

# INSITU-МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СРЕДЫ ОБИТАНИЯ: ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Левич А.П.<sup>1</sup>, Булгаков Н.Г.<sup>1</sup>, Максимов В.Н.<sup>1</sup>, Фурсова П.В.<sup>2</sup>

Контактный адрес электронной почты: [apl@chronos.msu.ru](mailto:apl@chronos.msu.ru)

<sup>1</sup> – д.б.н., биологический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова

<sup>2</sup> – к.ф.-м.н., биологический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова

*Предложена методология оценки и нормирования качества окружающей среды, основанная на анализе натурных наблюдений за экосистемами.*

## **НЕЭФФЕКТИВНОСТЬ НОРМАТИВОВ ПДК**

Для оценки качества окружающей человека среды в современной российской практике используют нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) в воде, воздухе, почве, получаемые в результате токсикологических лабораторных экспериментов на подопытных популяциях организмов. ПДК и аналогичные им по методам установления паллиативы ОДК, ОБУВ – законодательно утвержденные нормативы качества окружающей среды. Попытки разработчиков использовать в нормативных документах (например, в методиках расчета нормативов допустимых воздействий, целевых показателей качества среды, в методиках разработки схем комплексного использования природных объектов и т.п.) показатели, основанные не на лабораторных, а на природных данных, однозначно пресекаются как не соответствующие законодательству. Однако применение нормативов ПДК в системе охраны природы и здоровья человека вызывает целый ряд проблем, заставляющих обсудить экологическую эффективность этих нормативов и их адекватность целям экологического контроля. Перечислим некоторые из таких проблем:

1) Неблагополучие тестовой популяции в колбе фактически отождествляют с неблагополучием реальной экосистемы. Экстраполяцию нормативов ПДК на реальные природные объекты нельзя считать правомерной, поскольку эти нормативы определяют в лабораторных условиях в краткосрочных (дни) и хронических (недели) экспериментах на изолированных популяциях организмов, принадлежа-

щих к небольшому числу тестовых видов, по ограниченному набору физиологических и поведенческих реакций отдельных видов на отдельные факторы без какого-либо учета их возможного взаимодействия. Если в лабораторных опытах уровень ПДК представляет собой следствие неблагополучия в состоянии тестовой популяции, то при применении ПДК к природным объектам происходит подмена понятий, и границами между благополучными и неблагополучными состояниями экосистем полагают лабораторные величины ПДК.

2) Неправомерна экстраполяция нормативов, полученных на биологических видах (например, фитопланктонах, зоопланктонах, рыбах и т.д.), на человека, который может иметь совершенно иную чувствительность к загрязнителям, нежели указанные организмы. Другими словами, существующие подходы к оценке качества среды не различают природоцентрическую и антропоцентрическую составляющие экологического контроля.

3) Если в лабораторных опытах на тестовую популяцию воздействует единственный испытуемый фактор и предполагается, что действие остальных не приводит к неблагополучию, то в природных экосистемах нет изолированного действия факторов, т.е. все они одновременно влияют на каждую из биологических характеристик и могут одновременно приводить к неблагополучию. Нормативы ПДК устанавливаются на фоне поддержания постоянства условий эксперимента благодаря фиксированным уровням всех (кроме исследуемого) факторов.

4) ПДК применяют как единые нормативы для огромных административных территорий без учета степени адаптации отдельных популяций к окружающей среде в своем регионе обитания. ПДК не учитывают специфику функционирования экосистем в различных природно-климатических зонах (широтная и вертикальная зональность, биогеохимические провинции с естественными геохимическими аномалиями и различным уровнем содержания природных соединений), а значит, и их токсикорезистентность. Разные биогеохимические провинции могут отличаться друг от друга по содержанию в поверхностных водах свинца в 2000 раз, никеля – в 1350, цинка – в 500, меди – в 10000, хрома – в 17000 раз (Волков и др., 1993). Нередки следующие ситуации. В водоеме фоновые концентрации же-

леза на порядок превышают ПДК, однако водные организмы адаптированы к этим концентрациям и требуют у предприятий снижения содержания железа в стоках до концентраций ПДК бессмысленно. Или, наоборот, содержание хлоридов в водах значительно ниже ПДК, хотя есть данные о том, что хлориды даже при таких концентрациях негативно влияют на некоторые популяции водных организмов. Однако требовать уменьшения концентрации хлоридов в стоках невозможно, поскольку нормативы ПДК не нарушены.

