
ОБЩАЯ ЭКОЛОГИЯ

© Т.И. МОЙСЕЕНКО

moiseenko@geokhi.ru

В.И. ВЕРНАДСКИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОСТИ

АННОТАЦИЯ. В свете генеральной концепции В.И. Вернадского о ноосфере предполагается гармоничная ко-эволюция человечества и природы. Реальность такова, что человеческая деятельность привела к интенсивному развитию антропогенно-индуцированных процессов и эволюционным преобразованиям в биосфере, которые драматическим образом проявились в середине прошлого века. В статье дается краткий анализ изменения основных биогеохимических циклов в глобальной шкале. Приводятся примеры каскадного развития ряда негативных явлений под влиянием нарастания содержания углекислого газа, кислотообразующих агентов, обогащения природных сред металлами, загрязнения стойкими органическими веществами, биогенными элементами. Приводятся доказательства, что органический мир реагирует на антропогенные преобразования активными микроэволюционными процессами. Рассматривается методология определения критических нагрузок, как научно-обоснованная стратегия ограничения антропогенных воздействий на природу и экологической гармонизации. Дается характеристика теоретических основ для определения допустимых потоков тех или иных загрязняющих веществ. Показано, что развитие природоохранных без- и малоотходных технологий с учетом научно-обоснованных критических нагрузок на биосферу и ее экосистемы, реабилитация нарушенных территорий и акваторий является ключевым направлением в сохранении жизнеобеспечивающих условий нашей Планеты.

SUMMARY. General concept of V. Vernadsky's noosphere supposes harmonious co-evolution of humanity and nature. The reality is that human activity has led to the emergence of anthropogenic induced processes in the biosphere, which manifested dramatically in the middle of the last century. This article gives a brief analysis of the major changes of biogeochemical stages in the global scale. There are the examples of the cascade development of some negative phenomena under the influence of: increase of carbon dioxide content, acidifying agents content, enrichment of natural environments with metals, contamination with resistant organic matters, biogenic elements. There are proofs that the organic world reacts to anthropogenic transformation with active microevolution processes. Methodology for determining the critical loads is considered, as scientifically-based strategy for limitation of anthropogenic impacts on nature and for environmental harmonization. A characteristic of the theoretical foundations for the permissible flows of certain pollutants is given. It is shown that the development of environment-oriented non- and low-waste technologies with the consideration of science-based critical loads on the biosphere and its ecosystems, the rehabilitation of disturbed lands and water areas is a key direction in maintaining life-supporting environment of our planet.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Биосфера, загрязнение, биогеохимические циклы, экологические последствия, антропогенная эволюция, критические нагрузки.

KEY WORDS. Biosphere, pollution, biogeochemical cycles, environmental impacts, human-induced evolution, the critical load.

В.И. Вернадский еще в начале прошлого столетия первым предсказал, что влияние человека на окружающую среду сопоставимо с геологическими эпохами, преобразованиями природы, которые протекают в более сжатые временные отрезки [1]. Стремительный рост численности населения на планете, экстенсивное вовлечение в эксплуатацию минерально-сырьевых ресурсов и технический прогресс драматическим образом отразились на состоянии окружающей среды к середине прошлого столетия. В различных отраслях естествознания, связанных с изучением биосферы, накапливается все больше данных о том, что антропогенное воздействие изменяет геохимическое строение и энергетику биосферы, ее биогеохимические функции и круговорот веществ, приводит к эволюции органического мира.

Антропогенные воздействия и изменения биогеохимических циклов.

Изменения в биосфере и их структурных единицах — экосистемах происходят под воздействием многих сопряженных антропогенных факторов, наложение которых может усиливать или нивелировать действие каждого из них. К тому же развивается каскадная реакция последовательных преобразований в биосфере, захватывающая все оболочки Земли и их население. Изменения биогеохимических циклов порождают следующие основные факторы:

— добыча и сжигание углеводородного топлива, приводящее к увеличению парниковых газов и нарушению цикла углерода;

— извлечение из недр, обогащение руд и выплавка металлов, приводящие к их рассеиванию в окружающей среде и выбросам кислотообразующих газов;

— синтез тысяч новых химических соединений с токсичными свойствами, которые включаются в биогеохимический круговорот;

— искусственное внесение в почву биогенных веществ в виде удобрений, приводящее к нарушению цикла фосфора и азота;

— нарушения природных ландшафтов: опустынивание из-за неправильного использования земель; расширение площади антропогенных пустошей вокруг крупных производств; ветровая и водная эрозия почв; заболачивание и вторичное засоление; отчуждение земель для строительства и других целей; активизация оползней, карста, селей, подтопления, мерзлотных и других неблагоприятных процессов.

