

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 556+502/504

А.Б. ЛИСЕНКОВ, Б.И. КОРОЛЕВ

МЕТОД КОСВЕННОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ
АНАЛИЗА ЛАНДШАФТНОЙ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрена новая методика составления системных моделей для оценки, диагностирования и прогноза качества подземных вод, которая предполагает включение в прогнозные модели максимального числа факторов, влияющих на формирование и изменение химического состава подземных вод. Опыт реализации системных моделей представлен на примере решения задачи для территории одного из нефтяных месторождений Западной Сибири.

Современные требования к оценке гидрогеологической информации и составлению геоэкологических прогнозов определяют необходимость системного подхода, использование которого в гидрогеологии до настоящего времени носит декларативный характер, а сам подход можно оценить как комплексный. Применение системного подхода ограничивается описанием свойств природно-техногенных [3] или эколого-гидрогеологических систем [1] в их взаимосвязи и взаимодействии с окружающей средой, что очень важно для всесторонней оценки изучаемых систем и служит базой для прогнозных решений. Однако реализация прогнозов осуществляется с использованием традиционных гидродинамических или гидрогеохимических моделей, в математической постановке детерминированных (численные решения дифференциальных уравнений фильтрации с учетом или без учета кинетики сорбции) или вероятностных. Наиболее близки к системным термодинамические модели [5], так как связывают термодинамические параметры системы вода—порода с процессами водообмена. Однако они не работают в системах, характеризующихся интенсивным массообменом, формирующихся в районах с разноплановой техногенной нагрузкой. Оценка и прогнозирование состояния гидрогеологических систем в современных условиях требуют оценки и включения в системные модели всех возможных признаков, характеризующих состояние системы на всех уровнях ее описания: от ландшафтно-климатического до экосистемного и гидрогеологического.

Методика решения задачи. В качестве аппарата для составления системных эколого-гидрогеологи-

ческих моделей использован информационный анализ [2, 6], позволяющий:

1. Оценивать информативность признаков, описывающих эколого-гидрогеологические условия района x_i по отношению к выходной функции Y , характеризующей степень загрязнения подземных вод.

2. Сократить исходную информацию, исключив неинформативные признаки.

3. Последовательным перебором объединять единичные признаки x_i в сложные $x_k \otimes x_n$, состоящие из 2, 3, 4 и более. Окончательно число признаков, входящих в системную модель, устанавливается по величине взаимной информативности $I(Y: x_k \otimes x_n)$, которая в идеале должна стремиться к величине полной информации, содержащейся в выходном признаке $I(Y)$.

4. Составлять обучающую матрицу T из наиболее информативных сложных признаков $x_k \otimes x_n$. На основе T информационная модель обучается с целью минимизации ошибки диагностирования Δ .

5. Диагностировать значения выходной функции Y для территорий изоморфных в эколого-гидрогеологическом отношении, на базе которой составлена матрица T .

Таким образом, оптимальная по величине информативности, числу сложных признаков $x_k \otimes x_n$ и их сочетаний в различных узлах модели матрица T является системной информационной моделью для той части территории, на базе которой составлена. Дальнейшая работа с матрицей T осуществляется в режиме «распознавания образов» [6].

Эксперт, работая в диалоге с ЭВМ, последовательно предъявляет матрице T объекты (узлы моде-

льной сетки) изучаемой части территории и по характерным для них сложным признакам $x_k \otimes x_n$ определяет оптимальные значения выходной функции Y . Следуя алгоритму задачи в обратном направлении, можно прийти к решению задачи управления, которая в информационной постановке формулируется следующим образом: регулируя сложные признаки $x_k \otimes x_n$ по величине x_i и их сочетанию, вывести значения выходной функции Y на заданную (оптимальную) траекторию. В соответствии с поставленной задачей управление заключается в формировании оптимальных решений по регулированию параметров техногенной нагрузки в пределах изучаемой территории с целью реабилитации качества подземных вод Y .

Исходная информация для составления системных моделей получена при анализе материалов экологического аудита одного из нефтегазовых месторождений, расположенного на границе Нижневартовского района и Томской области. Исходный материал представлен серией специальных карт: ландшафтных, экологических, географо-ботанических, гидрологических и гидрогеологических, характеризующих техногенную нагрузку на поверхность территории и гидrolитосферу.

