

## **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ НА КАЧЕСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**

*Предлагаются математические зависимости для анализа влияния деятельности нефтедобывающих предприятий Западной Сибири на загрязнение водных ресурсов в районах нефтедобычи.*

*Ключевые слова: математические зависимости, нефтедобывающие предприятия, водные ресурсы.*

*М.А. Galiev*

## **ANALYSIS OF THE PETROLEUM INDUSTRY'S INFLUENCE IN WESTERN SIBERIA ON THE QUALITY OF WATER RESOURCES**

*Mathematical relationships for analysis of the influence of petroleum enterprises' industry in Western Siberia on the pollution of water resources in oil-producing regions were made.*

*Key words: mathematical relationships, petroleum producing enterprises', water resources.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 17 марта 2015 г.

### **Актуальность исследований**

Ускоренный рост добычи, подготовки и транспортировки нефти, объёмов разведывательного и эксплуатационного бурения скважин значительно повысили экологическую опасность воздействия нефтегазовых производств, в первую очередь, на водные объекты. Поэтому существует настоятельная необходимость специального изучения проблемы охраны водных ресурсов и анализа влияния нефтедобывающих предприятий на состояние воды водных источников в районах нефтедобычи.

В качестве объекта исследований выбраны нефтедобывающие предприятия *Западно-Сибирского нефтегазового комплекса (ЗСНГК)*. Западная Сибирь (Тюменская и Томская области) является основным нефтегазодобывающим регионом страны. Происходящее в последние годы бурное развитие ЗСНГК влечёт за собой загрязнение, в первую очередь, водных ресурсов (поверхностных водоемов и подземных пресноводных горизонтов).

Результаты проведенных автором исследований показывают, что основными причинами загрязнения водных ресурсов на нефтедобывающих предприятиях служат многочисленные аварийные ситуации с нарушениями герметичности оборудования и коммуникаций (порывы нефтепроводов и водоводов, нарушение герметичности скважин и другого оборудования, разливы сточных вод, нефти и т.д.), несоблюдение правил охраны окружающей среды.

Загрязнение водных объектов нефтепромыслами носит в основном периодический, стационарный характер и имеет большую рассредоточенность по территории нефтяных районов.

Как показала практика, выделяемые для целей охраны водных ресурсов большие капитальные вложения не дают ощутимых результатов, что объясняется нерациональным их распределением. Такая ситуация требует построения научно обоснованных математических зависимостей показателей качества водных объектов (их загрязненность) от интенсивности видов нефтедобывающих работ, которые будут использованы для определения приоритетов водоохраных мероприятий на нефтедобывающих предприятиях.

### **Методика исследования**

Поскольку реальные природные механизмы, влияющие на содержание загрязняющих веществ в водоисточниках (самоочищение водных объектов, поступление загрязнений из атмосферы и т.д.) не известны, то наиболее приемлемым подходом к построению зависимостей является кибернетический. При таком подходе абстрагируются от исходной системы и рассматривают лишь внешние проявления её функционирования. В нашей ситуации такими внешними проявлениями являются, с одной стороны, – наиболее экологически значимые параметры интенсивности видов нефтедобывающих работ, с другой стороны, – оценочные показатели, характеризующие качества водных объектов (содержание в них загрязняющих веществ).

Одним из методов кибернетического моделирования является *метод группового учёта аргументов (МГУА)*, который может быть применен при малом числе наблюдений за исследуемой многофакторной системой. Поэтому применение МГУА в изучении зависимости качества водных ресурсов от технологических процессов нефтедобычи в Западной Сибири можно считать оправданным, поскольку целенаправленные наблюдения здесь ведутся относительно непродолжительное время (то есть малый объём выборки). Ещё одной отличительной особенностью МГУА является то, что с его использованием можно обнаружить синергизмы – одновременное влияние сразу нескольких экологически значимых параметров интенсивности нефтедобычи на показатели качества воды водоисточников.