5) Хозяйственную деятельность человека характеризует интенсивный рост количества различных химических соединений, как синтезированных, так и выделенных из природных объектов. Ежедневно в природную среду попадает множество новых соединений. При этом общее количество нормативов, например для водной среды, санитарно-бытового (1356) и рыбохозяйственного (1071) использования несравнимо с числом потенциально опасных для человека химических веществ, встречающихся в биосфере. Очевидно, что темпы синтеза новых веществ несоизмеримы с темпами нормирования их воздействий, что ставит под сомнение возможность обеспечить качество среды только на основе нормативов ПДК.

6) Кроме химических веществ, негативное влияние на биологические организмы, и человека в частности, оказывают многие другие факторы, например, тепловое, радиационное, электромагнитное, шумовое или биологическое загрязнение. И хотя контроль за многими "нехимическими" воздействиями в принципе возможен в лабораторных условиях, на практике никто не занимается определением соответствующих ПДК. В роли факторов, влияющих на показатели здоровья и демографии населения, выступают требующие нормирования экологические факторы, к которым в принципе не применимо понятие "допустимых концентраций", например, общее количество и количество уловленных и утилизированных выбросов в атмосферу; общее количество, количество загрязненных или количество неочищенных загрязненных сточных вод; количество твердых и жидких бытовых отходов, доля переработанных твердых отходов, количество опасных медицинских и биологических отходов, близость полигонов захоронения отходов,

число жителей в санитарно-защитных зонах; площадь зеленых насаждений; количество автотранспорта, тип моторного топлива на АЗС, доля электрического общественного транспорта; уровень экологического образования и просвещения; площадь особо охраняемых природных территорий и т.п.

7) Установленные при лабораторном биотестировании значения ПДК определенного вещества, вероятно, могут измениться при химическом взаимодействии с другими химическими компонентами и физическими факторами при их попадании в реальный природный объект. Кроме того, в результате химических реакций в окружающей среде происходит образование новых соединений, которые могут быть токсичнее или, наоборот, безвреднее исходных ингредиентов.

8) Существующие методы определения ПДК предусматривают расчет лишь максимально допустимых нагрузок на испытываемые популяции. В то время как к неблагоприятию биоты могут приводить или слишком низкие значения некоторых факторов или как высокие, так и низкие значения.

9) Превышение нормативов ПДК указывает на недопустимый уровень нагрузок, но ничего не говорит о вкладе тех или иных факторов в степень экологического неблагоприятия и о необходимой очередности мероприятий по улучшению экологической обстановки.

10) Использование в экологическом контроле нормативов ПДК оставляет открытым и вопрос о достаточности программ наблюдений за потенциально опасными факторами среды – все ли такие факторы учтены в системе мониторинга.

11) Универсальные нормативы ПДК одинаковы и для природных объектов различного целевого назначения (например, заповедные объекты, зоны рекреации, техногенные или урбанизированные территории, зоны свалок и т.д.), и не всегда различны для разных целей использования природных ресурсов (например, вода для питьевого водоснабжения, промышленных нужд или для полива сельскохозяйственных культур; почвы для выращивания растений или строительства и т.п.).

12) При установлении ПДК не учитывают различный трофический статус экосистем, сезонные особенности природных факторов, на фоне которых прояв-

ляется токсичность загрязняющих веществ (Фрумин, 2000). Токсичность кадмия, например, при изменении минерализации воды от 40 до 500 мг/л изменяется в 5 раз. Т.И.Моисеенко (1998) отмечает, что определение дозы воздействия только по токсичным компонентам не отражает адекватно состояние среды в водоеме при комплексном воздействии (эвтрофирование, изменение основных физико-химических условий и др.): даже при соблюдении ПДК в водоемах Субарктики возникают предпосылки для заболеваемости рыб.