При анализе исходной информации выделены девять обобщенных показателей:

x_1 — наличие на территории различных техногенных объектов (скважины, постройки и т.д.); x_2 — плотность застройки территории продуктопроводами (км/км²); x_3 — плотность застройки территории дорогами с твердым покрытием (км/км²); x_4 — плотность застройки территории грунтовыми дорогами (км/км²); x_5 — плотность застройки территории насыпными дорогами (км/км²); x_6 — геоморфолого-ландшафтные условия; x_7 — нарушения ландшафтов, вызванные хозяйственной деятельностью человека (гари, вырубки, сельскохозяйственные угодья, сенокосы,); x_8 — наличие на территории крупных техногенных объектов (промышленных площадок, разливов нефти); x_9 — степень экологической опасности, формирующейся вследствие техногенной нагрузки.

Геоморфолого-ландшафтные условия (x_6) определялись на основе анализа карты структуры природно-территориальных комплексов. Выделены три основных геоморфологических элемента: голоценовая пойма р. Обь, в том числе русло, протоки, озера; позднеледниковая голоценовая слабодренированная 1-я надпойменная терраса; позднеледниковая голоценовая дренированная 2-я терраса р. Обь. Каждый из выделенных ландшафтно-геоморфологических элементов характеризуется определенными литолого-фациальными, геоботаническими, гидрогеологическими условиями, которые определяют степень дренированности, следовательно, интенсивность и условия массопереноса загрязнений. В соответствии с принятой градацией каждому из выделенных элементов был присвоен соответствующий ранг.

Степень экологической опасности территории (x_9) аналогично проранжирована и определялась в совокупности со спецификой природно-террито-

риальных комплексов в пределах региона и направленностью поверхностного и подземного стока, которые влияют на условия строительства на изучаемой территории различных техногенных объектов или полностью ее исключают.

Методика получения показателей x_1 — x_5 , x_7 , x_8 требует минимальных пояснений, так как они определялись стандартно. Плотность линейных объектов оценивалась как суммарная их протяженность в пределах модельного блока, отнесенная к его площади показателей (x_1 — x_5). Показатели x_7 , x_8 определялись как отсутствие (0), наличие (1) и максимальное влияние (2) соответственно нарушений ландшафтов или крупных техногенных объектов на экологическое состояние территории.

Гидрогеохимическая реакция грунтовых вод на техногенное воздействие (Y) задавалась в виде концентраций нефтепродуктов в грунтовых водах, которые в них накапливаются под влиянием различных типов техногенной нагрузки.

Решение задачи. Первоначально исследуемая территория разбивалась на 547 блоков размером 1×1 км, к центрам которых были приведены значения всех показателей, задаваемых в экспертных оценках. Для проведения моделирования район разделили на три приблизительно равные по площади части: обучающую, контрольную и прогнозную.

Далее выполнялось обучение информационной модели. Оценка информативности единичных признаков x_i по отношению к Y показала, что все признаки малоинформативны и величина $I(Y : x)$ составила в среднем 6%. Компоновка сложных признаков также не дала существенного прироста информативности. Чистые признаки не выделены, а максимальная информативность сложных четверных признаков была не выше 37% (для сложного признака $x_1 \otimes x_2 \otimes x_6 \otimes x_9$). В процессе обучения информационной модели размеры блоков были увеличены до 3×3 км, а выбор ячеек для обучения модели определялся по принципу неоднородности экологического состояния территории. Таким образом, в обучающую часть модели включались преимущественно соседние блоки с разными значениями выходного показателя Y . Этот шаг привел к общему повышению информативности единичных и сложных признаков в целом. Наиболее информативные одиночные признаки: x_5 19,1% (общая протяженность насыпных дорог), x_6 29,4% (геолого-геоморфологические основы ландшафта), x_9 25,8% (показатели экологической опасности). Объединение признаков в сложные, состоящие из двух—четырёх единичных, также привело к дальнейшему повышению информативности. Двойные признаки $x_5 \otimes x_9$ имели информативность 64,5%, $x_5 \otimes x_6$ — 62,7%, $x_2 \otimes x_6$ — 72%. Тройные признаки обладали информативностью $\approx 75\%$, а четверной $x_2 \otimes x_5 \otimes x_6 \otimes x_9$ — 87,1%. Подобное объединение простых признаков в сложные позволяет заключить, что загрязнение грунтовых вод нефтепродуктами определяется наличием на изучаемой территории линейных коммуникаций, прямо или косвенно связанных с транспортировкой нефтепро-