Проведём анализ связей между результатами наблюдений за качеством водных объектов и интенсивностью наиболее экологически значимых технологических процессов нефтедобычи, исследованное на примере ЗСНГК. Анализ проведён с использованием пакета прикладных программ "COPR", разработанного на кафедре вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного университета [2].

Интенсивность нефтедобывающих работ ЗСНГК характеризуется взятыми для исследования двадцатью семью наиболее экологически значимыми параметрами деятельности нефтедобывающих предприятий ЗСНГК, представленными в табл. 1.

## Используемые показатели деятельности нефтепромыслов ЗСНГК

Показатели $x$	Наиболее экологически значимые показатели деятельности нефтедобывающих предприятий ЗСНГК
$x_1$	Общий объём водопотребления
$x_2$	Общий объём водоотведения
$x_3$	в том числе:
$x_3$	нормативно очищенных сточных вод
$x_4$	после биологической очистки
$x_5$	объём оборотно и повторно используемой воды
$x_6$	Процент обводнённости нефти
$x_7$	Общий фонд скважин
$x_8$	Объём добычи нефти
$x_9$	Получено всего сточных вод
$x_{10}$	Получено пластовых вод
$x_{11}$	Объём использования сточных вод для <i>поддержания пластового давления (ППД)</i>
$x_{12}$	Объёмы закачки сточных вод в поглощающие скважины
$x_{13}$	Процент утилизации сточных вод в системе ППД от их общего объёма
$x_{14}$	Процент утилизации сточных вод в системе ППД от объёма пластовых вод
$x_{15}$	Длина нагнетательных водоводов
$x_{16}$	Длина магистральных и низконапорных водоводов
$x_{17}$	Количество шламовых амбаров
$x_{18}$	Количество аварий на магистральных трубопроводах
$x_{19}$	Количество потерь нефти при авариях на магистральных трубопроводах
$x_{20}$	Количество аварий промысловых сетей сбора нефти
$x_{21}$	Количество разлитой нефти при авариях промысловых сетей сбора нефти
$x_{22}$	Количество собранной нефти при авариях промысловых сетей сбора нефти
$x_{23}$	Площадь загрязнения территории нефтепромыслов при авариях промысловых сетей сбора нефти
$x_{24}$	Процент удовлетворения потребностей в ингибиторах коррозии нефтепромыслового оборудования и трубопроводов
$x_{25}$	Количество разрабатываемых месторождений
$x_{26}$	Общая мощность очистных сооружений
$x_{27}$	Капвложения в охрану водных ресурсов

Качество воды водных объектов отражено десятью показателями  $y_i$ . В этот перечень включены наиболее экологически значимые информативные индикаторные показатели, которые являются наиболее оптимальным и достаточно полно характеризуют степень экологической опасности изменений (загрязнения) состава природных вод нефтяных регионов (табл. 2).

Выбор данных оценочных показателей, характеризующих качество (то есть уровень загрязнения) водных объектов обусловлен следующими обстоятельствами.

**Используемые индикаторные показатели качества  
водных объектов региона ЗСНГК**

<b>Показатели у</b>	<b>Наиболее значимые индикаторные показатели качества водных объектов региона нефтепромыслов</b>
у <sub>1</sub>	Содержание нефтепродуктов
у <sub>2</sub>	ХПК воды водных объектов
у <sub>3</sub>	БПК <sub>5</sub> воды водных объектов
у <sub>4</sub>	Содержание в воде химреагентов, используемых в процессе бурения скважин, добыче, подготовке и транспортировки нефти – неионогенных поверхностно-активных веществ
у <sub>5</sub>	<i>pH</i> воды водных объектов
у <sub>6</sub>	Общая минерализация воды
у <sub>7</sub>	Содержание азота аммиака
у <sub>8</sub>	Перманганатная окисляемость
у <sub>9</sub>	Содержание в воде азота нитратов
у <sub>10</sub>	Содержание в воде азота нитритов

Как показали проведённые ранее исследования на целом ряде нефтяных месторождений страны, основными источниками загрязнения природных вод на нефтепромыслах являются нефть и нефтепродукты, минерализованные пластовые и сточные нефтепромысловые воды, шламы, получаемые при бурении и нефтеподготовке, а также различные химреагенты (ингибиторы коррозии, парафино- и солеотложения, деэмульгаторы и диспергенты нефти и т.д.).

