

*С. С. Беднаржевский, В. П. Голубятников, Е. С. Захариков,
Г. И. Смирнов, Н. Г. Шевченко*

О КОРРЕЛЯЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ДАННЫХ БИОТЕСТИРОВАНИЯ И ЭКОАНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАЙОНАХ НЕФТЕДОБЫЧИ

С применением методов математического моделирования исследованы взаимосвязи информационных данных биотестирования и результатов физико-химического анализа экологического состояния объектов окружающей природной среды в районах интенсивной добычи нефти и газа. Выявлены статистически значимые линейные зависимости между данными биотестирования и аналитических методов контроля степени загрязненности почв, поверхностных и грунтовых вод.

Введение

Традиционные оценки экологического состояния окружающей природной среды в районах интенсивной нефтедобычи сводятся к измерению с помощью высокоинформативных физико-химических методов анализа содержания нефтепродуктов, тяжелых металлов, других токсичных веществ в поверхностных и грунтовых водах, почве, донных отложениях и сравнению полученных результатов с предельно допустимыми их концентрациями или исходным (фоновым) содержанием для аналогичных территорий, не испытывающих техногенную нагрузку. Наряду с аналитическими методами контроля показателей экологической безопасности природных объектов начинают широко использоваться методы биологического тестирования, позволяющие оценить всю совокупность свойств исследуемой среды с позиции восприятия ее живыми тест-объектами, выступающими в роли биодатчиков. Биотесты выявляют интегральные характеристики качества среды, поскольку позволяют оценить суммарную степень воздействия загрязняющих веществ на тест-объект и экстраполировать полученные результаты для оценки воздействия на человека [1–3].

Несмотря на существенный прогресс в решении этой проблемы, ряд теоретических и практических вопросов остаются недостаточно изученными. В частности, не изучена взаимосвязь между экоаналитическими данными загрязненности объектов окружающей среды и результатами их биотестирования, не исследована степень влияния отдельных показателей на интегральную оценку токсичности.

В настоящей работе представлены результаты математического моделирования взаимосвязи информационных данных биотестирования и результатов физико-химического анализа почвенного покрова, донных отложений, поверхностных и грунтовых вод, полученных при проведении экологических исследований территории Сургутского района Ханты-Мансийского автономного округа.

§ 1. Методика исследования

Экологические исследования объектов окружающей среды проводились с применением общепринятых аттестованных методик анализа. При калибровке приборов и измерительных комплексов использовали процедуру построения оптимальной калибровочной модели по набору государственных стандартных образцов [4] и реализующую ее программу линейной калибровки [5]. Биотестирование осуществлялось с использованием тест-объекта инфузория туфелька — *Paramecium caudatum* по хемотаксической реакции [6].

В соответствии с методическими рекомендациями по применению требований к определению исходной (фоновой) загрязненности компонентов природной среды, проектированию и ведению системы экологического мониторинга в границах лицензионных участков недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа [7] физико-химическими методами определялись тринадцать показателей. В поверхностных и грунтовых водах измеряли: pH , взвешенные вещества, сухой остаток, удельную электропроводность, свинец, цинк, марганец, железо, ионы аммония, фосфаты, сульфаты, хлориды, нефтепродукты. При исследовании загрязненности поверхностных вод дополнительно определялось биологическое потребление кислорода. Общее количество проанализированных проб поверхностных вод — 194, грунтовых вод — 71.

При исследовании экологического состояния донных отложений аналитическими методами контролировались следующие параметры: нефтепродукты, pH , хлориды, железо, свинец, цинк, марганец, ртуть, хром и никель. Общее число измеренных проб донных отложений — 71. В почвах физико-химическими методами определялись следующие показатели: нефтепродукты, фосфаты, железо, свинец, цинк, марганец, ртуть, хром, гумус, хлориды, никель, бензапирен и pH . Всего были исследованы 54 пробы почв.

