

УДК 910 : 911

© В. А. РУМЯНЦЕВ, Л. Н. КРЮКОВ

«ЦВЕТЕНИЕ» ВОДЫ — УГРОЗА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Вода — одно из самых распространенных веществ в окружающем мире, ей принадлежит ведущая роль в геологической истории Земли и без нее просто невозможно существование живых организмов. Под действием солнечного излучения, температуры, давления, растворенных ионов, электромагнитных полей и других факторов вода меняет свой состав, строение, активность и со временем определяет облик планеты. О цикличности и направлениях этого процесса во времени за прошедшие ~400 тыс. лет можно судить по результатам многолетних исследований определения содержания изотопов кислорода (^{18}O) и водорода (D), основных парниковых газов (диоксида углерода и метана) и атмосферной пыли в толще льдов Антарктиды [13, с. 3].

Одним из ярких проявлений климатических изменений и антропогенного влияния на окружающую среду служит «цветение» или изменение окраски природной воды. «Цветение» воды обусловлено наличием в протоплазме клеток цианобактерий и водорослей пигментов — зеленого хлорофилла, желто-оранжевых каротиноидов, синего фикоцианина и красного фикоэритрина. В зависимости от интенсивности солнечной радиации, температуры и содержания солей в воде меняется палитра перечисленных пигментов и природная вода становится либо сине-зеленой, либо желтоватой, буроватой и даже красной, фиолетовой и черной.

Например, на рубеже XX в. стало общеизвестно о «зеленеющих» просторах Берингова моря, о «красных» приливах у берегов Калифорнии и о «черных» водах Флоридского залива. Жарким летом 2010 г. в Балтийском море наблюдали разноцветный «ковер» протяженностью от берегов Финляндии до немецких островов Рюген и Узедом (1500 на 200 км). В этом же году было впервые обнаружено массовое размножение цианобактерий *Nodularia* в Одесском заливе Черного моря в пределах 12-километровой прибрежной зоны [1, с. 152]. Одновременно без резкого подъема концентрации биогенных элементов в водохранилищах средней Волги было зафиксировано сильное сине-зеленое «цветение», вызванное цианобактериями *Microcystis* и *Oscillatoria*. По сравнению с обычным термическим режимом Горьковского и Чебоксарского водохранилищ содержание хлорофилла и первичная продукция фитопланктона в воде увеличились более чем в 3 раза [12, с. 133].

Между тем безобидное на первый взгляд «цветение» природной воды в половине случаев сопряжено с серьезными экологическими угрозами. Доминирование в природной воде токсигенных видов цианобактерий (синезеленых водорослей) сопровождается образованием многочисленных биологически активных веществ, включая особо опасные канцерогенные микроцистины и нодулярины, нейротоксичные анатоксины и сакситоксины [5, с. 3]. В сухую и жаркую погоду везде, и даже в колодцах, за счет интенсивного размножения цианобактерий происходит повышение значений водородного показателя (рН) воды. В щелочной среде возникают на редкость благоприятные условия для развития вирусов полиомиелита, холерного вибриона *Vibrio cholerae* и размножения других возбудителей болезней человека [7, с. 256]. К примеру, цианобактерии в пресных водоемах образуют симбиозы с патогенными микроорганизмами *Legionella pneumophila*, которые вызывают у человека острое инфекционное заболевание — легионеллез с летальностью до 20 % («болезнь легионеров», питсбургская пневмония, понтиакская лихорадка, лихорадка форта Брэгг) [22, с. 249].

Относительно токсинов цианобактерий известно, что ядовитость некоторых цианотоксинов превосходит токсичность уничтожаемых в настоящее время боевых отравляющих веществ. При длительном поступлении микроцистинов и нодуляринов даже в сверхмалых концентрациях с питьевой водой развивается первичный рак печени. Противоядий этим токсинам до сих пор не найдено. Микроцистины и нодулярины относят к «факторам быстрой смерти» (гибель лабораторных животных в течение 1—4 ч); анатоксины и сакситоксины — к «факторам очень быстрой смерти» (гибель в течение 2—30 мин). Ядовитость микроцистина-LR близка к токсичности термостабильного токсина бледной поганки. Микроцистины и нодулярины не распадаются даже после кипячения и в затененных местах водоемов сохраняются годами. Всемирной организацией здравоохранения установлена предельно допустимая концентрация микроцистина-LR в питьевой воде на уровне не более 0.001 мг/л. В случаях превышения указанной концентрации рекомендуется найти альтернативный источник воды.