Сточные воды нефтепромыслов образуются в результате смешения различных вод, как пресных, так и высокоминерализованных, извлекаемых совместно с нефтью. Воды, входящие в сточные воды нефтепромыслов, различаются по своим физико-химическим свойствам и подразделяются на следующие типы: I – пластовые, извлекаемые совместно с нефтью; II – технические, расходуемые на различные нужды нефтепромысла в процессе обезвоживания и обессоливания нефти; III – атмосферные, периодически выпадающие на территории нефтепарка и нефтепромысла и отводимые вместе с другими водами; IV – бытовые, образующиеся в местах обслуживания работников нефтепарков (душевые, мойка полов в насосных станциях и т.д.).

После использования в установках подготовки нефти (где происходит отделение нефти от пластовой воды) образующиеся сточные воды становятся одним из основных загрязнителей поверхностных водоемов и подземных пресных вод. Это обуславливается тем, что для нефтепромысловых сточных вод характерны повышенная минерализация, высокое содержание в них нефти и нефтепродуктов, механических примесей и химических реагентов, используемых в технологических процессах. К этому следует добавить, что качество сточных вод различных нефтяных месторождений зависит от геологических свойств месторождения, времени начала его разработки, технической оснащённости и т.д.

Бурение скважин связано с разрушением горных пород и образованием шлама, который удаляется из скважин промывочной жидкостью. Шламы, промывочная жидкость, химические реагенты, применяемые для обработки промывочных жидкостей (обычно это поверхностно-активные вещества), выбуренная порода, буровые сточные воды, а также утяжелители – основные загрязнители водных ресурсов и почвы в процессе бурения скважин. Химический состав и физико-химические свойства буровых сточных вод и шлама разнообразны и различаются как на разных буровых, так и в процессе бурения одной и той же скважины. Эти воды загрязнены нефтью, смазочными маслами, химическими реагентами, солями и т.д. Непостоянство состава буровых сточных вод и шлама создаёт основные трудности их очистки.

В исследованиях использовались результаты наблюдений, которые были централизованы и нормированы. При работе пакета "COPR", математические зависимости строились полиномиальным алгоритмом МГУА и рассматривались члены не выше квадратичных (то есть синергизм лишь второго порядка).

Поскольку данные предварительно нормировались, то значение коэффициентов в математических зависимостях могут служить количественной мерой влияния соответствующего параметра (интенсивности нефтедобычи или синергизма) на изучаемый показатель качества воды водных объектов.

Определённую сложность представляет собой интерпретация полученных результатов. Покажем, как она осуществляется на примере основных показателей качества водных ресурсов.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

Влияние параметров нефтедобывающей деятельности на содержание в воде водных объектов нефтепродуктов отражается в зависимости  $y_1 = 1,06x_2 + 0,3x_{23} - 0,28x_{24}$ , из которой следует, что наибольшее влияние на увеличение нефтепродуктов в воде оказывает общий объём водоотведения ( $x_2$ ). Вторым по степени влияния является параметр  $x_{24}$  – процент удовлетворения потребностей нефтедобывающих предприятий в ингибиторах коррозии нефтепромыслового оборудования. При нынешнем удовлетворении потребностей небольшое увеличение использования ингибиторов коррозии (а построенные зависимости дают адекватные действительности результаты лишь при малых изменениях параметров) влечёт за собой уменьшение содержания в воде водных объектов нефтепродуктов. Это означает, что добиться желаемых результатов по снижению содержания в водных объектах нефтепродуктов и охране водных ресурсов можно только при значительном увеличении параметра  $x_{24}$ , лишь тогда произойдёт качественное изменение зависимости  $y_1$  от  $x_{24}$ . Самое маленькое влияние на содержание в воде нефтепродуктов оказывает площадь загрязнения при авариях на промысловых сетях сбора нефти (параметр  $x_3$ ).