Приведенный перечень факторов, определяющих нарушение биогеохимических циклов, далеко не полон, но достаточен, чтобы сформулировать главный вопрос — каким образом антропогенные изменения окружающей среды, которые активно проявились за последние сто лет, повлияют на эволюцию органического мира и биосферы в целом?

Потепление климата и нарушение цикла углерода. Наибольшее внимание ученых в последние годы сосредоточено на изучении потепления климата как следствия увеличения парниковых газов в атмосфере. Результаты последних исследований подтверждают гипотезу о том, что в глобальное потепление климата в современный период большой вклад вносит и человеческая деятельность. Согласно этим данным, с 1980 г. средняя температура воздуха на

планете увеличилась на 0.5 градуса по Цельсию, и Земля продолжает нагреваться примерно на 0.16 градуса за десятилетие. Наиболее доказанными экологическими последствиями потепления климата являются неустойчивость погоды, изменение осадков и нарушение гидрологических циклов — увеличение засушливых периодов и опустынивание в теплом климате; увеличение осадков — в гумидных зонах. Возрастание содержания углерода в сочетании с температурой приводит к повышению биопродуктивности лесов, океана, рек и озер [2].

Известно, что в результате прошлых событий на Земле теплые эпохи сменялись похолоданиями, затем вновь наступало потепление. 60-70 млн лет назад концентрация CO_2 была вдвое выше, чем теперь [3]. На этом фоне современные процессы в геологическом срезе, казалось бы, ничтожны, но они запускают каскад сложных необратимых процессов.

Например, одним из побочных эффектов потепления климата является феномен подкисления поверхностных слоев океана. До начала индустриализации значение pH океанической воды было 8.16, сейчас — 8.05. Как указано в работе [2], в течение XXI века показатель кислотности (pH) поверхностных вод океана может снизиться на 0,14-0,4 единицы, т. е. до значений 7,96-7,7. По мнению J. Vijta et al. [4], закисление мирового океана происходит быстрее, чем когда-либо в истории Земли, и если взглянуть на уровни парциального давления двуокиси углерода, которых мы уже достигли, то нужно вернуться на 35 млн лет назад, чтобы найти эквиваленты. Несомненно, что снижение значений pH океанических поверхностных вод повлияет на экосистемы и может вызвать изменение всей пищевой цепи.

Одним из значимых опосредованных последствий потепления климата в северных широтах является локальное повышение содержания органического вещества в водотоках, которое проявилось на севере Европы и в Америке. По нашим исследованиям, за двадцать последних лет содержание углерода в водотоках российского Севера увеличилось на 11%. Исходя из этих данных, можно ориентировочно рассчитать, что сток углерода в арктические моря с российской территории за последние 20 лет увеличился ориентировочно на 350 т/год. Было предложено несколько гипотез, чтобы объяснить увеличение органического вещества в водотоках — большая часть ученых связывает это явление с потеплением климата, другие — с нарушениями биогеохимических циклов в системе «водосбор—водоем» под влиянием длительного периода кислотных осадков и восстановлением качества вод в последние 20 лет [5]. Тем не менее увеличение экспорта органического углерода в океаны может повлечь каскадную последовательность экосистемных перестроек в прибрежных зонах.

Биогенное загрязнение, цикл фосфора и азота. Природный фосфор попадает в окружающую среду в результате химического выветривания пород, около одного миллиона тонн этого элемента ежегодно добавляется в естественный круговорот. На полях или в виде минеральных удобрений используют ежегодно около 20 млн тонн фосфора, растениями усваивается только 60%, остальное смывается в реки и океан, рассеивается с пылевыми частицами, что приводит к повышению продуктивности наземных и эвтрофированию водных экосистем [6].

