в мортмассе растений *Myriophyllum aquaticum* выросло почти в 200 раз и составило 18,85 ± 2,19 мкг/кг.

Уровень концентраций титана в контрольных образцах мортмассы составил в среднем 0,11 ± 0,03 мкг/кг. После инкубации в водной среде с добавленным титаном содержание титана в мортмассе растений *Myriophyllum aquaticum* выросло более чем в 500 раз и составило 59,11 ± 33,98 мкг/кг.

Содержание циркония в контрольной мортмассе составляло 0,19 ± 0,15 мкг/кг. После инкубации в водной среде с добавленным цирконием содержание этого элемен-

Таблица 1

Содержание элементов в мортмассе водного макрофита *Myriophyllum aquaticum*

Элементы	После добавления элементов в водную фазу и последующей инкубации, средняя концентрация	St. Dev.	Контроль (без добавления, элементов в водную среду), средняя концентрация	St. Dev.
Ce Церий, мкг/кг	60,00	24,37	Ниже порога обнаружения	-
Eu Европий, мкг/кг	51,46	18,95	Ниже порога обнаружения	-
In Индий, мкг/кг	19,59	5,97	Ниже порога обнаружения	-
Pd Палладий, мкг/кг	9,59	1,09	1,89	1,27
Ru Рутений, мкг/кг	5,60	2,05	Ниже порога обнаружения	-
Sc Скандий, мкг/кг	18,85	2,19	0,09	0,002
Se Селен, мкг/кг	12,56	7,94	Ниже порога обнаружения	-
Ti Титан, мг/кг	59,11	33,98	0,11	0,03
U Уран, мкг/кг	22,67	6,02	Ниже порога обнаружения	-
Zr Цирконий, мг/кг	15,48	9,01	0,19	0,15

Примечание: St. Dev. - стандартное отклонение (standard deviation). Измерения сделаны М.Е. Джонсон, Дж. Тайсоном (М.Е. Джонсон, Дж. Тайсон, С.А. Остроумов, Б. Шин, статья в подготовке). Эксперимент, включая разработку идеи опыта, дизайн опыта, создание систем для инкубации, инкубацию, отбор и подготовку образцов, проведен автором.

та в мортмассе растений *Myriophyllum aquaticum* выросло почти на 2 порядка и составило $15,48 \pm 9,1$ мг/кг.

Измерение концентраций других элементов также выявило существенное увеличение их содержания в мортмассе после соответствующей инкубации. В контрольных образцах мортмассы *Myriophyllum aquaticum* содержание церия (Ce), европия (Eu), индия (In), рутения (Ru), селена (Se) и урана (U) было ниже предела обнаружения. После соответствующей инкубации в водной среде, в которую добавили эти элементы, их содержание в мортмассе *Myriophyllum aquaticum* уверенно изменялось и составило значения, приведенные в табл. 1.

Новые данные о содержании ряда элементов в образцах растительного происхождения согласуются с данными литературы об измерениях концентрации указанных элементов в растениях (табл. 2).

В числе изученных в данной работе элементов был титан, который вносился в водную среду в форме наночастиц окиси титана.

Выявленные в данной работе новые факты об иммобилизации титана мортмассой макрофита *Myriophyllum aquaticum* согласуются с опубликованными ранее сведениями о связывании органическим веществом ряда видов наночастиц [25].

При иммобилизации химических элементов мортмассой *Myriophyllum aquaticum*, ко-

торая находилась в водной среде, происходит соответствующее снижение концентрации этих элементов в водной фазе. Таким образом, в итоге вносился вклад в очищение водной среды от химических соответствующих элементов. Тем самым изучаемое явление вписывается в процессы самоочищения воды, охарактеризованные в публикациях [6-10, 18-25]. Подчеркнем, что самоочищение воды от наночастиц имеет особенно важное значение, поскольку доказана токсичность ряда видов наночастиц (например, [28, 30]).

Актуальность вопроса о судьбе изученных элементов в окружающей среде связана с их практическим использованием в промышленности и производстве различных изделий и материалов, что неизбежно создает новые виды загрязнения окружающей среды, в том числе водных объектов.

Полученные данные и результаты их анализа могут быть суммированы следующим образом.