дуктов (x_1, x_5). Кроме того, интенсивность загрязнения грунтовых вод зависит от геоморфологических (x_6) и экологических условий x_9 . Было выполнено тестирование модели на контрольной части территории. Полученная ошибка распознавания составила 41%, что выше допустимого уровня. В процессе дальнейшего обучения модели она была «огрублена» и число рангов выходного показателя Y снижено с трех до двух (0 — нет превышения ПДК по содержанию нефтепродуктов в воде, 1 — концентрация нефтепродуктов превышает ПДК). В результате повысилась и информативность большинства одиночных признаков. Выделен «чистый» признак $x_2 \otimes x_6 Y = 100\%$, который позволяет однозначно определить зависимость интенсивности загрязнения грунтовых вод нефтепродуктами от геолого-геоморфологических условий территории и плотности застройки ее нефтепроводами. Для уточнения ситуации составлены тройные признаки: $x_2 \otimes x_5 \otimes x_6$ и $x_1 \otimes x_5 \otimes x_9$, их информативность составила 76,4%. Таким образом, подтвержден вывод о том, что увеличение

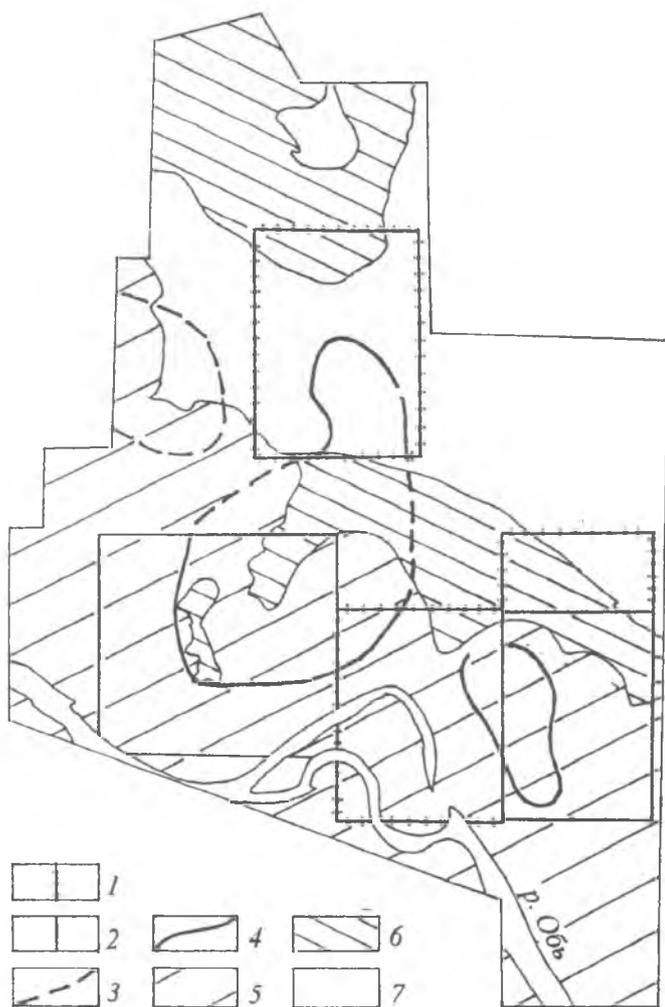


Рис. 1. Схема геолого-геоморфологического строения района и результаты тестирования модели; 1 — 4 — границы: 1 — обучающей; 2 — контрольной части модели; 3 — прогнозной зон с превышением ПДК по нефтепродуктам; 4 — зон с превышением ПДК по нефтепродуктам в обучающей части; 5 — 7 — геоморфологические элементы: 5 — пойма рек Обь и Ваха; 6 — 1-я надпойменная терраса; 7 — 2-я надпойменная терраса

протяженности нефтепроводов на единицу площади района, увеличивает риск возникновения аварийных ситуаций, следовательно, возможность загрязнения грунтовых вод нефтепродуктами.

По результатам тестирования модели на контрольной части территории была получена ошибка распознавания 26,6%, что для таких сложных в геолого-гидрогеологическом, геоморфологическом и ландшафтном отношениях условий можно считать допустимой.