Некоторые из цианотоксинов (сакситоксины) сопоставимы по уровню острой токсичности с тетродотоксином, ядами кобры и гремучей змеи. Вместе с тем по масштабам распространения и суммарной биомассе эти токсигенные прокариоты являются лидерами среди ядовитых обитателей планеты. Они распространены всюду. Встречаются в планктоне стоячих и медленно текущих вод, в прибрежном бентосе, как обрастания на различных твердых субстратах, в горячих источниках, на поверхностях снега и песке пустынь, на влажных скалах и почве, в симбиозе с другими организмами. Чрезвычайно много цианобактерий в цветущих прудах, озерах и особенно в водохранилищах, возникших в результате перегораживания рек плотинами. «Урожай» цианобактерий в таких искусственных озерах с малопроточной водой часто достигает сотен тысяч тонн по сырому весу [7, с. 256].

Лавинообразное увеличение биомассы цианобактерий в континентальных водоемах, как правило, приводит к фатальным последствиям. К примеру, в 1878 г. в Австралии произошел ужасающий случай массового отравления домашних животных цветущей водой оз. Александрина. В этом озере в теплое время года интенсивно размножались цианобактерии *Nodularia spumigena* и у берегов скапливались зеленые сгустки биопленок толщиной в 5—15 см. После водопоя животные падали и лежали неподвижно, как спящие. Далее на-

ступали конвульсии с откидыванием головы назад. Перед смертью конвульсии прекращались. Мучения свиней продолжались 3—4 ч, собак — 4—5, овец — 6—8 и лошадей — 8—24 ч.

Примеры мощного токсического действия цианобактерий *Microcystis aeruginosa* известны для водоемов Южной Африки. Так, в Трансваале в 1945 г. во время цветения воды водохранилища на р. Вааль погибли тысячи голов крупного рогатого скота и овец, а также лошади, мулы, ослики, собаки, кролики и домашние водоплавающие птицы. В тех местах, где слабым ветром слой биопленок стонялся к берегу и накапливался, животные гибли всего за несколько часов. При употреблении в пищу свежельовленной рыбы у людей наблюдались токсикозы, сходные по симптомам с описаниями для животных.

Надо заметить, что подобные печальные события повторялись неоднократно по всей планете. Так, в 1997 г. после использования воды из цветущего водоема в г. Каруару (Бразилия) умерло 52 чел. и тяжело заболело 68. Летом 2008 г. на оз. Котокельское (Бурятия) была зарегистрирована массовая гибель рыб, птиц и домашних животных [2, с.172]. Отмечено 16 случаев отравлений людей, связанных с употреблением в пищу лещей, выловленных в озере. Вызывает удивление, что любимые и надежные биоиндикаторы, собаки и кошки, не почувствовали токсинов цианобактерий, съели отравленную рыбу и вслед за своими хозяевами пострадали. В настоящее время на озере действует запрет на употребление в пищу рыбы, купание и использование воды.

Естественно, что перечисленные факты обратили на себя внимание научных кругов и начиная примерно с середины 50-х гг. прошлого века исследования по изучению явлений интоксикации континентальных водоемов приобрели целенаправленный характер. Цианобактерии стали объектом изучения бактериологов как прокариоты и альгологов как организмы, схожие с эукариотическими водорослями.