## **INSITU-МЕТОДОЛОГИЯ**

Указанные выше и другие проблемы, с которыми сталкивается методология применения ПДК, неоднократно обозначены во многих публикациях по нормированию качества окружающей среды (см., например, Федоров, 1974; Абакумов, Сущеня, 1991; Максимов, 1991; Левич и др., 2004, 2011). Конструктивное решение указанных проблем должно опираться на следующие положения (Левич, 1994; Левич и др., 2004, 2011; 2012):

- ✓ Оценку состояния природных экосистем следует проводить не по уровням факторов среды, а по характеристикам биологических компонент (биологическим индикаторам).
- ✓ Эту оценку следует проводить *in situ*, а не *in vitro*.
- ✓ При установлении нормативов в лаборатории понятие экологической нормы возникает как конвенционально принятый порог тест-параметра подопытных организмов. Такой нормой может быть, например, объявленный экспертами уровень смертности в лабораторной популяции. Для природных экосистем желателен отказ от экспертного (субъективного) установления "красной черты" для биологических индикаторов. Другой подход – отклонением от экологической нормы признают статистически значимое превышение величин тест-параметра в опыте с дозами испытуемых веществ при сравнении с контрольным экспериментом. И такой подход в приложении к природным объектам нереалистичен, поскольку у исследователей нет в распоряжении другого – контрольного – эксперимента, кроме пассивного эксперимента, который человек "проводит" над природой (и самим собой) в

местах проживания и хозяйственной деятельности. Другими словами, необходимо введение научно обоснованного определения (и метода установления) "экологической нормы природного объекта".

- ✓ Необходимы научные, технологические и управленческие критерии для отбора адекватных целям экологического контроля биологических индикаторов состояния природных объектов. Ориентируясь антропоцентрическую, а не природоцентрическую составляющую системы экологического контроля, в качестве биологического индикатора состояния антропоной экосистемы следует выбирать характеристики популяции человека – показатели заболеваемости и демографии.
- ✓ Нормативы факторов среды следует устанавливать как уровни, не нарушающие норму экологического состояния для биологических индикаторов. Нормативы, полученные не в лаборатории, а по данным регионального или локального мониторинга, будут иметь в различные периоды функционирования экосистем региональный или локальный (как в пространстве, так и во времени) характер. Такие нормативы будут учитывать не изолированные вредные воздействия, а реально сложившиеся в природе их полные комплексы; многочисленные косвенные эффекты воздействий, совокупное влияние которых может быть более сильным, нежели прямое; а также отдалённые последствия воздействий на биоту.
- ✓ Метод установления нормативов должен позволять рассчитывать их не только для загрязняющих веществ, но и для факторов нехимической природы. Метод должен ограничивать не только высокие, но и низкие (если они существуют) допустимые значения факторов среды. Нормативы должны быть дифференцированы для природных объектов различного целевого назначения и для различных требований к качеству среды.
- ✓ Если данные мониторинга отсутствуют, то применение лабораторных нормативов ПДК оправдано. Нормативы ПДК играют упреждающую роль (Филенко, 2011): испытание вновь появляющихся веществ в лаборатории возможно задолго до накопления необходимых данных в природе.

- ✓ Приведём несколько цифр, которые разъясняют место "натурных" нормативов в системе контроля, основанной на нормативах ПДК. В биосфере циркулируют около  $5 \cdot 10^7$  веществ, тем или иным образом воздействующих на биоту. Нормативы ПДК установлены примерно для  $10^3$  веществ. В программах физико-химического мониторинга в России предусмотрено измерение около  $10^2$  характеристик. Соответственно, анализ натурных данных может предложить уточнение в пределах сотни нормативов ПДК (вместе с новыми нормативами для факторов нехимической или химической природы, для которых нормативы ПДК отсутствуют). Однако, именно эти  $10^2$  характеристик существенны для экологического благополучия в регионах, в силу чего они и были включены в программы локального мониторинга. Малое по сравнению с количеством установленных ПДК число возможных "натурных" нормативов связано не с ограничениями подхода, а с ограниченностью программ мониторинга. Востребованность новых нормативов может служить стимулом расширения этих программ.
- ✓ Анализ натурных данных должен не только выявлять факторы среды, приводящие к экологическому неблагополучию биологических индикаторов, но и позволять ранжировать такие факторы по вкладу в степень неблагополучия и оценивать достаточность программ наблюдения за ними.
- ✓ Внедрение *insitu*-методологии оценки качества среды должно быть сопровождено рядом правовых и управленческих решений: следует законодательно прописать возможность нормирования качества с учётом состояния и особенностей конкретных территорий и акваторий; следует совершенствовать системы сбора данных (экологический мониторинг и медицинскую статистику) в направлении повышения охвата и достоверности предоставляемых данных; следует *de facto* обеспечить доступ к таким данным для научных и прикладных целей.