Глобальное нарастание содержания азота на суше и в морях происходит вследствие их загрязнения удобрениями, хозяйственно-бытовыми сточными

водами, сжигания топлива и выпадения из загрязненной атмосферы. Всего человечество мобилизуется около 150 млн т. азота ежегодно. В историческом срезе выбросы NO_x начали увеличиваться в конце 1800-х гг., и особенно — в начале 1900-х годов. Эмиссия NH_3 в окружающую среду от использования удобрений стала стремительно нарастать в последние три десятилетия, особенно в азиатских странах, и превысила NO_x эмиссию уже в конце 1980-х годов. По оценкам Galloway et al. [7], **производство окислов азота от сжигания топлива** определяется в 20 млн т. N/год, что вдвое выше естественной эмиссии, оцененной в 9 млн т. N/год. За счет минеральных удобрений в окружающую среду добавляется еще около 80 млн т. N/год. Дополнительно около 50 млн т. N/год высвобождается в атмосферу в виде NH_3 , что в 2.5 раза больше по сравнению с поступлением NO_x от сгорания каменного угля. Выбросы NO_x преобладают в странах с высоким валовым национальным продуктом, а эмиссия NH_3 — в странах, ориентированных на производство продовольствия [7]. Несмотря на то, что человечество научилось контролировать процесс эвтрофирования водных экосистем, сопряженное влияние обогащения гидросферы фосфором и азотом в ряде озер и прибрежных зон приводит к катастрофическому размножению сине-зеленых водорослей, способных выделять природные токсины нейропаралитического действия, обуславливать заморы гидробионтов, что ведет к цепной реакции необратимых изменений в экосистемах.

Если проанализировать прошлые эпохи, то можно найти свидетельства сходных экологических катастроф. J.W. Castle, J.H. Rodgers [8] была выдвинута гипотеза, что вследствие огромного количества выбросов пыли при взрывах и пожарах резко возрос поток биогенных элементов в окружающую среду, в озерах и морях формировались толстые маты из сине-зеленых водорослей, которые могли отравлять все вокруг выделяемыми токсинами. Ученые отмечают, что полученные ими результаты касаются не только истории жизни на Земле, но и ее будущего.

Азот в биосфере имеет более сложный цикл, индуцируя процессы различной экологической направленности, в которых обогащение биосферы азотом играет ключевые функции: эвтрофирующие, закисляющие и экотоксичные [9]. Наименее известным эффектом загрязнения азотом гидросферы является его свойство образовывать как в водной среде, так и эндогенно в самих организмах очень токсичные органические азотные соединения — нитрозамины. Нитрозамины могут вызывать опухоли практически любого органа у животных и человека, обладают мутагенным и трансплацентарным эффектами. В ряде локальных мест Черного моря в воде и в мышцах промысловых рыб обнаружены высокие концентрации нитрозамина, как следствие обогащения азотом водной среды [9]. К сожалению, сократить поток антропогенного азота и фосфора в биосферу весьма затруднительно, поскольку именно минеральные удобрения являются необходимым условием дальнейшего обеспечения человечества продовольствием.

Кислотные осадки. Глобальное загрязнение атмосферы кислотообразующими веществами (окислами серы и азота) в течение прошлого столетия, главным образом от сгорания мазута, каменного угля и в процессе выплавки металлургических руд привело к формированию кислотных осадков, которые обусловили закисление почв и вод. Уровень эмиссии антропогенной серы в Европе и Северной Америке быстро нарастал в начале прошлого века, и к его середине

достиг максимальных значений. В последние 20 лет, несмотря на существенное снижение выбросов SO_2 в Европе и Северной Америке, выпадения сульфатов на водосборы превышают уровень доиндустриального периода по крайней мере в 10 раз [7].

Несмотря на наметившуюся в последние годы тенденцию снижения выбросов в развитых странах, по прогнозным данным, эмиссия кислотообразующих газов в глобальной шкале увеличится, как следствие наращивания производства развивающимися странами, особенно Китаем. Ряд научных публикаций показывает, что кислотные осадки — это не только локальное закисление, они изменяют транспортные потоки элементов в оболочках Земли, в первую очередь сильные кислоты увеличивают химическое выветривание как основных катионов, так и ряда металлов, изменяют биогеохимические циклы элементов в литосфере и пресноводной гидросфере. Под влиянием выпадения кислотообразующих веществ и их сухого поглощения подстилающей поверхностью снижается насыщение почв на водосборе обменными основаниями и, соответственно, их содержание в поверхностных и подземных водах, уменьшается щелочность вод как следствие вытеснения гидрокарбонатов более сильными техногенными кислотами, выщелачивание металлов из слагающих водосборы пород (Al, Cd, Zn, Mn и др.). На всех уровнях закисленных экосистем отмечается снижение биоразнообразия вследствие элиминации наиболее чувствительных к низким pH видов. Причиной деградации популяций рыб в закисленных водных системах является не столько воздействие низких pH, сколько Al^{3+} и других металлов, которые выщелачиваются и мигрируют в водные системы в наиболее токсичных ионных формах [10].