Установлено, что подобно прокариотам у цианобактерий отсутствует четкая дифференциация на ядро, цитоплазму и хроматофор. Протоплазма в их клетках густая с газовыми вакуолями. Поверх слоя слизистой оболочки из пептидогликана имеется наружная мембрана. Генетический материал закреплен в нитях ДНК. Размножение происходит делением, почкованием или дроблением клетки на ряд дочерних клеток. Известны одноклеточные, нитчатые и колониальные формы. Клетки одноклеточных и колониальных форм бывают округлыми, цилиндрическими, веретенообразными и серповидными. В водной среде они образуют клеточные агрегаты или биопленки. Цианобактерии, развиваясь в виде биопленок (альгобактериальных матов), синтезируют внеклеточные полимерные вещества, которые позволяют им существовать как самодостаточной целостной структуре. Так, в микробных сообществах щелочного термального Уринского источника (Бурятия) обнаружено 12 видов цианобактерий, 4 вида диатомовых водорослей и 1 вид термофильных аноксигенных фототрофных бактерий *Chloroflexus aurantiacus*, делящих между собой биохимические функции [4, с. 702].

В этой связи при рассмотрении вопросов «цветения» природной воды необходимо учитывать не только уникальные свойства цианобактерий и процесс их размножения в толще воды, но и повышенную жизнеспособность этих прокариот в адгезивных сообществах. К примеру, на Березовской ГРЭС-1 Красноярского края используется вода Берешского водохранилища. Как

следствие, трубки конденсаторов охлаждения периодически забиваются сес-тоном, представляющим собой суспензию цианобактерий, водорослей, органических и неорганических веществ. Приходится останавливать производство электроэнергии на 2—3 дня, проводить очистку оборудования и в конечном итоге нести значительные убытки. Другой пример, когда сгустки сестона и биомассы цианобактерий *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flos-aquae* и *Aphanisomenon flos-aquae* из Цимлянского водохранилища в октябре 2009 г. забили фильтры водозабора города Волгодонска и более 170 тыс. чел. остались без воды на трое суток.

Закономерно, что в последние годы осуществляется комплексный анализ характеристик водоемов — количество биогенных веществ азота и фосфора, прозрачность воды, освещенность, глубина, содержание хлорофилла и других пигментов, численность и биомасса фитопланктона, присутствие токсинов. Изучаются вопросы популяционного долголетия цианобактерий (3.5—3.8 млрд лет), их способность к фотосинтезу и азотфиксации, феноменальные персистентность, адаптивность и «чувство кворума» (quorum sensing, QS) в микробиологических сообществах. При наличии набора стандартных образцов и хромато-масс-спектроскопического оборудования в настоящее время стало возможным идентифицировать в водных объектах весь перечень известных цианотоксинов. Для определения токсигенности цианобактерий широко используется полимеразная цепная реакция с праймерами к генам, ответственным за синтез токсинов. Сегодня доступна информация о полных геномных последовательностях нескольких десятков цианобактериальных штаммов, что открывает новые возможности для решения разнообразных экологических и прикладных задач. Тем не менее до сих пор не удалось преодолеть противоречий в объяснении механизма этого природного явления и, как следствие, до сих пор нет адекватного регламента преодоления токсичного цветения воды.

В условиях, когда одна треть населения России пользуется неочищенной водой и 90 % зон отдыха находится на берегах водоемов, становится необходимым кратко рассмотреть известные способы борьбы с «цветением». Рассмотренные далее способы избавления от токсигенных видов цианобактерий не дают 100 % гарантии и носят, как правило, сезонный характер.

Так, для предотвращения массового развития цианобактерий исследовались различные варианты по снижению внутренней фосфорной нагрузки в водоемах путем откачки донных отложений, а для увеличения продолжительности их анабиоза применялась кислородная аэрация придонных слоев воды. В частности, в Швейцарии для подавления цветения отдельных зон Женевского озера использовался пероксид кальция. Всесторонне изучалось влияние ультрафиолетовой радиации на развитие этих прокариот. Однако экспериментальные данные свидетельствуют о существовании у цианобактерий уникальной системы защиты от УФ-радиации за счет усиления синтеза внутриклеточных антиоксидантов, внеклеточных полисахаридов и УФ-чувствительных протеинов.