1. Полученные результаты на новых примерах (мортмасса широко распространеного вида водных макрофитов *Myriophyllum aquaticum*, химические элементы: палладий, скандий, цирконий, титан, церий, европий, индий, рутений, селен и уран) подтверждают, что мортмасса водных растений, входящая в состав природных экосистем, наряду с другими компонентами, может нести функ-

**Результаты измерения содержания некоторых из изученных элементов
в образцах растительного материала (данные различных авторов)**

Элементы	Образцы материала растений	Концентрации На сухой вес	Ссылки
Палладий, скандий, цирконий, титан	<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Содержание элементов в мортмассе растений <i>Myriophyllum aquaticum</i> - см. выше текст данной статьи	Данное исследование
Палладий Pd	<i>Pinus radiata</i>	15 ± 15 ppb в золе. Зола составляла 3% от сухого веса образцов фитомассы	[17]
Скандий Sc	Различные виды растений	Из исследованных образцов многих видов растений лишь в 3% содержание было выше предела обнаружения. Обнаруженные концентрации были на уровне нескольких мкг/кг (ppb)	[29]
Титан Ti	<i>Diandrostachia chrysotrix</i> , <i>Erythroxylum</i> sp., <i>Leandra aurea</i>	3 - 9,5 мг/кг	[13]
Цирконий Zr	Томаты, корни <i>Lycopersicon esculentum</i> L.	2,60 - 7,96 мг/кг (растения томатов выращивали на почве); 2,84 мг/кг (растения выращивали на гидропонике)	[14]
Цирконий Zr	Горох, корни <i>Pisum sativum</i>	1,08 - 1,15 (горох выращивали на почве); 0,58 (гидропоника)	[14]

цию депо, или места, где происходит иммобилизация и секвестр химических элементов.

2. Новые факты, полученные в опытах, согласуются с теоретическими представлениями о полифункциональной роли биоты в самоочищении воды [6, 20-24] и о типологии вещества в биосфере [7-10]. Изложенные новые факты поддерживают выводы, сделанные в предыдущих статьях [33-38], подчеркивают актуальность исследований в области экотоксикологии и химико-биотических взаимодействий с участием токсичных веществ [5, 39-44].

Использование новых результатов и данных научной литературы в связи с развитием идей В.И. Вернадского

Представляет интерес заново вернуться к анализу тенденций в современном развитии некоторых идей В.И. Вернадского. Новые факты о химико-биотических взаимодействиях в биосфере суммированы в табл. 1-5 в публикации [9] и табл. 1 в данной работе. Новые элементы теоретических положений суммированы в табл. 6 в публикации [9] и в выводах публикаций [7-10].

Проведенная автором экспериментальная работа и анализ фактов позволяют сделать следующие заключительные замечания и выводы.

1. Новые результаты расширяют научную основу для более полного анализа и оценки

экономической ценности полезных функций экосистем по очищению природной среды в условиях антропогенного (техногенного) загрязнения. Это существенно для решения вопросов загрязнения водной среды и почв. В конкретных экспериментах автора исследовались тяжелые металлы и редкоземельные элементы, которые становятся загрязнителями среды при развитии многих отраслей экономики. Борьба с этим загрязнением требует все более значительных затрат. Именно в связи с этим последующие выводы и замечания имеют отношение и к развитию экономики.

2. Положение В.И. Вернадского о роли живого вещества как геологической силы, влияющей на лик Земли. Анализируя современное развитие данной концепции, можно отметить следующее: это положение детализировано, подтверждено и усилено на новом эмпирическом материале, в том числе фактами о водных экосистемах и организмах, полученных автором и систематизированных в теории самоочищения воды [6, 20, 21, 23, 24, 35-38]. В частности, это положение усилено новыми фактами в области водной экологии и их обобщением в теории полифункциональной роли организмов в самоочищении воды [6, 20, 21, 23, 24, 35-38].

3. Концепция В.И. Вернадского - биогенная миграция элементов. Предложенный

анализ с учетом экспериментов автора и данных литературы ведет к *дополнению* этой концепции. Вывод из проведенной работы следующий. Автор прогнозирует, что будет становиться распространенной такая формулировка: биогенная миграция и *иммобилизация* элементов. Новая формулировка, по-видимому, более глубоко вскрывает особенности поведения химических элементов, в том числе токсичных, в окружающей среде. Использование этих особенностей может привести к созданию высокоэффективных и экономичных технологий обезвреживания токсичных отходов и загрязняющих среду веществ, образуемых в современном промышленном производстве [10].