Обогащение тяжелыми металлами. Добытые из недр Земли и обогащенные в технологических циклах, многие элементы в окружающей среде приобретают токсичные свойства. Технофильность многих металлов, т.е. отношение их ежегодной добычи к Кларку в земной коре, достигает высоких значений: Pb — 2×10^9 , Cu — $1,1 \times 10^9$, Cd — 1×10^8 , Zn — 4×10^7 , Sr — 7×10^6 , Ni — 7×10^6 [11]. Металлы поступают в окружающую среду в составе стоков и выбросов различных производств, отвалов пород, диффузных источников, выщелачиваются кислотными осадками и т.д. Анализ территориального распределения элементов на территориях Европейской России и Западной Сибири подтвердил, что вследствие техногенного рассеивания элементов в глобальном (региональном) масштабе и выщелачивания кислотными осадками наблюдается тенденция обогащения вод такими опасными элементами, как Hg, Pb, Cd, Al, Cr, As и Se. В результате широкого развития электронной индустрии отмечается рост таких элементов как Pt, Rh, Pd, Ga, и Ir с неисследованными экотоксичными свойствами [12].

Основным свойством металлов является то, что после попадания в окружающую среду металлы не разрушаются, и в высоких концентрациях опасны для живых организмов. Известно, что ртуть обладает нейрологическими эффектами, кадмий и свинец обладают канцерогенными и гонадотоксичными свойствами; избыток микроэлементов в организме приводит к эндемичным заболеваниям: стронций — к патологиям костных тканей, молибден — к подагре, медь — к анемии и др.

Синтезированные органические ксенобиотики. Высокую опасность для окружающей среды представляют токсичные органические соединения, включающие синтезированные новые вещества и активированные из природных источников, полученные в процессе сгорания углеводородного сырья или как побочные продукты различных производств. Их содержание в окружающей среде стремительно нарастает. По оценкам ЕРА [13], общее число используемых синтезированных химических веществ насчитывает более 5 млн наименований и ежегодно создается более 2 тыс. новых веществ.

Новые органические синтезированные вещества, вовлекаясь в глобальные транспортные потоки веществ в биосфере, способны долго циклировать, отравляя воздух, воду и продукты питания. К суперэкоксикантам относятся стойкие органические загрязнения (СОЗ): хлорорганические пестициды, диоксины, фураны и другие. Они распространяются в окружающей среде далеко за пределы своего первоначального местонахождения. Остатки хлорорганических пестицидов найдены в жире тюленей и грудном молоке женщин из районов Крайнего Севера — Гренландии, Канаде и Сибири. В начале 1990-х гг. было отмечено, что содержание СОЗ в окружающей среде неуклонно возрастает. Во многих странах мира были введены специальные меры по ограничению распространения этих веществ в окружающей среде, однако загрязнение природных сред супертоксикантами продолжало увеличиваться. В европейских странах и США, в отличие от развивающихся стран, их использование запрещено уже давно. По оценкам [13] предполагается, что в перспективе накопление этих веществ в биосфере будет продолжаться за счет развивающихся стран.

Радиологическая нагрузка на биосферу. Глобальное радиоактивное загрязнение составляло к середине 70-х гг. более $5,5 \cdot 10^{11}$ Бк (беккерелей) в результате ядерных взрывов и более $1,9 \cdot 10^{11}$ Бк — вследствие поступления в Мировой океан радиоактивных отходов. Наиболее загрязнены районы умеренных широт, особенно в Северном полушарии. Характерные антропогенные радиационные воздействия на окружающую среду: загрязнение атмосферы и территорий продуктами ядерных взрывов при испытаниях ядерного оружия в 1960-е годы; отравление воздушного бассейна выбросами радиоактивной пыли, загрязнение территорий шлаками, содержащими радиоактивные вещества, выбросы при сжигании ископаемого топлива на электростанциях; загрязнение территорий при авариях на атомных станциях и предприятиях [14]. Научная литература по различным аспектам негативного воздействия радионуклидов на живые организмы обширна.