§ 2. Моделирование корреляционных связей биотестов и методов аналитического контроля в экологии

2.1. Взаимосвязь биотестирования и физико-химического анализа поверхностных вод. В результате математической обработки данных экологических исследований поверхностных вод методами регрессионного анализа получена математическая модель, связывающая результаты биотестирования и данные, полученные с помощью физико-химических методов:

$$y = 0,38504 - 0,02998X_1 - 0,01439X_2 + 0,00047X_3 + 0,00164X_4 - 0,01994X_5 - \\ - 11,86840X_6 + 1,93199X_7 - 0,08594X_8 - 0,00932X_9 - 0,04641X_{10} + \\ - 0,11686X_{11} + 0,00033X_{12} - 0,00450X_{13} + 0,06207X_{14}, \quad (1)$$

где y — данные биотестирования, выраженные в виде индекса токсичности; X_i — измеренные показатели исследованных материалов и веществ; X_1 — pH ; X_2 — взвешенные вещества; X_3 — сухой остаток; X_4 — удельная электропроводность; X_5 — биологическое потребление кислорода; X_6 — свинец; X_7 — цинк; X_8 — марганец; X_9 — железо; X_{10} — ионы аммония; X_{11} — фосфаты; X_{12} — сульфаты; X_{13} — хлориды; X_{14} — нефтепродукты.

Результаты математической обработки показали, что гипотеза об отсутствии какой бы то ни было линейной связи между данными биотестирования и результатами физико-химических анализов отклоняется. Расчетное значение F -критерия Фишера $F(14, 179) = 5,67$ больше табличного значения равного 1,52 для уровня значимости $\alpha < 0,000001$, что говорит о высокой степени достоверности установленной взаимосвязи. Коэффициент множественной корреляции между данными биотестирования и результатами физико-химических анализов составляет 0,55.

После обработки исходных данных методом пошаговой множественной регрессии результирующая модель с отбракованными незначимыми факторами принимает вид

$$y = 0,398934 + 0,001885X_4 + 1,909868X_7 - 0,00444X_{13}, \quad (2)$$

где X_4 — удельная электропроводность; X_7 — цинк; X_{13} — хлориды.

Коэффициент множественной корреляции для этого случая уменьшился незначительно и составил 0,54.

Результаты математической обработки исходных данных, где результаты биотестирования выражаются не в виде индекса токсичности, а степенью токсичности, демонстрирует следующая модель:

$$\begin{aligned} y = & 1,45654 - 0,03368X_1 + 0,00359X_2 + 0,00033X_3 + 0,00334X_4 - \\ & - 0,01313X_5 + 12,04961X_6 + 5,09092X_7 - 0,20132X_8 - 0,01142X_9 - \\ & - 0,10209X_{10} - 0,00999X_{11} - 0,00057X_{12} - 0,00708X_{13} - 0,1609X_{14}. \end{aligned} \quad (3)$$

Коэффициент множественной корреляции для этого случая равен 0,53, что незначительно отличается в меньшую сторону от предшествующего результата. Это свидетельствует о том, что токсичность можно выражать как в единицах индекса токсичности, так и в единицах степени токсичности. При этом первый вариант более предпочтителен, так как для него коэффициент множественной корреляции несколько больше (0,55).

2.2. Исследование корреляции результатов биотестирования и физико-химического анализа экологического состояния грунтовых вод. В результате математической обработки данных экологических исследований грунтовых вод методами регрессионного анализа получена следующая математическая модель:

$$\begin{aligned} y = & 126,9591 - 0,8998X_1 + 0,0333X_2 + 0,0446X_3 + 327,4875X_4 - \\ & - 38,5664X_5 - 2,3012X_6 - 0,5535X_7 - 2,1778X_8 - 14,4489X_9 + \\ & + 0,2227X_{10} - 0,1335X_{11} - 38,5779X_{12}, \end{aligned} \quad (4)$$