Накоплен значительный опыт по применению альгицидов (лат. «*alga*» — водоросль, «*caedo*» — убиваю) в борьбе с цветением воды. В качестве альгицидов испытывались различные гербициды (симазин и др.), фунгициды (бrestaн и др.), бактерициды (содержащие активный хлор) и особенно соли меди. К сожалению, перечисленные вещества, эффективно ингибируя рост циано-

бактерий, оказались опасными для остальных гидробионтов и приводили к гибели других организмов открытых водоемов из-за отсутствия селективности действия

Большие надежды были связаны с воплощением в жизнь гипотезы трофического каскада — теории биоманипуляций «сверху вниз» (top-down), суть которой сводится к увеличению численности гидробионтов, потребляющих цианобактерии в пищу, и к сокращению численности организмов, поедающих конкурентов цианобактерий [10, с. 149]. Однако на сегодняшний день обнадеживающие результаты были зафиксированы лишь в отдельных случаях. Практическое применение широко рекламируемого препарата Микрозим «Трит Понд», содержащего от 6 до 12 видов аэробных и факультативных мезофильных микроорганизмов, также не решило данной проблемы.

В ФГБУН Институт озераведения Российской академии наук (ИНОЗ РАН, Санкт-Петербург) обратили внимание на тот факт, что малые концентрации альгицидов стимулируют жизнедеятельность цианобактерий, более высокие — угнетают и только большие концентрации — убивают этих прокариот. Недавно механизм подобного явления был раскрыт и убедительно доказан. Оказалось, что причиной нелинейной концентрационной зависимости доза-эффект (гормезис) являются разные геометрические и физико-химические параметры наночастиц, формирующихся при контакте химических соединений с клеточными мембранами живых организмов в обычных, низких (включая пикомольные) и сверхнизких (фентомольных и ниже) концентрациях соответствующих растворов [17, с. 647]. По-видимому, не случайно цианобактерии *Plectonema boryanum* UTEX 485 нашли применение при синтезе золотых, серебряных и палладиевых наночастиц [20, с. 2694].

Между тем в ИНОЗ РАН в донных отложениях Ладожского озера с помощью сканирующего зондового микроскопа высокого разрешения было зафиксировано значительное количество наномасштабных объектов различной геометрии [15, с. 819]. Последующие шаги привели к еще более интересным результатам. Было обнаружено, что дисперсный состав водных взвесей донных отложений «цветущей» и «нецветущей» зон Ладожского озера существенно отличается. В «нецветущей» зоне озера присутствует значительное количество наномасштабных частиц, а в «цветущей» — их практически нет [14, с. 822]. Особо следует заметить, что «цветущая» и «нецветущая» вода Ладоги обладает разной биологической активностью, что свидетельствует о размножении в акватории озера токсигенных видов цианобактерий [23, с. 100].

Однозначно свидетельствует о значительной роли наномасштабных частиц в природе «цветения» воды является создание на основе наночастиц железа альгицида, избирательно воздействующего на цианобактерии *Microcystis aeruginos* [21, с. 2316].

Относительно недавно была завершена большая серия работ, имеющих принципиальное значение в познании природы «цветения» воды. Было показано, что, во-первых, цианобактерии одинаково хорошо растут как в воде из «цветущего», так и «нецветущего» водоема. Во-вторых, ключевую роль в прорастании акинет (спор) и развитии «цветения» природной воды играет не химический состав воды, а состав донных отложений водоема. Получены результаты по изучению влияния на «цветение» воды 18 металлов, 38 жирных кислот и 16 аминокислот из донных отложений. Была адекватно продемонстрирована значительная роль в этом процессе аминокислотной составляющей донных отложений водоемов [6, с. 134; 11, с. 711].

Аминокислоты в донных отложениях водоемов и почвенных покровах являются неотъемлемой частью гумусовых субстанций, образующихся при деградации биоматериала. Супрамолекулярная структура гумусовых субстанций имеет постоянно меняющийся состав, построена по принципу «гость—хозяин» и фактически является носителем информации о состоянии окружающей среды. Компонентами гумусовых систем выступают супра- и макромолекулы гуминовых веществ, различные органические олигомерные и низкомолекулярные вещества, неорганические ионы и гидроксополимеры, а также наночастицы минералов. Гумусовая матрица имеет многоуровневую систему организации — супрамолекулярные элементарные блоки (гуминовые кислоты, фульвокислоты и др.) объединены в ассоциаты размером в десятки и сотни нанометров. По-видимому, частицы размером 2—4 нм представляют собой фульвокислоты, а частицы размером 8—12 нм являются гуминовыми кислотами [18, с. 846; 19, с. 482]. Размеры цианобактерий варьируют от 100 нм до 20—100 мкм, молекулы белков и липидов имеют размеры до 10 нм, диаметр спиральной молекулы ДНК примерно равен 20 нм [8, с. 3]. Иными словами, размеры компонентов гумусовых матриц сопоставимы с размерами ключевых биополимеров клеток цианобактерий. Налицо возможность их комплементарного взаимодействия с вытекающими отсюда последствиями активации или затухания «цветения» природной воды.