Подводя итог, возможно, неполному анализу факторов изменения биогеохимических циклов веществ в биосфере, можно сделать вывод, что предсказанное В.И. Вернадским влияние человеческой деятельности на биосферу, как геологического фактора эволюции, огромно и протекает в более сжатые временные отрезки по сравнению с геологическими процессами и периодом формирования современного облика биосферы.

Антропогенная эволюция. Современный период антропогенных преобразований на планете можно сопоставить с переломными моментами в развитии биосферы. Преобразования биосферы становятся факторами дальнейшей эволюции ее важнейшего компонента — органического мира. Одним из первых В.И. Вернадский обосновал идею об эволюции поверхностной оболочки Земли

как о целостном процессе взаимодействия живых организмов и косной материи. Загрязнение окружающей среды в современных условиях входит в ряд ведущих абиотических факторов, воздействующих на популяции растений и животных. В последнее время в биологии все чаще появляются примеры, показывающие, что живые организмы реагируют на антропогенное загрязнение активными адаптивными процессами [15], [16]. В эволюции биосферы происходили природные катаклизмы и возникали экстремальные условия. Живые организмы, сталкиваясь с преодолением тех или иных неблагоприятных воздействий, в процессе эволюции вырабатывали механизмы защиты и сохранения жизнеспособности.

Загрязнение окружающей среды, бесспорно, создает экстремальные условия для жизни. С.С. Шварц [17] отмечал, что при изменениях любого фактора образа жизни, связанного с обитанием в более суровых условиях или же требующим вести более активный образ жизни, т.е. в любых экстремальных условиях, животные несут дополнительные энергетические затраты. Закономерности подобного характера выражены столь отчетливо, что они возводятся в ранг «законов». Бесспорно, загрязнение окружающей среды относится к экстремальным условиям. Способность выживать в условиях загрязнения регулируется различными механизмами: избегание, снижение чувствительности и клеточной проницаемости к ядам, повышение активности функциональных оксидаз, индукция металлотионеинов, секвестрование, усиленная экскреция экотоксикантов [1].

Накоплены многочисленные научные факты о генетических изменениях в популяциях животных под влиянием токсичного загрязнения, которые подтверждают существование антропогенной микроэволюции [15], [16], [18]. Основным выводом этих работ — в условиях загрязнения, с одной стороны, будет происходить потеря генетического разнообразия и накопление рецессивных мутаций; с другой — высокие концентрации загрязняющих веществ будут являться фактором селекции, которая направлена на отбор наиболее устойчивых генотипов, что неизбежно отразится на генетическом пуле. Редукция генетического разнообразия может увеличить устойчивость к определенному виду токсиканта, но снизить адаптивные возможности в целом популяций животных к другим стрессовым условиям. Селекция толерантных генотипов к действию загрязняющих веществ может сигнализировать, что популяция находится под давлением загрязнения длительный период.

Вместе с тем вопросы, каким образом влияние токсичных веществ отразится на генетической структуре популяции, к каким отдаленным последствиям приведут нарушения на молекулярно-клеточном и организменном уровне, пока не являются до конца выясненными и чрезвычайно важны в теоретической экологии.

Концепция критических нагрузок в ограничении антропогенных воздействий. В определении стратегии взаимодействия человека с природой все больше надо учитывать ныне идущий стихийный процесс эволюции биосферы, в котором сложно учесть все взаимообусловленные и отдаленные последствия нашего вмешательства в природные процессы. Основная задача в изучении эволюции биосферы, по мнению В.И. Вернадского, заключалась в установлении связи эволюции видов с механизмом биосферы, с ходом биогеохимических процессов [1].