где y — данные биотестирования, выраженные в виде индекса токсичности; X_1 — pH , X_2 — сухой остаток, X_3 — удельная электропроводность, X_4 — свинец, X_5 — цинк, X_6 — марганец; X_7 — железо, X_8 — ионы аммония, X_9 — фосфаты, X_{10} — сульфаты, X_{11} — хлориды, X_{12} — нефтепродукты. Результаты расчетов указывают на то, что гипотеза об отсутствии какой бы то ни было линейной связи между данными биотестирования и результатами физико-химических анализов отклоняется. Расчетное значение F -критерия Фишера $F(12, 58) = 2,43$ больше табличного значения равного 1,92 для уровня значимости $\alpha < 0,01256$, что говорит о высокой степени достоверности установленной взаимосвязи. Коэффициент множественной корреляции между данными биотестирования

и результатами физико-химических анализов составляет 0,58. После обработки данных методом пошаговой множественной регрессии результирующая модель с отбракованными незначимыми факторами примет вид:

$$y = 122,5812 + 0,0383X_3 - 2,2122X_6, \quad (5)$$

где X_3 — удельная электропроводность, X_6 — марганец.

Коэффициент множественной корреляции для этого случая уменьшился незначительно и составил 0,54.

2.3. Исследование результатов биотестирования и физико-химического анализа донных отложений. После обработки данных экологического состояния донных отложений получена следующая математическая модель:

$$y = 95,150 + 0,732X_1 + 3,568X_2 + 13,313X_3 - 1,374X_4 + 230,525X_5 + \\ + 53,296X_6 - 13,126X_7 - 101,073X_8 - 43,072X_9 + 5,085X_{10}, \quad (6)$$

где y — данные биотестирования, выраженные в виде индекса токсичности, X_1 — нефтепродукты, X_2 — рН, X_3 — хлориды, X_4 — железо, X_5 — свинец, X_6 — цинк, X_7 — марганец, X_8 — ртуть, X_9 — хром, X_{10} — никель.

Статистический анализ полученной модели показал, что какая бы то ни было линейная связь между данными биотестирования и результатами физико-химических анализов отсутствует. Расчетное значение F -критерия Фишера $F(10, 37) = 1,17$ меньше табличного значения равного 2,19 для уровня значимости $\alpha < 0,34081$, что говорит об отсутствии корреляции между данными биотестирования и результатами аналитических анализов.

2.4. Исследование взаимосвязи результатов биотестирования и физико-химического анализа экологического состояния почв. Результаты математической обработки результатов исследования экологического состояния почв демонстрирует следующая модель:

$$y = 134,588 + 0,255X_1 + 2,292X_2 + 0,337X_3 - 106,787X_4 + \\ + 15,592X_5 + 6,011X_6 - 53,158X_7 + 160,081X_8 + 0,003X_9 + \\ + 0,119X_{10} + 65,662X_{11} + 125,028X_{12} - 3,503X_{13}, \quad (7)$$

где y — данные биотестирования, выраженные в виде индекса токсичности, X_1 — нефтепродукты, X_2 — фосфаты, X_3 — железо, X_4 — свинец, X_5 — цинк, X_6 — марганец, X_7 — ртуть, X_8 — хром, X_9 — гумус, X_{10} — хлориды, X_{11} — никель, X_{12} — бензапирен, X_{13} — рН. Результаты расчетов показывают, что гипотеза об отсутствии какой бы то ни было линейной связи между данными биотестирования и результатами физико-химических анализов отклоняется. Расчетное значение F -критерия Фишера $F(13, 40) = 2,77$ больше табличного значения равного 2,00 для уровня значимости $\alpha < 0,00670$, что говорит о высокой степени достоверности установленной взаимосвязи. Коэффициент множественной корреляции между данными биотестирования и результатами физико-химических анализов составляет 0,69. После обработки данных методом пошаговой множественной

регрессии результирующая модель с отбракованными незначимыми факторами примет вид:

$$y = 136,7681 - 56,9748X_7 - 3,5908X_{13} + 9,2611X_6, \quad (8)$$

где X_6 — марганец, X_7 — ртуть, X_{13} — pH .

Коэффициент множественной корреляции для этого случая уменьшился незначительно и составил 0,67.

