

# INSITU-МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СРЕДЫ ОБИТАНИЯ: О БИО-ИНДИКАТОРАХ

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

*К обсуждению предложена возможность использовать различные биологические индикаторы для определения качества природной среды. Отмечена необходимость применения инструментальных методов измерения индикаторных характеристик в режиме реального времени, в частности, показателей размерной структуры сообществ и флуоресценции растений. Уделено внимание перспективности биоиндикации на основе показателей демографии и заболеваемости человека.*

## ИНДИКАТОРЫ И ФАКТОРЫ

В Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова разработана insitu-технология контроля качества окружающей среды (Левич и др., 2004, 2011). Технология основана на анализе данных совместных наблюдений за характеристиками биоты и среды ее обитания в природных и антропогенных экосистемах.

Среди участвующих в анализе характеристик среды могут фигурировать не только химические вещества, но и любые измеряемые характеристики климата; водного режима; шумовых воздействий; электромагнитных, радиационных излучений и т.п. Для антропогенных экосистем среди влияющих на показатели здоровья и демографии характеристик среды обитания, кроме физико-химических факторов, могут быть социальные, экономические факторы, качество продуктов питания, питьевых вод и т.д. Например, в роли факторов, влияющих на качество городской среды, могут быть привлечены *экологические факторы* (концентрации загрязняющих химических веществ в воздухе и почвах; общее количество и количество уловленных и утилизированных выбросов в атмосферу; общее количество, количество загрязненных, количество неочищенных загрязненных сточных вод; количество твердых и жидких бытовых отходов, доля переработанных твердых отхо-

дов, количество опасных медицинских и биологических отходов, близость полигонов захоронения отходов, число жителей в санитарно-защитных зонах; площадь зеленых насаждений; шумовое загрязнение; количество автотранспорта, тип моторного топлива на АЗС города, доля электрического общественного транспорта; площадь особо охраняемых природных территорий); *климатические факторы* (средняя температура января, средняя температура июля, разность между среднеянварской и среднеиюльской температурами, количество солнечных дней в году, количество дождливых дней в году); *социальные факторы* (среднедушевая зарплата населения; количество жилой площади на душу населения; уровень экологического образования и просвещения; бюджет города на душу населения; количество культурных и спортивно-оздоровительных учреждений на душу населения и т.п.).

Первый необходимый и решающий для успеха экологического контроля этап методологии – выбор биоиндикатора: среди биологических характеристик мониторинга эколог-исследователь назначает ту, по значениям которой готов судить о степени благополучия-неблагополучия экосистемы (образно говоря, речь идет о выборе "градусника" для экосистемы). Выбор определен частными целями экологического контроля (благополучие биосферы, сохранение редких видов, экологическая безопасность населения и т.д.) и может опираться на научные, экономические, инструментальные, прецедентные и другие предпосылки. Приведем примеры биоиндикаторных показателей: численность или биомасса выделенных популяций организмов или их сообществ; показатели биологического разнообразия; относительные доли индикаторных организмов; индексы встречаемости индикаторных организмов в средах с различным уровнем загрязнения (индексы сапробности); показатели патологии органов у индикаторных организмов; доля организмов с генными мутациями; показатели флуктуирующей асимметрии организмов; размерная структура популяций и сообществ; уровень люминесценции или флуоресценции организмов; частота сердечного ритма индикаторных организмов; структура электрических сигналов, испускаемых организмами; смертность и

рождаемость в популяции; общая заболеваемость и заболеваемость отдельными категориями болезней у возрастных групп и популяции в целом. Применение *insitu*-методологии к различным индикаторам позволяет осуществить среди них аргументированный выбор, поскольку предоставляет для выбора конкретные количественные критерии: степень универсальности границы нормы индикатора для различных факторов, способность к индикации недопустимого воздействия широкого круга факторов, чувствительность к вариациям факторов, критерии точности и представительности поиска границ, степень полноты программы мониторинга факторов среды и другие.

### **ПРИНЦИП ИНСТРУМЕНТАЛЬНОСТИ**

В *insitu*-методологии биоиндикаторы оказываются востребованными не в академических целях, а для включения методов их определения в общегосударственную систему массового экологического контроля. Подчеркнем два обстоятельства, которые среди прочих могут влиять на выбор биоиндикаторов. Первое из них можно назвать принципом инструментальности: предпочтительны не "ручные", а приборные методы анализа биологических данных. Поясним формулировку на примере выбора индикаторных характеристик для фитопланктонных сообществ.

Использование индекса сапробности требует подсчета численностей организмов для видов-индикаторов сапробности в каждой пробе. Биолог обязан "узнавать в лицо" сотни видов, включенных в таблицы индикаторов. Такая работа требует высокой биологической квалификации и опыта.

При использовании показателей разнообразия сообществ уже не нужно знать "имена" конкретных видов – достаточно различать их между собой. Однако трудоемкая работа по подсчету численностей клеток по-прежнему остается достаточно квалифицированной ручной процедурой.