Формула  $y_2 = 0,43x_8 - 0,47x_{11} - 0,73x_{15} + 1,04x_{20}$  отражает зависимость **химического потребления кислорода (ХПК)** воды водных объектов от интенсивности нефтедобывающих работ. Здесь самое большое влияние на увеличение ХПК оказывает параметр воды  $x_{20}$  – количество аварий промышленных сетей сбора нефти и значительно меньшее (в 2,5 раза) – объём добычи нефти ( $x_8$ ). Значительное влияние параметра  $x_{20}$  объясняется, очевидно, значительной пространственной распределённостью промышленных сетей сбора нефти, поэтому при авариях захватывается большая территория. Уменьшают ХПК параметры  $x_{15}$  – длина нагнетательных водоводов сточных вод (чем они меньше, тем менее уровень ХПК воды водоисточников) и  $x_{11}$  – объём использования сточных вод для поддержания пластового давления. Очевидно, эти параметры взаимосвязаны.

Влияние параметров интенсивности процессов нефтедобычи на БПК<sub>5</sub> (биохимическое потребление кислорода водой в течение 5 суток) отражается в формуле  $y_3 = -0,59x_{24} + 1,06x_{27} + 0,03x_{19}x_{23}$ . Здесь фигурируют следующие параметры:  $x_{19}$  – количество потерь нефти при авариях на магистральных трубопроводах,  $x_{23}$  – площадь загрязнения при авариях на промышленных путях сбора нефти,  $x_{24}$  – процент удовлетворения потребности нефтепромыслов в ингибиторах коррозии,  $x_{27}$  – капитальные вложения в охрану водных ресурсов. Как видно из модели, наибольшее влияние на БПК<sub>5</sub> оказывает параметр  $x_{27}$ . Очевидно, это связано с тем, что капитальные вложения в охрану водных ресурсов используются, в основном, для развития средств очистки стоков и они в недостаточной степени направлены на предотвращение существующих аварий на нефтепромыслах, которые в определенной степени приводят к загрязнению водоисточников и отрицательно влияют на БПК, водных ресурсов. Несколько уменьшает содержание БПК<sub>5</sub> увеличение в воде водных объектов процента удовлетворения потребностей в ингибиторах коррозии ( $x_{24}$ ). Однако влияние параметра  $x_{24}$  оказывает вдвое меньшее воздействие, чем  $x_{27}$ . Кроме того, некоторое влияние оказывает синергизм  $x_{19}x_{23}$ , когда при одном и том же количестве потерь нефти увеличение содержания БПК<sub>5</sub> в воде водоёмов будет наблюдаться при увеличении площади загрязнения.

В последние десятилетия для наращивания темпов добычи нефти в России осуществляется широкая программа химизации отрасли, направленная на снижение себестоимости и повышение качества нефтепродуктов. Из всех химреагентов, нашли наибольшее применение неионогенные **поверхностно-активные вещества (ПАВ)**. Отдельные процессы нефтедобычи вообще не могут быть осуществлены без применения данных реагентов. ПАВ практически на всех промыслах страны используются при бурении скважин и вскрытии продуктивных пластов, для повышения производительности нагнетательных и эксплуатационных скважин, заводнении нефтяных пластов с целью повышения их нефтеотдачи, подготовке нефти и транспортировке, очистки промышленных сточных вод, борьбы с коррозией нефтепромыслового оборудования и т.д. Однако, проведённые нами исследования доказали, что ПАВ могут загрязнять водные ресурсы нефтедобывающих районов.

В связи с изложенным, на установление связи между содержанием ПАВ в воде водных объектов (также как и содержанием нефтепродуктов) и нефтедобывающей деятельностью предприятий нами было уделено особое внимание.