Интересно отметить, что в эволюции водных экосистем участвуют не только наномасштабные компоненты супрамолекулярных гумусовых систем, но и неорганические наночастицы. Так, в вершинах «курильщиков» гидротермальных источников срединно-океанических хребтов водные взвеси содержат значительное количество наночастиц из соединений серы с железом, медью, цинком и другими металлами [3, с. 426]. Изучение экосистем этих геологических образований привело к открытию ~ 500 ранее неизвестных науке видов живых организмов, обитающих в экстремальных условиях «курильщиков» (полная темнота, ядовитая среда, давление в 200 атмосфер и температура свыше 40 °C).

Учитывая изложенные выше обстоятельства, в ИНОЗ РАН была осуществлена коррекция традиционной схемы исследований эволюции водных экосистем и проблем «цветения» природной воды [16, с. 552]. Проводятся работы по оценке взаимосвязи структуры и ультрадисперсного состава донных отложений с последствиями «цветения» воды. На базе методов аэрокосмической съемки (снимки MODIS Aqua) и натурного определения гидрофизических, гидробиологических и гидрохимических характеристик континентальных водоемов уточняются масштабы токсичного «цветения» природной воды. Изучаются методы регуляции размножения цианобактерий, избирательной деструкции и сорбции цианотоксинов.

Летом и ранней осенью 2012 г. в ИНОЗ РАН были завершены исследования 30 водоемов урбанизированных территорий Санкт-Петербурга. Были получены результаты определения гидрологических, гидрохимических, гидробиологических, альгологических, токсикологических и гранулометрических характеристик этих объектов. На момент оформления настоящей статьи обработка экспериментальных данных была не завершена. Однако некоторые предварительные результаты уже заслуживают пристального внимания и особенно в сопоставлении с ранее полученными данными мониторинга почвенного покрова территории Санкт-Петербурга [9, с. 560].

Оказалось, что водоемы, располагающиеся в почвенных ландшафтах с минимальным количеством наномасштабных частиц (пыль, суглинок пылеватый слоистый), подвержены интенсивному и токсичному «цветению» воды (например, пруды парка Интернационалистов). Водосток с ленточных суглинков с максимальным содержанием наномасштабных частиц приводит к обратным последствиям (пруды дачи Шереметевых). Было показано, что в прудах дачи Шереметевых в донных отложениях содержится значительное количество наномасштабных частиц в отличие от соответствующих проб из прудов парка Интернационалистов. Гранулометрический состав ультрадисперсных взвесей из прудов определялся методом динамического светорассеяния и измерения дзета-потенциала наночастиц с помощью анализатора Zetasizer Nano ZS («Malvern Instruments»). Биотестирование соответствующих проб на культуре рачков *Daphnia magna* показало, что пробы из прудов парка Интернационалистов обладают токсичностью и в них происходит размножение токсигенных видов цианобактерий.

Надо заметить, что, начиная с Д. Н. Анучина (1896 г.), Г. Ю. Верещагина (1921 г.) и С. В. Калесника (1973 г.), российские лимнологи рассматривали водоем и его водосбор как единую экологическую систему однородной территории или ландшафта. Вне сомнений, что с учетом зонального и геолого-геоморфологического факторов и в водоемах, и в окружающих их почвах, и грунтах происходят взаимозависимые процессы. Судя по всему, гранулометрический анализ донных отложений водоемов и окружающего почвенного покрова в наномасштабном диапазоне измерений может стать одним из ключевых методов мониторинга «цветения» природной воды и будет основой в создании нового комплекса мероприятий по эффективному преодолению токсикации пресноводных водоемов.