Вместе с тем накопленный огромный эмпирический материал как о негативных воздействиях человека на сферы Земли, так и о преобразованиях органического мира требует принятия решений об ограничении нашего негативного влияния и сохранения благоприятных условий жизни. Очевидно, что развитие цивилизации остановить невозможно, поэтому биосфера будет эволюционировать и в дальнейшем, но направленность и скорость этого процесса во многом определяется и нашей деятельностью. Приведенные выше примеры показывают, что загрязнение приводит к каскадным изменениям глобальных биогеохимических циклов и, соответственно, к эволюции биосферы как необратимого процесса. В.И. Вернадский, отмечая качественный перелом в истории биосферы, писал: «Мы живем в исключительное время в истории нашей Планеты, в психозойскую эру, когда создается новое ее состояние — ноосфера и когда геологическая роль человека начинает господствовать в биосфере и открываются горизонты его будущего развития» [1]. Логичен вопрос: мысль В.И. Вернадского о ноосфере как состоянии гармоничной ко-эволюции человечества и природы — это утопия или достижимая цель с позиций современной науки?

В 1970-80-х гг., когда были осознаны все катастрофические последствия индустриальной деятельности на планете, была сформулирована концепция нормирования с учетом самоочищающей способности природных сред. Ряд западных ученых подверг ее ожесточенной критике, как легализующую загрязнение. Был выдвинут принцип «нулевого» сброса, который, по нашему мнению, утопичен. Бесспорно, принцип предотвращения загрязнения взамен борьбы с последствиями должен являться одним из основополагающих. Вопрос в том, как определить ту грань, «красную черту» допустимых, с нашей точки зрения, изменений?

До настоящего времени в российской практике, как и в большинстве зарубежных стран, решение об ограничении антропогенных нагрузок принимается на основе сопоставления измеренных концентраций отдельных загрязняющих веществ и сравнения их с предельно допустимыми значениями (ПДК). Не ново мнение, что система ограничений поступления загрязняющих веществ, основанная на данных о ПДК вредных веществ, несовершенна, не дает адекватной оценки состояния природных сред.

Последние десятилетия развитие получает концепция *критических нагрузок* — как научно-обоснованная стратегия предотвращения деградации природных комплексов и управления состоянием природных объектов [19]. Под критическими нагрузками понимается максимально допустимый поток поступления одного или нескольких загрязняющих веществ в экосистему, не вызывающий негативных изменений в наиболее чувствительных ее звеньях. В основе теории лежит решение сложных фундаментальных задач в области наук о Земле и о Жизни, таких, как закономерности поступления и поведения антропогенно-привнесенных элементов, взаимодействие с природными факторами, включение в естественный круговорот элементов в природе, а также механизмы антропогенной изменчивости биологических систем, устойчивость и пределы адаптации, отдаленные последствия влияния экотоксикантов на живые организмы. Без их изучения невозможно определить, как долго природная среда способна ассимилировать поток загрязнений без негативных последствий для живых систем, т.е. до каких разумных пределов можно воздействовать на окружающую среду.

Как показано выше, современный период характеризуется большим разнообразием антропогенно-индуцированных явлений в природе, когда на живые организмы воздействует результирующая всех прямых и опосредованных эффектов комплекса загрязнений, климатических факторов, изменения ландшафтов и биогеохимических циклов. Сложившаяся на сегодняшний день экологическая ситуация требует достоверных решений, приближающих нас к пониманию происходящих явлений в природе на *современном уровне знаний* и сохранению благоприятных условий жизнеобитания.

Можно привести ряд примеров из отечественной и международной практики, когда были выполнены расчеты по разработанным методам определения критических нагрузок, показавшие необходимый уровень снижения поступлений тех или иных опасных веществ в наземные и водные экосистемы. Полученные научно-обоснованные данные легли в основу принятия согласованных международных решений по уменьшению выбросов (Гетеборгская конвенция по снижению выбросов кислотообразующих газов, Стокгольмская конвенция по СОЗ, готовятся решения по ртути). Современная наука позволила рассчитать допустимый поток биогенных элементов в водные экосистемы, что привело к олиготрофикации ряда озер (включая Великие) и рек, восстановилось качество вод после закисления в ряде водоемов Скандинавии и Северной Америке.

Дискуссионной является проблема — до какой степени мы допускаем изменения конкретных сред? При выработке понятия допустимой экологической нагрузки необходимо задаться условиями «сохранения среды», т.е. в каких условиях и до какой степени человечество должно ограничивать свое воздействие на объекты окружающей среды? Очевидно, что для заповедных и урбанизированных территорий значения критических уровней могут быть различными и от этого изменятся требования к ограничению нагрузок.