Проведённый анализ показал, что содержание в воде ПАВ определяется довольно простой формуле  $y_4 = 1,08x_{17} + 0,3x_{24}$ . То есть на уровень загрязнения водных объектов ПАВ самое сильное влияние оказывает число шламовых амбаров ( $x_{17}$ ). Некоторое увеличение процента удовлетворения потребностей в ингибиторах коррозии ( $x_{24}$ ) приводит к увеличению содержания в воде водных ресурсов неионогенных ПАВ. Увеличение количества в воде ПАВ в зависимости от использования ингибиторов коррозии объясняется тем, поверхностно-активные вещества входят в состав практически всех используемых ингибиторов. Очевидно, что для уменьшения этого влияния необходимо резко увеличить параметр  $x_{24}$ , тогда произойдёт качественное изменение влияния этого параметра.

Влияние нефтедобывающих работ на  $pH$  воды водных объектов отражается в формуле  $y_5 = 0,02x_{12} - 0,47x_{13} + 0,91x_{26}$ . Отсюда видно, что на  $pH$  воды самое сильное влияние оказывает мощность очистных сооружений. Слабо влияет на  $pH$  водных объектов закачка сточных вод в поглощающие скважины, а увеличение процента утилизации сточных вод нефтепромыслов в системе поддержания пластового давления уменьшает  $pH$  воды поверхностных и подземных водоисточниках нефтяных районов.

Общая минерализация водных объектов задаётся формулой  $y_6 = -0,78x_{26} - 0,04x_4x_{27} + 0,87x_{22}x_{24}$ , из которой видно, что увеличение мощности очистных сооружений ( $x_{26}$ ) влечёт за собой уменьшение минерализации. Также уменьшает минерализацию (но в значительно меньшей мере) синергизм  $x_4x_{27}$  ( $x_4$  – отведение сточных вод, полученных в результате биологической очистки,  $x_{27}$  – капитальные вложения в охрану водных ресурсов). Данный синергизм можно интерпретировать, очевидно, интенсивностью развития средств очистки сточных вод. В то же время, на увеличение минерализации воды влияет синергизм  $x_{22}x_{24}$  ( $x_{22}$  – количество собранной нефти при авариях,  $x_{24}$  – процент удовлетворения потребностей в ингибиторах коррозии).

Формула  $y_7 = 0,59x_{19} + 0,98x_{21} + 0,06x_{23}$  отражает зависимость содержания в воде азота аммиака от параметров деятельности нефтедобывающих предприятий. Наибольшее влияние на увеличение азота аммиака оказывает параметр  $x_{21}$  – количество разлитой нефти при авариях промысловых сетей сбора нефти; некоторое влияние оказывает  $x_{23}$  – площадь загрязнения территории при этом и  $x_{19}$  – количество потерь нефти при авариях на магистральных трубопроводах. Данная зависимость для специалистов, знакомых с процессами самоочищения водных объектов при загрязнении нефтью не требует особого специального объяснения.

Содержание в водных объектах азота нитратов выражается следующей формулой:  $y_9 = -0,1x_{15} + 1,21x_{17} - 0,16x_{22}$ . Отсюда следует, что наибольшее влияние на содержание азота нитратов оказывает параметр  $x_{17}$  (количество шламовых амбаров). В то же время увеличение длины нагнетательных водоводов ( $x_{15}$ ) и увеличение количества собранной нефти при авариях промысловых сетей сбора нефти ( $x_{22}$ ), несколько уменьшает загрязненность водных объектов азотом нитратов от сточных вод.

Содержание азота нитритов в зависимости от нефтедобывающей деятельности выражается следующей формулой  $y_{10} = 0,6x_7 + 0,81x_{13}x_{16} + 0,03x_{18}x_{19}$ . Наибольшее влияние здесь оказывает синергизм  $x_{13}x_{16}$ , где  $x_{13}$  – процент утилизации сточных вод в системе поддержания пластового давления от общего объёма сточных вод,  $x_{16}$  – длина магистральных и низконапорных водоводов. Этот синергизм отражает аварийность при перекачке сточных вод и их использовании в системе ППД. Примерно такое же влияние оказывает параметр  $x_7$  – общий фонд скважин. Очень малое влияние у синергизма  $x_{18}x_{19}$ . Здесь  $x_{18}$  – количество аварий на магистральных трубопроводах,  $x_{19}$  – количество потерь нефти при этом. Смысл данного синергизма для специалистов очевиден.