4. Концепция В.И. Вернадского - *типология вещества в биосфере*, которую Вернадский излагал в нескольких вариантах, не совпадающих друг с другом. Предложенный анализ с учетом опытов автора (и участников наших опытов и измерений) говорит о том, что проведенная работа и продолжающиеся исследования ведут к *дополнению* последнего варианта типологии, принятой в последних итоговых публикациях Вернадского (подробнее в разд. 4 работы [9]). Автор прогнозирует, что будет распространяться новая типология вещества, в соответствии с которой выделяется живое вещество, косное вещество и третий тип вещества (экс-живое вещество или бывшее живое вещество) [7-10]. Вопросы типологии вещества впоследствии могут оказаться существенными для дальнейшего развития типологии и классификации природных ресурсов.

5. Концепция В.И. Вернадского - *аппарат биосферы*. Вопросы регуляции аппарата В.И. Вернадским не были рассмотрены. Автор предлагает учитывать роль природных химических веществ, продуцируемых организмами, как экологических хеморегуляторов. Концепция экологических хеморегуляторов предложена и обоснована им в книге "Введение в биохимическую экологию" [44]. Эти вопросы важны для понимания факторов экологической стабильности и, тем самым, для поддержания экологической безопасности и устойчивого использования природных ресурсов.

6. Практическое использование новых результатов способствует проводить следующее: более объективную и точную оценку

антропогенных воздействий на окружающую среду, более эффективный мониторинг химического загрязнения, совершенствование прогнозирования последствий загрязнения среды, укрепление научной базы технологий обезвреживания токсичных отходов промышленного производства, очищения водной среды и предотвращения загрязнения, сохранение качества воды и поддержание безопасности источников водоснабжения. Высокая стоимость проведения природоохранной деятельности придает значительную важность повышению эффективности соответствующих работ и мероприятий.

Благодарность. Измерения выполнены Моникой Е. Джонсон, Дж. Тайсоном при организационной поддержке Б. Шина (Университет Массачусетса, США). Работа поддержана грантом Программы Фулбрайта.

1. *Вернадский В.И.* Биосфера. М., 2001.
2. *Добровольский Г.В.* К 80-летию выхода в свет книги В.И. Вернадского "Биосфера". Развитие некоторых важных разделов учения о биосфере // Эколог. химия. 2007. Т. 16 (3). С. 135-143.
3. *Ермаков В.В.* О книге "Гидробионты в самоочищении вод и биогенной миграции элементов" // Вода: химия и экология. 2009. □ 8. С. 25-29.
4. *Ермаков В.В., Тютиков С.Ф.* Геохимическая экология животных. М., 2008.
5. *Моисеев Т.И.* Водная экотоксикология: теоретические и прикладные аспекты. М., 2009.
6. *Остроумов С.А.* О биотическом самоочищении водных экосистем. Элементы теории // Доклады академии наук. 2004. Т. 396. □ 1. С. 136-141.
7. *Остроумов С.А.* Роль организмов в регуляции миграции химических элементов и перемещений вещества в экосистемах // Экология пром. производства. 2010. □ 3. С. 26-31.
8. *Остроумов С.А.* Новая типология вещества и роль ex-living matter (ELM) в биосфере [New typology of matter and the role of ex-living matter (ELM)] // Ecological Studies, Hazards, Solutions. 2010. Vol. 16. P. 62-65.
9. *Остроумов С.А.* Химико-биотические взаимодействия и новое в учении о биосфере В.И. Вернадского. М., 2013.
10. *Остроумов С.А.* Обезвреживание токсичных элементов в биосфере и совершенствование экологического мониторинга // Экология пром. производства. 2012. □ 1. С. 26-33.
11. *Остроумов С.А., Демина Л.Л.* Экологическая биогеохимия и элементы (мышьяк, кобальт,