Заключение. Рост народонаселения на планете и технический прогресс предполагает вовлечение новых ресурсов, формирование отходов производства, что неизбежно будет в дальнейшем воздействовать на природу. Эволюция биогеохимических циклов, экосистем, организмов будет протекать и в дальнейшем, насколько катастрофично — зависит от нашей деятельности. В связи с юбилеем великого мыслителя В.И. Вернадского отметим, что в современный период «научная мысль как планетарное явление» должна сосредоточиться на предотвращении деградации нашей природы. Развитие природоохранных без- и малоотходных технологий с учетом научно-обоснованных критических нагрузок на биосферу и ее экосистемы, реабилитация нарушенных территорий и акваторий — ключевое направление в сохранении жизнеобеспечивающих условий нашей Планеты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление / Отв. ред. А.Л. Яншин. М.: Наука, 1991. 270 с.
2. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Eds. Pachauri R.K., Reisinger A.). Geneva: IPCC, 2008. 104 p.
3. Нигматулин Р.И. Океан: климат, ресурсы, природные катастрофы // Вестник РАН. 2010. № 8. Т. 80. С. 675-689.

4. Bijma, J., Barange, M., Brander, L. et al. Impacts of ocean acidification // *Science*. 2008. Vol. 320. Pp. 336-340.
5. Monteith, D.T., Stoddard, J.L., Evans, C. D. et al. Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry // *Nature*. 2007. V. 450. Pp. 537-541; Iglesias-Rodriguez, D.M., Halloran, P.R., Rosalind, E.M. et al. Phytoplankton Calcification in a High-CO² World // *Science*. 2008. V. 320. Pp. 336-340.
6. Коплан-Дикс И.С., Алексеев В.Л. Географические закономерности структуры круговорота фосфора // *Эволюция круговорота фосфора и эвтрофирование природных вод*. Л.: Наука. 1988. С. 19-21.
7. Galloway, J.N. Acid deposition: perspectives in time and space // *Water, Air and Soil Pollut.* V. 85. 1995. Pp. 15-24.
8. Castle, J.W., Rodgers, J.H. Hypothesis for the role of toxin-producing algae in Phanerozoic mass extinctions based on evidence from the geologic record and modern environments // *Environmental Geosciences*. 2009. № 16. Pp. 1-239.
9. Моисеенко Т.И., Руднева И.И. Глобальное загрязнение и функции азота в гидросфере // *Доклады Академии наук*. 2008. № 3. Т. 420. С. 676-680.
10. Моисеенко Т.И. Закисление вод: факторы, механизмы и экологические последствия. М.: Наука, 2003. 276 с.
11. Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Гашкина Н.А. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. М.: Наука, 2006. 261 с.
12. Moiseenko, T.I., Gashkina, N.A., Dinu, M.I., Kremleva, T.A., Khoroshavin, V.Yu. Aquatic geochemistry of small lakes: effects of environment changes // *International Journal of Geochemistry*. 2013. №13. (в печати)
13. EPA. (United States Environmental Protection Agency, <http://www.epa.com>) International Council on Metals and the Environment. Persistence, bioaccumulation and toxicity. Washington: Parametrix Inc., 1995. 93 p.
14. Радиация, жизнь, разум. М.: Росатом, 2011. 104 с.
15. Большаков В.Н., Моисеенко Т.И. Антропогенная эволюция животных: факты и их интерпретация // *Экология*. 2009. № 5. С. 323-332.
16. Walker, C.H., Hopkin, S.P., Sibly, R.M., Peakall, D.B. Principles of Ecotoxicology (Second Edition). London: Taylor&Francis Ltd., 2001. 307 p.
17. Шварц С.С. Экологические закономерности эволюции. М.: Наука, 1980. 278 с.
18. Моисеенко Т.И. Водная токсикология: фундаментальные и прикладные аспекты. М.: Наука, 2009. 400 с.
19. Моисеенко Т.И. Теория критических нагрузок и ее приложение к определению воздействия кислотообразующих веществ на поверхностные воды // *Доклады РАН*. 2001. Т. 378. С. 250-253.