§ 3. Выводы

1. Установлены статистически значимые линейные зависимости между данными биотестирования экологического состояния поверхностных вод (тест-объект инфузория туфелька — *Paramecium caudatum*) и результатами их физико-химических анализов. Данные биотестирования, выраженные в виде индекса токсичности, имеют несколько более высокую степень связи с результатами аналитических измерений (коэффициент множественной корреляции 0,55), чем при представлении этих же данных в виде степени токсичности (коэффициент множественной корреляции 0,53).

Из определяемых в поверхностных водах 14 показателей: pH , взвешенные вещества, сухой остаток, удельная электропроводность, биологическое потребление кислорода, свинец, цинк, марганец, железо, ионы аммония, фосфаты, сульфаты, хлориды и нефтепродукты наиболее значимыми являются удельная электропроводность, содержание цинка и хлоридов (коэффициент множественной корреляции 0,53).

2. Выявлена статистически значимая линейная зависимость между данными биотестирования экологического состояния грунтовых вод и 12 показателями (pH , сухой остаток, удельная электропроводность, свинец, цинк, марганец, железо, ионы аммония, фосфаты, сульфаты, хлориды и нефтепродукты). Из них наиболее значимыми являются удельная электропроводность и содержание марганца (коэффициент множественной корреляции с данными биотестирования 0,54).

3. Показано, что зависимость между данными биотестирования и результатами физико-химических анализов для донных отложений статистически не значима.

4. Получена линейная модель, адекватно описывающая корреляционную связь между результатами биотестирования экологического состояния почв и данными их физико-химического анализа. Из оцениваемых в почвах 13 показателей (нефтепродукты, фосфаты, железо, свинец, цинк, марганец, ртуть, хром, гумус, хлориды, никель, бензапирен и pH) наиболее значимыми при использовании тест-объекта инфузория являются показатели содержания марганца, ртути и pH , которые имеют коэффициент множественной корреляции с данными биотестирования 0,67.

Список литературы

1. Никоноров А. М., Жулидов А. В. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. Л.: Гидрометеиздат, 1991.
2. Никоноров А. М., Хоружая Т. А., Бражникова Л. В. и др. Мониторинг качества вод: оценка токсичности. СПб.: Гидрометеиздат, 2000.

3. *Биоиндикация* и биомониторинг: Сб. ст. АН СССР, Ин-т эволюции, морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова / Отв. ред. Криволицкий Д. А. М.: Наука, 1991.
4. Акинина Е. В., Беднаржевский С. С., Голубятников В. П. и др. Моделирование калибровочных функций для технологий системного анализа качества и сертификации биоматериалов // Сиб. журн. индустриальной математики. 2005. Т. 8, № 3. С. 3–7.
5. Беднаржевский С. С., Шевченко Н. Г., Гавриленко Т. В. и др. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2006613662. Программа линейной калибровки измерительных комплексов (RU). Заяв. 06.07.2006. Зарег. 20.10.2006.
6. *Методика* определения токсичности воды по хемотаксической реакции инфузорий. СПб.: ООО «Спектр-М», 2003.
7. *Методические* рекомендации по применению Требований к определению исходной (фоновой) загрязненности компонентов природной среды, проектированию и ведению системы экологического мониторинга в границах лицензионных участков недр на территории Ханты-Мансийского автономного округа. Ханты-Мансийск: ГП «Полиграфист», 2004.

Материал поступил в редколлегию 17.11.2006

Адреса авторов

БЕДНАРЖЕВСКИЙ Сергей Станиславович
ЗАХАРИКОВ Евгений Сергеевич
ШЕВЧЕНКО Николай Гаврилович
РОССИЯ, 628400, Ханты-Мансийский АО
г. Сургут, ул. Энергетиков, 14
тел.: (383) 339-73-29
e-mail: sbed@mail.ru

СМИРНОВ Геннадий Иванович
РОССИЯ, 630090, г. Новосибирск
пр. Акад. Коптюга, 1
Институт автоматизации и электрометрии СО РАН
e-mail: smirnov.g.i@iae.nsk.su

ГОЛУБЯТНИКОВ Владимир Петрович
РОССИЯ, 630090, г. Новосибирск
пр. Акад. Коптюга, 4
Институт математики СО РАН
e-mail: glbtn@math.nsc.ru