- железо, марганец, цинк, медь, кадмий, хром) в цистозире и биогенном детрите в морской модельной экосистеме: определение методом атомно-абсорбционной спектроскопии // Эколог. системы и приборы. 2009. □ 9. С. 42-45.
12. *Ostroumov S.A., Демина Л.Л.* Тяжелые металлы (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Cr) в биогенном детрите микрокосмов с водными организмами // Экология пром. производства. 2010. □ 2. С. 53-56.
13. *Ceccantini G., Figueiredo A.M.G., Sondag F., Soubies F.* Rare earth elements and titanium in plants, soils and groundwaters in the alkaline-ultramafic complex of Salitre, MG, Brazil // Contaminated Soils. 3rd International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements. Paris (France), May 15-19, 1995. URL: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_51-52/010015618.pdf.
14. *Ferrand E., Benedetti M.F., Leclerc-Cessac E., Dumat C.* Study of the mechanisms involved in the rhizosphere for the absorption of zirconium by vegetables // Difpolmine Conference, 12-14 Dec., 2006, Le Corum - Montpellier, France.
15. *Ha N.T.H., Sakakibara M., Sano S., Nhuan M.T.* Uptake of metals and metalloids by plants growing in a lead-zinc mine area, Northern Vietnam // J. of Hazardous Materials. 2011. Vol. 186. P. 1384-1391.
16. *Johnson M.E., Ostroumov S.A., Tyson J.F., Xing B.* Study of the interactions between *Elodea canadensis* and CuO nanoparticles // Russian J. of General Chemistry. 2011. Vol. 81. P. 2688-2693.
17. *Kothny E.L.* Palladium in plant ash // Plant and Soil. 1979. Vol. 53. P. 547-550.
18. *Ostroumov S.A.* The functions of living substances in the biosphere // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2003. Vol. 73 (2). P. 164-169.
19. *Ostroumov S.A., Dodson S., Hamilton D., Peterson S., Wetzel R.G.* Medium-term and long-term priorities in ecological studies // Rivista di Biologia - Biology Forum. 2003. Vol. 96. P. 327-332.
20. *Ostroumov S.A.* Aquatic ecosystem as a bioreactor: water purification and some other functions // Rivista di Biologia - Biology Forum. 2004. Vol. 97. P. 67-78.
21. *Ostroumov S.A.* On the multifunctional role of the biota in the self-purification of aquatic ecosystems. // Russian J. of Ecology. 2005. Vol. 36 (6). P. 414-420.
22. *Ostroumov S.A.* Biological Effects of Surfactants. Boca Raton, L., N.Y., 2006.
23. *Ostroumov S.A.* Basics of the molecular-ecological mechanism of water quality formation and water self-purification // Contemporary Problems of Ecology. 2008. Vol. 1 (1). P. 147-152.
24. *Ostroumov S.A.* Biocontrol of water quality: Multifunctional role of biota in water self-purification // Russian J. of General Chemistry. 2010. Vol. 80 (13). P. 2754-2761.
25. *Ostroumov S.A.* Studying the fate of pollutants in the environment: binding and immobilization of nanoparticles and chemical elements // Ecologica. 2011. Vol. 18. □ 62. P. 129-132.
26. *Ostroumov S.A., Kolesov G.M.* The aquatic macrophyte *Ceratophyllum demersum* immobilizes Au nanoparticles after their addition to water // Doklady Biological Sciences. 2010. Vol. 431. P. 124-127.
27. *Ostroumov S.A., Kolesov G.M.* The role of biodetritus in accumulation of elements in aquatic ecosystems // Contemporary Problems of Ecology. 2010. Vol. 3 (4). P. 369-373.
28. *Ostroumov S.A., Xing B.* Effects of three types of metal oxide nanoparticles (TiO₂, CuO, Al₂O₃) on the seedlings of the higher plant *Lens culinaris* // Ecologica. 2012. Vol. 19 (65). P. 10-14.
29. Scandium. Chemical properties of scandium. Health effects of scandium. Environmental effects of scandium. URL: <http://www.lenntech.com/periodic/elements/sc.htm>.
30. *Suetina I.A., Podchernyaeva R.Ya., Gushina E.A., Lopatina O.A., Poklonov V.A., Ostroumov S.A.* Using cell technologies to assess the toxicity of nanoparticles of metal oxides // Pharmaceutical and Medical Biotechnology. Proceedings of the International scientific conference, Moscow, March 20-22, 2012 / JSC Expo-Biochem-Technologies, D.I. Mendeleev University of Chemistry and Technology. Moscow, 2012. P. 135-136.
31. *Ермаков В.В., Карпова Е.А., Корж В.Д., Остроумов С.А.* Инновационные аспекты биогеохимии. М., 2012.
32. *Stepanova L.I., Glaser V.M., Savinova T.I., Kotelevtsev S.V., Savva D.* Accumulation of mutagenic xenobiotics in fresh water (Lake Baikal) and marine (Hornoya Island) ecosystems // Ecotoxicology. 1999. Vol. 8. □ 2. P. 83-96.
33. *Johnson M.E., Ostroumov S.A., Tyson J.F., Xing B.* Measuring the concentrations of elements including toxic metals in phytomass after incubation of aquatic macrophytes with nanoparticles of metal oxides // Fundamental and Innovative Aspects of Biogeochemistry. Materials VII Biogeochemical School, Sept. 12-15, 2011 / V.I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences. Moscow, 2011. P. 66-69.
34. *Johnson M.E., Ostroumov S.A., Tyson J.F., Xing B.* On the biogeochemistry and geochemical ecology of nanotechnology products: interactions of metal oxide nanoparticles with macrophytes and plant-derived materials // Problems of Biogeochemistry and Geochemical Ecology. 2011. □ 17. P. 136-148.
35. *Ostroumov S.A.* Inhibitory analysis of top-down control: new keys to studying eutrophication, algal blooms, and water self-purification // Hydrobiologia. 2002. Vol. 469. P. 117-129.