Идея, реализующая биотическую концепцию перехода от лабораторных ПДК к "натурным" нормативам, казалось бы, лежит на поверхности: нужно проанализировать зависимости "доза-эффект" для факторов среды и биоиндикаторов. Од-

нако реализация этой идеи сталкивается с принципиальными и, как следствие, с методическими трудностями. Главные из них – следующие:

1) Необходимо сформулировать представление об экологической норме, поскольку, как указано выше, в концепции ПДК за нормальное состояние природной экосистемы неявно принимают ненарушенное состояние тестовой лабораторной популяции или отдельных организмов, на которых проводят опыты по установлению нормативов ПДК. Помимо представлений о норме и отклонениях от нее для природных и антропогенных объектов, необходим метод, позволяющий измерить степень благополучия-неблагополучия для состояний биоты (образно говоря, нужен "градусник" для экосистем).

2) Необходимо научиться работать не с "хорошо организованными" (точный термин – функциональными) зависимостями биологических характеристик от факторов окружающей среды, т.е. с зависимостями, обнаруживаемыми в лабораторных экспериментах, а с размытыми, неоднозначными, "плохо организованными" (нефункциональными) связями между экологическими переменными природных комплексов.

3) Необходимо по возможности суметь выделить из влияния на живые системы многих факторов окружающей среды влияние каждого из них, чтобы оценить вклад каждого фактора в неблагополучие и соответственно нормировать уровни его воздействия.

В Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова разработана *insitu*-технология контроля качества окружающей среды, включающая метод установления локальных экологических норм (Левич и др., 2004, 2011). Технология основана на анализе данных совместных наблюдений за характеристиками биоты и среды ее обитания в природных и антропогенных экосистемах и позволяет преодолеть предъявленные выше трудности анализа экологических данных.

Различные значения индикаторной характеристики соответствуют различным уровням благополучия-неблагополучия или, другими словами, принадлежат различным классам качества окружающей среды по биологическим показателям.



Исключительно важная черта *insitu*-методологии состоит в том, что, назначая биоиндикатор, специалист априорно не указывает границы между классами качества. Значения таких границ (их удобно называть границами экологической нормы для индикаторов (ГНИ)) представляют один из главных результатов совместного анализа биологических и физико-химических данных.

Второй главный результат применения *insitu*-методологии – границы нормы для факторов окружающей среды (ГНФ), разделяющие классы с различной степенью допустимости и недопустимости значений фактора. Допустимость и недопустимость значений трактуется в том смысле, что они приводят соответственно к благополучным и неблагоприятным значениям биологического индикатора. ГНФ играют роль границ классов качества окружающей среды по физико-химическим показателям.

Отметим вносимое *insitu*-методологией важное усовершенствование системы экологического контроля: полученные с ее помощью классы качества по биологическим и физико-химическим показателям не независимы друг от друга и полностью согласованы.

Величины ГНФ и ГНИ предлагается применять в качестве нормативов качества окружающей среды соответственно для физико-химических и биологических показателей. В простейшем случае двух классов качества (благополучные и неблагоприятные значения биоиндикатора и соответствующие им допустимые и недопустимые значения фактора) величины ГНФ играют роль, полностью аналогичную нормативам ПДК и могут быть использованы в этой роли при расчетах любых нормативных показателей (допустимых воздействий, сбросов и выбросов, попусков, схем комплексного использования природных объектов и т.п.).

В ряде нормативных документов (например, Водный кодекс РФ, ст. 33, 2006) предложен инструмент природоохранной деятельности – целевые показатели биологических и физико-химических характеристик среды. Однако утвержденные методические разработки таких показателей отсутствуют. Предлагаемый подход может стать недостающим методологическим основанием для расчетов целевых показателей.

Ещё одна экологическая проблема, в решении которой может помочь *insitu*-методология – трудности оценки фоновых концентраций веществ. Универсальные лабораторные нормативы ПДК бессмысленно применять в геохимических провинциях с различными фоновыми концентрациями веществ. В экологических расчетах в качестве норматива обычно выбирают максимальное значение из двух – ПДК и фонового значения. Для оценки фоновых значений нужны участки без антропогенных воздействий и достаточно длинные временные ряды измерения концентрации вещества. Проблема состоит или в отсутствии незатронутых воздействием человека участков, или, когда участки находятся, в отсутствии для них данных наблюдений. Замена лабораторных ПДК натурными нормативами – границами нормы факторов – снимает проблему расчётов фоновых концентраций, поскольку ГНФ найдены заведомо с учётом фоновых концентраций и адаптации к ним биоты в тех природных объектах, данные о которых использованы для анализа.