К сожалению, до сих пор ежегодно приходят десятки тысяч сообщений об отравлениях людей, вызванных «цветущей» водой, употреблением в пищу рыбы и других продуктов питания, содержащих токсины цианобактерий. Не случайно в странах ЕС, США и других развитых государствах распространение токсигенных видов цианобактерий стало национальной проблемой — принимаются государственные программы, создаются специализированные государственные научные центры и службы мониторинга. Не вызывает сомнений, что глобальное распространение токсичного «цветения» воды должно стимулировать разработку международных проектов с участием Российской Федерации для всестороннего изучения этого природного явления, представляющего угрозу экологической безопасности.

Список литературы

- [1] Александров Б. Г., Теренько Л. М., Нестерова Д. А. Первый случай «цветения» воды в Черном море водорослью *Nodularia Spumigena* Mert. ex Bornet et Flahault (Cyanoprokaryota) // Альгология. 2012. Т. 22, № 2. С. 152—165.
- [2] Белых О. И., Тихонова И. В., Сорокикова Е. Г. и др. Выявление токсичных *Microcystis* в озере Котокельское (Бурятия) // Вестн. Томского гос. ун-та. Биология. 2009, № 330 (январь). С. 172—175.
- [3] Богатилов О. А. Неорганические наночастицы в природе // Вестн. РАН. 2003. Т. 73, № 5. С. 426—428.

- [4] Брянская А. В., Намсараев З. Б., Калашникова О. М. и др. Биогеохимические процессы в альгобактериальных матах щелочного термального Уринского источника // Микробиология. 2006. Т. 75, № 5. С. 702—712.
- [5] Волошко Л. Н., Плющ А. В., Титова Н. Н. Токсины цианобактерий (Cyanobacteria, Syanophyta) // Альгология. 2008. Т. 18, № 1. С. 3—20.
- [6] Гладышев М. И., Колмаков В. И., Кравчук Е. С. и др. Прорастание акинет цианобактерий из донных отложений в эксперименте в водах «цветущего» и «нецветущего» водоемов // Докл. Академии наук. 2001. Т. 378, № 1. С. 124—137.
- [7] Горюнова С. В., Демина Н. С. Водоросли — продуценты токсических веществ. М.: Наука, 1974. 256 с.
- [8] Захаренко В. А. Нанوفитосанитария — научное направление, объединяющее нанотехнологию и современную защиту растений. Ч. 1. Общая концепция // Агрохимия. 2011, № 3. С. 3—16.
- [9] Здобин Д. Ю., Семенова Л. К. О гранулометрическом анализе глинистых грунтов: лазерные и классические методы // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2011, № 6. С. 560—567.
- [10] Колмаков В. И. Методы предотвращения массового развития цианобактерий *Microcystis aeruginosa* Kutz emend. Elenk. в водных системах // Микробиология. 2006. Т. 75, № 2. С. 149—153.
- [11] Колмакова А. А., Гладышев М. И., Калачева Г. С. Различия аминокислотного состава доминирующих видов фитопланктона в эвтрофном водохранилище // Докл. Академии наук. 2007. Т. 415, № 5. С. 711—713.
- [12] Копылов А. И., Лазарева В. И., Минеева Н. М. и др. Влияние аномально высокой температуры воды на развитие планктонного сообщества водохранилищ средней Волги летом 2010 г. // Докл. Академии наук. 2012. Т. 442, № 1. С. 133—135.
- [13] Котляков В. М. История климата Земли по данным глубокого бурения в Антарктиде // Природа. 2012. № 5. С. 3—9.
- [14] Поздняков Ш. Р., Крюков Л. Н., Румянцев В. А. Исследование влияния дисперсности водных взвесей на токсичность «цветения» воды Ладожского озера // Докл. Академии наук. 2011. Т. 440, № 6. С. 822—825.
- [15] Румянцев В. А., Крюков Л. Н., Поздняков Ш. Р., Рыбакин В. Р. Наномасштабные элементы лимнологии // Вестн. РАН. 2011. Т. 81, № 9. С. 819—824.
- [16] Румянцев В. А., Крюков Л. Н. Супрамолекулярные регуляторы цветения водоемов // Вестн. РАН. 2012. Т. 82, № 6. С. 552—557.
- [17] Рыжкина И. С., Муртазина Л. И., Шерман Е. Д. и др. Водные растворы макрочиклического пиридин-пиррольного соединения низких концентраций: взаимосвязь параметров супрамолекулярных наноразмерных ассоциатов, физико-химических свойств и физиологической активности // Докл. Академии наук. 2010. Т. 433, № 5. С. 647—651.
- [18] Федотов Г. Н., Добровольский Г. В., Шоба С. А. Микрофазное расслоение супраполимерной гумусовой матрицы как процесс, формирующий наноструктурную организацию почвенных гелей // Докл. Академии наук. 2011. Т. 437, № 6. С. 846—848.
- [19] Федотов Г. Н., Добровольский Г. В., Шоба С. А. К вопросу о механизме возникновения наноструктурной организации в почвенных гелях // Докл. Академии наук. 2012. Т. 445, № 4. С. 482—485.
- [20] Lengke M. F., Fleet M. E., Southam G. Biosynthesis of silver nanoparticles by filamentous cyanobacteria // Langmuir. 2007. V. 23. P. 2694—2699.
- [21] Marsalek B., Jancula D., Masalkova E. et al. Multimodal action and selective toxicity of zerovalent iron nanoparticles against cyanobacteria // Environ. Sci. Technol. 2012. V. 46. P. 2316—2323.