36. *Ostroumov S.A.* Polyfunctional role of biodiversity in processes leading to water purification: current conceptualizations and concluding remarks // *Hydrobiologia*. 2002. Vol. 469. P. 203-204.
37. *Ostroumov S.A.* Some aspects of water filtering activity of filter-feeders // *Hydrobiologia*. 2005. Vol. 542. P. 275-286.
38. *Ostroumov S.A., Widdows J.* Inhibition of mussel suspension feeding by surfactants of three classes // *Hydrobiologia*. 2006. Vol. 556. P. 381-386.
39. *Котелевцев С.В.* Мутагенные и канцерогенные соединения в окружающей среде: возможность контроля и потенциальные опасности // *Биозащита и биобезопасность*. 2010. □ 1. С. 40-49.
40. *Котелевцев С.В., Нагдалиев Ф.Ф., Садчиков А.П.* Биотестирование и биоиндикация при экологическом анализе окружающей среды. М., 2011.
41. *Котелевцев С.В., Маторин Д.Н., Садчиков А.П.* Эколого-токсикологический анализ растительных сообществ в водных экосистемах. М., 2012.
42. *Ермаков В.В.* Новые исследования взаимодействий химических веществ и организмов: на стыке экологических наук и биогеохимии // *Успехи наук о жизни*. 2012. □ 4. С. 78-81.
43. *Абакумов В.А.* Новое в изучении современных проблем наук об окружающей среде и экологии, включая исследования водных экосистем и организмов // *Успехи наук о жизни*. 2012. □ 5. С. 121-126.
44. *Остроумов С.А.* Введение в биохимическую экологию. М., 1986.
45. *Whitehead A., Anderson S.L., Kuivila K.M., Orlando J.L., Kotelevtsev S.* Genotoxicity in native fish associated with agricultural runoff events // *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2004. Vol. 23. □ 12. P. 2868-2877.
46. На мировом рынке цезия. URL: http://www.rusimpex.ru/Content/Economics/Conjuncture/00_11008.htm.
47. Европий. URL: <http://www.periodictable.ru/063Eu/Eu.html>.
48. Индий индий (In) высокочистый. URL: <http://www.ostec-materials.ru/materials/indium-indiy-in-vysokochistyuy.php>.
49. Индий. URL: <http://edu.glavsprav.ru/info/in>.
50. Палладий: стоимость, котировки, прогноз и технический анализ. URL: <http://analizrynka.ru/page/palladiy.html>.
51. Рутений. URL: <http://www.brilliant-info.ru/ruthenium.html>.
52. Пять самых дорогих металлов на Земле, используемых в мире инновационных и высоких технологий. URL: <http://techjournal.info/top-rejtingi/pyat-samyx-dorogix-metallov-na-zemle-ispolzuemyx-v-mire-innovacionnyx-i-vysokix-texnologij.html>.
53. Селен. URL: <http://chem100.ru/elem.php?n=34>.
54. Титан. URL: <http://www.metotech.ru/titan-opisanie.htm>.
55. Применение урана. URL: <http://profbeckman.narod.ru/Uran.files/Glava9.pdf>.
56. Применение циркония. URL: <http://specmetal.ru/primenenie-tsirkoniya>.

Поступила в редакцию 04.03.2013 г.