Зависимость перманганатной окисляемости воды водных объектов от интенсивности процессов нефтедобычи задаётся формулой  $y_8 = -0,62x_9 - 1,62x_9 - 1,32x_6x_{19} - 0,1x_7x_{22}$ . Как отсюда видно, все параметры и их синергизмы влияют на  $y_8$  отрицательно, то есть увеличение параметров влечет уменьшение перманганатной окисляемости. Причём сильное влияние оказывает синергизм  $x_6x_{19}$ , где  $x_6$  – процент обводнённости нефти,  $x_{19}$  – количество потерь нефти при авариях на магистральных трубопроводах. Очевидно, этот синергизм отражает степень очистки нефти от воды (то есть степень обезвоживания сырой нефти). В два раза меньшее влияние оказывает параметр  $x_9$  – общий объём сточных вод на нефтепромыслах. Ещё меньшее влияние оказывает синергизм  $x_7x_{22}$ . Здесь  $x_7$  – общий объём скважин,  $x_{22}$  – количество собранной нефти при авариях промысловых сетей сбора нефти. Этот синергизм отражает площадь, обработанную при сборе нефти.

Таким образом, предлагаемый методический приём позволяет обнаружить связи и установить их качественное выражение в следующих специфических для изучаемой системы условиях: объём выборки мал; связи нелинейные; существенная многомерность (многофакторность) системы и необходимость выявления синергизмов; отсутствие априорной информации о механизме функционирования системы.

Проведённые исследования показали, что разработанный методический подход может быть составным компонентом в проведении экологических исследований причин загрязнения водных ресурсов и даёт возможность органам, отвечающим за экологическую безопасность, повысить эффективность предупредительного и текущего надзора с целью профилактики загрязнения окружающей среды. Перенос разработанного подхода на программное обеспечение в персональный компьютер может служить основой для составления системы поддержки принятия решений и информационно-советующей системы для руководителя различного уровня.



Результаты проведённых исследований позволяют сформулировать следующие **выводы**:

1. Использование эмпирических зависимостей, построенных методом группового учёта аргументов, позволяет (в отличие от других методов) отслеживать совместное влияние (синергизмов) сразу нескольких показателей промышленной деятельности на параметры окружающей среды. Метод группового учёта аргументов является достаточно надёжным, позволяющим находить значимые синергизмы в условиях малого объёма выборки. Результаты применения МГУА для натуральных данных продемонстрирована работоспособность и эффективность предложенного подхода.

2. Капитальные вложения в охрану водных ресурсов Западной Сибири к настоящему времени дают недостаточные результаты. Это, кроме малого объёма вкладываемых средств, также можно объяснить ещё двумя факторами: низкой эффективностью их использования и (или) тем, что объём направляемых средств ниже порога чувствительности системы "процессы нефтедобычи – качество водных объектов".

3. С увеличением числа наблюдений адекватность используемых зависимостей существенно возрастает.

4. Предложенный подход рекомендуется использовать органами экологического надзора при экспертизе и оценке планов водоохранных мероприятий на действующих промыслах и при экспертизе проектов вновь осваиваемых нефтяных месторождений.

#### **Литература**

1. *Ивахненко А.Г., Юрачковский Ю.П.* Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. М.: Радио и связь, 1987. 129 с.

2. *Брусиловский П.М., Фридлянд А.М.* ППП анализа и прогнозирования временных рядов коллективом предикторов "COPR" // Анализ и прогноз многолетних временных рядов: сб. науч. трудов. Новосибирск, 1988. С. 35-44.