- [22] Swanson M., Heuner K. Legionella: Molecular Microbiology // Caister Academic. Pr. 2008. 249 p.
- [23] Voloshko L., Kopecky J., Safronova T. et. al. Toxins and other bioactive compounds produced by cyanobacteria in Lake Ladoga // Estonian Journal of Ecology. 2008. V. 57, N 2. P. 100—110.

Санкт-Петербург
lake@limno.org.ru
ФГБУН Институт озерадения РАН

Поступило в редакцию
20 ноября 2012 г.

Изв. РГО. 2013. Т. 145. Вып. 2

© Ю. В. САВЕЛЬЕВ

РЕГИОНАЛЬНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА И СТРУКТУРНЫЕ СДВИГИ В ЭКОНОМИКЕ РОССИЙСКИХ РЕГИОНОВ

Общеизвестно, что задача повышения конкурентоспособности и модернизации экономики региона носит комплексный характер и ее решение связано с реализацией структурной политики. Для выработки эффективной региональной стратегии повышения конкурентоспособности необходимо четко понимать, на каких факторах конкурентоспособности (естественных или создаваемых) и на каких конкурентных преимуществах (первичных или вторичных) она должна основываться. Естественные факторы (данные от природы и сформировавшиеся в процессе длительного развития территории) служат основой для формирования первичных конкурентных преимуществ. Создаваемые факторы (являющиеся результатом реализации целенаправленной политики) — основа для формирования вторичных конкурентных преимуществ. К первичным факторам могут быть отнесены: наличие природных ресурсов, технические и экономические условия их добычи; выгоды географического положения; наличие удобных для использования земельных участков; благоприятные агроклиматические и туристско-рекреационные условия; численность, структура и качество трудовых ресурсов и пр. К вторичным факторам могут быть отнесены: научно-инновационный потенциал, возможности для производственного кооперирования, имидж региона, развитие инфраструктуры, инвестиционный климат и пр.

Практика показывает, что приоритет в использовании естественных факторов (первичных конкурентных преимуществ) способствует развитию, как правило, узкой специализации региона и размещению на его территории отдельных «звеньев» цепочек добавления стоимости (ЦДС), подконтрольных зарубежным или инорегиональным субъектам. Часто в регионе размещаются «звенья» ЦДС, связанные с добычей ресурсов и производством «частичных» продуктов на основе поддетальной специализации и аутсорсинга. Приоритетное использование создаваемых факторов (вторичных конкурентных преимуществ) способствует диверсификации экономики региона за счет создания