REFERENCES

1. Vernadskij, V.I. *Nauchnaja mysl' kak planetnoe javlenie* [Scientific Thought as a Planetary Phenomenon] / Executive ed. A.L. Janshin. М.: Nauka, 1991. 270 p. (in Russian).
2. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Eds. Pachauri R.K., Reisinger A.). Geneva: IPCC, 2008. 104 p.
3. Nigmatulin, R.I. The Ocean: Climate, Resources, and Natural Disasters. *Vestnik Rossiskoi Akademii Nauk — Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2010. Vol. 80. № 8. Pp. 675-689. (in Russian).
4. Bijma, J., Barange, M., Brander, L. et al. Impacts of Ocean Acidification // *Science*. 2008. Vol. 320. Pp. 336-340.
5. Monteith, D.T., Stoddard, J.L., Evans, C.D. et al. Dissolved organic carbon trends resulting from changes in atmospheric deposition chemistry // *Nature*. 2007. V. 450. Pp.

537-541; Iglesias-Rodriguez, D.M., Halloran, P.R., Rosalind, E.M. et al. Phytoplankton Calcification in a High-CO₂ World // Science. 2008. Vol. 320. Pp. 336-340.

6. Koplan-Diks, I.S., Alekseev, V.L. Geographical Principles of Phosphorous Cycle Structure // *Jevoljucija krugovorota fosfora i jevtrofirovanie prirodnyh vod* [Evolution of Phosphorous Cycle and Eutrophication of Natural Waters]. Leningrad: Nauka. 1988. P. 19-21. (in Russian).

7. Galloway, J.N. Acid deposition: perspectives in time and space // Water, Air and Soil Pollut. Vol. 85. 1995. Pp. 15-24.

8. Castle, J.W., Rodgers, J.H. Hypothesis for the role of toxin-producing algae in Phanerozoic mass extinctions based on evidence from the geologic record and modern environments // Environmental Geosciences. 2009. № 16. Pp. 1-239.

9. Moiseenko, T.I. Rudneva, I.I. Global pollution and nitrogen functions in the hydrosphere // *Doklady Akademii Nauk — Lectures of the Russian Academy of Sciences*. 2008. Vol. 420. № 3. Pp. 676-680. (in Russian).

10. Moiseenko, T.I. *Zakislenie vod: faktory, mehanizmy i jekologicheskie posledstviya* [Acidification of Water: Factors, Mechanisms and Ecological Consequences]. Moscow: Nauka, 2003. 276 p. (in Russian).

11. Moiseenko, T.I., Kudrjavceva, L.P., Gashkina, N.A. *Rassejannye jelementy v poverhnostnyh vodah sush: tehnofil'nost', bioakkumuljacija i jekotoksikologija* Dispersed Elements in Surface Inland Waters: Technophily, Bioaccumulation, and Ecotoxicology. Moscow: Nauka, 2006. 261 p. (in Russian).

12. Moiseenko, T.I., Gashkina, N.A., Dinu, M.I., Kremleva, T.A., Khoroshavin, V.Yu. Aquatic geochemistry of small lakes: effects of environment changes // International Journal of Geochemisrty. 2013. № 13. (in print).

13. EPA. (United States Environmental Protection Agency, <http://www.epa.com>) International Council on Metals and the Environment. Persistence, bioaccumulation and toxicity. Washington: Parametrix Inc., 1995. 93 p.

14. *Radiacija, zhizn', razum* [Radiation, Life, Mind]. Moscow: Rosatom, 2011. 104 p. (in Russian).

15. Bol'shakov, V.N., Moiseenko, T.I. Anthropogenic Evolution of Animals: Facts and Their Interpretation. *Jekologija — Ecology*. 2009. № 5. Pp. 323-332. (in Russian).

16. Walker, C.H., Hopkin, S.P., Sibly, R.M., Peakall, D.B. Principles of Ecotoxicology (Second Edition). London: Taylor&Francis Ltd. 2001. 307 p.

17. Shvarc, S.S. *Jekologicheskie zakonomernosti jevoljucii* [Environmental laws of evolution]. Moscow: Nauka, 1980. 278 p. (in Russian).

18. Moiseenko, T.I. *Vodnaja toksikologija: fundamental'nye i prikladnye aspekty* [Aquatic Ecotoxicology: Fundamental and Applied Aspects]. Moscow: Nauka. 2009. 400 p. (in Russian).

19. Moiseenko, T.I. Critical Load Theory and its Application to the Definition of the Effects of Acid-Forming Substances on Surface Waters. *Doklady RAN — Lectures of the Russian Academy of Sciences*. 2001. Vol. 378. Pp. 250-253. (in Russian).