Отметим, что *insitu*-методология рассчитана на анализ, в первую очередь, данных государственного биологического и физико-химического мониторинга. Эти ретроспективные и современные данные существуют и будут накапливаться независимо от потребностей предлагаемого подхода (так же как и данные натуральных измерений других ведомств). Поэтому стоимость установления локальных норм определена только стоимостью компьютерных расчётов по анализу данных, что, несомненно, рентабельнее экспериментов по установлению в лабораториях нормативов ПДК.

## **ПРЕДПОСЫЛКИ И ОГРАНИЧЕНИЯ INSITU-МЕТОДОЛОГИИ**

Подчеркнём, что принятое понятие экологической нормы связано только с предысторией природного объекта. *Insitu*-методология не вносит в анализ данных мониторинга никаких модельных предпосылок или гипотез. Она не требует, чтобы распределения исходных данных удовлетворяли каким-либо статистическим критериям. Анализ состоит исключительно в подсчёте встречаемости благополучных и неблагополучных, допустимых и недопустимых значений экологических характеристик в предыстории, т.е. методология работает только с первич-

ными данными мониторинга. Insitu-методология не использует никакие априорные представления о благополучии и допустимости: установление соответствующих границ – главный результат работы подхода.

Insitu-методология не позволяет рассчитать границы нормы, если в предыстории не было влияния, приводящего к экологическому неблагополучию (или наоборот, не было благополучных состояний). Подход работоспособен только при наличии достаточного набора данных как биологического, так и физико-химического мониторинга (достаточность понимается как необходимость исключить случайные и недостоверные конфигурации данных). При отсутствии достаточных натуральных данных нормативы ПДК оказываются пока безальтернативными критериями качества природной среды.

Работа частично поддержана грантами РФФИ "Расчеты экологически допустимых уровней воздействия химических ингредиентов артезианских вод на показатели заболеваемости 17 классов болезней в возрастных когортах населения Тамбовской равнины" и "Теоретическое обоснование insitu-методологии установления локальных границ нормы экологических характеристик природных экосистем".

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Абакумов В.А., Сущеня Л.М. Гидробиологический мониторинг пресноводных экосистем и пути его совершенствования // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Труды международного симпозиума. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 41–51.
2. Водный кодекс РФ. Федеральный закон от 03.06.2006 №74-ФЗ, редакция 28.12.2010.
3. Волков И.В., Заличева И.Н., Ганина В.С. и др. О принципах регламентирования антропогенной нагрузки на водные экосистемы // Водные ресурсы. 1993. Т. 20. № 6. С. 707–713.

4. Левич А.П. Биотическая концепция контроля природной среды // Доклады РАН. 1994. Т. 337. № 2. С. 280-282.
5. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н. Теоретические и методические основы технологии регионального контроля природной среды по данным экологического мониторинга. М.: НИА-Природа, 2004. 271 с.
6. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Максимов В.Н., Рисник Д.В. "In situ"-технология установления локальных экологических норм // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 32-57.
7. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Барабаш А.Л. Использование данных о демографии и заболеваемости населения для установления стандартов качества окружающей среды // Здоровье человека и экология. М., 2012 (в печати).
8. Максимов В.Н. Проблемы комплексной оценки качества природных вод (экологические аспекты) // Гидробиол. ж. 1991. Т. 27. № 3. С. 8-13.
9. Моисеенко Т.И. Экотоксикологический подход к нормированию антропогенных нагрузок на водоемы Севера // Экология. 1998. № 6. С. 452–461.
10. Федоров В.Д. К стратегии биологического мониторинга // Биол. науки. 1974. № 10. С. 7–17.
11. Филенко О.Ф. Выступления // Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. С. 149-151.
12. Фруммин Г.Т. Экологически допустимые уровни воздействия металлами на водные экосистемы // Биол. внутр. вод. 2000. № 1. С. 125–131.

## INSITU-METHODOLOGY TO ASSESS THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT. BASICS

Levich A.P., Bulgakov N.G., Maximov V.N., Fursova P.V.

Biology Faculty of Moscow State University

*The new methodology of estimation and standardization of environmental quality, based on analysis of natural ecosystems monitoring, is offered.*