Есть основания предложить в качестве биоиндикаторов показатели размерной структуры (ПРС) фитопланктонных сообществ (Рисник и др., 2011). Определение размеров клеток может быть полностью автоматизировано в режиме реаль-

ного времени (метод проточной цитофлуориметрии, подсчет численности и объема клеток с помощью счетчика Коултера, применение цифровой обработки изображений (Лях и др., 2002). Применение ПРС для биоиндикации подразумевает квалифицированную предварительную проработку: обоснование разбиения множества клеток в пробе на размерные классы; выбор способа количественного расчета ПРС; создание методики отделения влияния на индикаторы факторов, связанных с качеством среды, от влияния других факторов; исследование влияния на индикаторные свойства ПРС погрешностей в определении размеров клеток и их численностей; поиск в диапазоне измерения ПРС "красной черты", отделяющей экологическое благополучие от неблагополучия, и, наконец, создание программного обеспечения для аппаратных комплексов по измерению размеров и количеств клеток, преобразующего результаты измерений в результаты экологического контроля – оценки состояния экосистем, пригодные для реализации всех других этапов *insitu*-технологии: диагностики, нормирования, прогноза, управления качеством и др. После того, как проделана указанная методическая работа, аппаратно-программные комплексы могут единообразно работать во всей сети экологического контроля, не требуя для обработки биологических проб привлечения высококвалифицированных специалистов в каждой точке наблюдения.

Еще более перспективен для биоиндикации, на наш взгляд, показатель эффективности фотосинтеза, основанный на инструментальном измерении флуоресценции растений. Фотосинтез лежит в основе всех биологических процессов на Земле, чувствителен к широкому кругу факторов, поэтому может быть предложен как наиболее фундаментальный, универсальный и распространенный индикатор качества среды в самых различных биотопах. Приборная база для измерения флуоресценции давно разработана и широко применяется для биологических и экологических наблюдений (Погосян и др., 2009; Маторин и др., 2010; 2012). Создание методико-информационного обеспечения, позволяющего по показателям флуоресценции судить об экологическом состоянии природных объектов, позволит

превратить измерение флуоресценции в действенный on-line инструмент экологического контроля.

## **ПРИНЦИП АНТРОПОЦЕНТРИЗМА**

Второе важное для системы экологического контроля обстоятельство можно назвать принципом антропоцентризма (Смуров, 2007). Кроме цели охраны природы в широком ее понимании, у экологического контроля есть цель обеспечения экологической безопасности населения. Имея в виду последнюю, не будет ли более правильным использовать в качестве биоиндикаторов характеристики популяции самого человека? Необходимые в качестве индикаторов показатели существуют в многолетних и объемных данных медицинской статистики. Это региональные и локальные показатели рождаемости и смертности, а также заболеваемости, дифференцированные по возрастным группам и по группам болезней. In situ-технология способна выделить влияние качества среды на фоне многих других факторов, определяющих величину демографических и медицинских показателей.

Ряд упомянутых в статье биоиндикаторов апробирован в работах авторов и их соавторов: показатели сапробности фитопланктона (Левич и др., 2004), показатели видовой структуры фитопланктона (Максимов и др., 2009; Левич и др., 2004; 2009; 2010; Булгаков и др., 2010), показатели размерной структуры фитопланктона (Рисник, 2011а, б, в; 2013; Рисник и др., 2011), показатели флуоресценции фитопланктона (Левич, 2011; Рисник, Рыбка, 2011; Левич и др., 2012а; 2013), показатели демографии и заболеваемости человека (Булгаков и др., 2011; 2013; Левич и др., 2012б).

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 in situ-методологии установления локальных границ нормы экологических характеристик природных экосистем".

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булгаков Н.Г., Будилова Е.В., Левич А.П., Гончаров И.А. Использование методов анализа массивов многомерных данных для исследования зависимостей показателей рождаемости и смертности населения РФ от экологических и социальных факторов // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем. С-Пб.: Институт озераедения РАН, 2011. С. 25-31.
2. Булгаков Н.Г., Левич А.П., Гончаров И.А., Будилова Е.В., Максимов В.Н. Биоиндикация и диагностика состояния антропоных экосистем России по показателям демографии и заболеваемости населения с помощью метода установления локальных экологических норм. 2013 (в печати).
3. Булгаков Н.Г., Рисник Д.В., Левич А.П., Милько Е.С. Анализ экологического состояния вод для отдельных створов Нижней Волги на основе биоиндикации по показателям видового разнообразия фитопланктона // Вода: химия и экология. 2010. № 12. С. 27-34.
4. Левич А.П. Что может дать метод установления экологических норм для поиска сопряженностей между биотическими и абиотическими характеристиками природных экосистем // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы. Борок, 2011. С. 138-142.
5. 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., 2012б (в печати).
6. 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.
7. 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.
8. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Рисник Д.В., Бикбулатов Э.С., Бикбулатова Е.М., Ершов Ю.В., Конюхов И.В., Литвинов А.С., Осипов В.А., Отюкова Н.Г.,

- Поддубный С.А., Пырина И.Л., Степанова И.Э., Цельмович О.Л. К обоснованию границ классов в классификаторах качества вод // Вода и водные ресурсы: системообразующие функции в природе и экономике: сб. науч. тр. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012а. С. 240-246.
9. Левич А.П., Булгаков Н.Г., Рисник Д.В., Э.С. Бикбулатов, Е.М. Бикбулатова, Ю.В. Ершов, И.В. Конюхов, А.И. Копылов, Л.Г. Корнева, В.И. Лазарева, А.С. Литвинов, В.А. Осипов, Н.Г. Отюкова, С.А. Поддубный, И.Л. Пырина, Е.А. Соколова, И.Э. Степанова, О.Л. Цельмович. Поиск связей между биологическими и физико-химическими характеристиками экосистемы Рыбинского водохранилища. Часть 3. Поиск границ классов качества вод // Компьютерные исследования и моделирование. 2013 (в печати).
  10. Левич А.П., Забурдаева Е.А., Максимов В.Н., Булгаков Н.Г., Мамихин С.В. Поиск целевых показателей качества для биоиндикаторов экологического состояния и факторов окружающей среды (на примере водных объектов бассейна Дона) // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 6. С. 730-742.
  11. Левич А.П., Рисник Д.В., Булгаков Н.Г., Милько Е.С., Леонов А.О. Методические вопросы применения показателей видового разнообразия фитопланктона для анализа качества вод Нижней Волги // Использование и охрана природных ресурсов России. М.: НИИ-Природа, 2010. № 5. С. 44-48. № 6. С. 33-37.
  12. Лях А.М., Суворов А.М., Брянцева Ю.В. Обзор методов количественного учета фитопланктона // Системы контроля окружающей среды. Сб. науч. тр. НАН Украины. МГИ: Севастополь, 2002. С. 425-430.
  13. Максимов В.Н., Соловьев А.В., Левич А.П., Булгаков Н.Г., Абакумов В.А., Терехин А.Т. Методика экологического нормирования воздействий на водоемы, не нормируемых методами биотестирования (на примере водных объектов бассейна Дона) // Водные ресурсы. 2009. Т. 36. № 2. С. 335-340.
  14. Маторин Д.Н., Осипов В.А., Яковлева О.В., Погосян С.И. Определение состояния растений и водорослей по флуоресценции хлорофилла. М.: МАКС Пресс, 2010. 116 с.

15. Маторин Д.Н., Осипов В.А., Рубин А.Б. Методика измерений обилия и индикации изменений состояния фитопланктона в природных водах флуоресцентным методом. Теоретические и практические аспекты. М.: Альтекс, 2012. 138 с.
16. Погосян С.И., Гальчук С.В., Казимирко Ю.В., Конюхов И.В., Рубин А.Б. Применение флуориметра "МЕГА-25" для определения количества фитопланктона и оценки состояния его фотосинтетического аппарата // Вода: химия и экология. 2009. № 2. С. 34-40.
17. Рисник Д.В. Подходы к выделению размерных классов и определению показателей размерной структуры фитопланктонных сообществ Волжского бассейна // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Самара: Изд-во Самарского НЦ РАН, 2011а. Т. 13 (39). №1 (4). С. 882-890.
18. Рисник Д.В. Показатели размерной структуры фитопланктона в диагностике экологического состояния водных объектов Нижней Волги // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы. Борок, 2011б. С. 159-163.
19. Рисник Д.В. Анализ влияния сезонных и географических факторов, особенностей отбора и обработки проб на биоиндикационный потенциал размерной структуры сообществ фитопланктона Волги // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем II. С-П.: Любавич, 2011в. С. 119-124.
20. Рисник Д.В. Диагностика экологического состояния вод бассейна Нижней Волги по показателям размерной структуры фитопланктона. 2013 (в печати).
21. Рисник Д.В., Левич А.П., Булгаков Н.Г., Радченко И.Г. Показатели размерной структуры фитопланктонных сообществ и анализ их изменчивости на фоне сезонных, географических и метрологических вариаций // Актуальные проблемы экологии и природопользования. Вып. 13: Сборник научных трудов. М.: РУДН, 2011. С. 171-187.
22. Рисник Д.В., Рыбка К.Ю. О методе поиска сопряженностей между биологическими и физико-химическими характеристиками для натуральных данных на



примере экосистемы Рыбинского водохранилища // Мологский край и Рыбинское водохранилище. М.: МАКС Пресс, 2011. С. 169-175.

23. Смуров А.В. Устойчивое развитие – экономика или экология? // Экономическая эффективность развития России / Под ред. проф. К.В.Папенова. М.: Экономический факультет МГУ, ТЕИС, 2007. С. 541–549.

## INSITU-METHODOLOGY TO ASSESS THE QUALITY OF THE ENVIRONMENT: ABOUT BIOINDICATORS

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

Biology Faculty of Moscow State University

*The possibility to use various biological indicators to determine environmental quality is proposed to discuss. Need for use of instrumental methods of measuring of indication characteristics in real time regime, in particular, indices of size communities structure and plant fluorescence, is marked. Attention to the prospects of biological indication, based on indicators of demography and human disease, is paid.*