Анализ полученных результатов. По данным тестирования построена карта (рис. 1), анализ которой позволил сделать вывод, что границы зон с превышением ПДК по нефтепродуктам совпадают с реальными границами в контрольной части модели (с небольшим несовпадением в соответствии с полученной ошибкой), т. е. аналогичные зоны в прогнозной части модели выделены достаточно обоснованно.

Опираясь на анализ «чистого» признака $x_2 \otimes x_6$ — зависимости концентрации нефтепродуктов в грунтовых водах от типа геолого-геоморфологического строения района и плотности застройки территории нефтепроводами, можно рассмотреть два варианта решения задачи для различных значений признака x_6 : 1) плотность застройки территории трубопроводами более $1,5 \text{ км/км}^2$; 2) плотность застройки территории трубопроводами менее $1,5 \text{ км/км}^2$ (рис. 2).

Анализ диаграмм (рис. 2) позволяет заключить:

1. При высокой степени насыщенности территории нефтепроводами (при их плотности более $1,5 \text{ км/км}^2$) площадь распространения загрязнений нефтепродуктами грунтовых вод совпадает с площадью интенсивной застройки; распространение загрязнений в пределах поймы, 1-й и 2-й надпойменных террас р. Обь почти совпадает по площади:

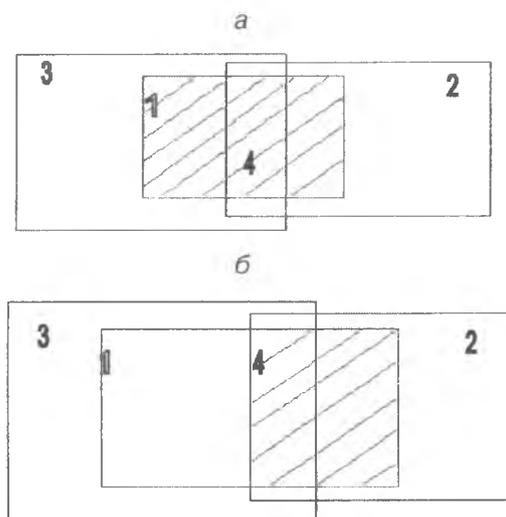


Рис. 2. Схема сопоставления площадей распространения загрязнений в пределах геоморфологических элементов долины р. Обь для различной плотности застройки территории трубопроводами: а — $> 1,5 \text{ км/км}^2$; б — $< 1,5 \text{ км/км}^2$; 1 — плотность застройки территории трубопроводами; 2 — 4 — территории: 2 — 2-й надпойменной террасы; 3 — поймы и 1-й надпойменной террасы; 4 — с повышенным содержанием нефтепродуктов в грунтовых водах

при высокой степени насыщенности территории нефтепроводами, риск загрязнения везде одинаков и не зависит от характера геоморфолого-ландшафтных условий.

2. При снижении степени насыщенности территории нефтепроводами ($< 1,5 \text{ км/км}^2$) площадь распространения загрязнений в грунтовых водах нефтепродуктами сокращается; загрязнение грунтовых вод нефтепродуктами происходит в основном в пределах 2-й надпойменной террасы р. Обь, поверхность которой дренирована в силу естественных причин и «способна» поглощать загрязнения; пойма и 1-я надпойменная терраса дренируются рекой и при низкой техногенной нагрузке загрязняются в меньшей степени.

Выводы

1. Для оценки степени загрязнения подземных вод возможно использовать не прямую (гидродинамические, сорбционные, термодинамические параметры), а косвенную информацию, характеризующую техногенную нагрузку на территорию и ее геоморфолого-ландшафтные и экологические параметры.

2. Построенные для изучаемой территории системные модели включают только четыре признака

из девяти описанных. Такой подход позволяет существенно сократить затраты на проведение специальных геоэкологических исследований и прогнозировать загрязнение грунтовых вод нефтепродуктами с ошибкой не более 26,6%.

3. Загрязнение грунтовых вод нефтепродуктами связано с аварийными утечками при возникновении аварий и прорывов нефтепроводов, а интенсивность и риск возникновения загрязнений определяются плотностью застройки территории нефтепроводами и геоморфолого-ландшафтными условиями.

4. При высокой плотности застройки территории нефтепроводами ($> 1,5 \text{ км/км}^2$) риск загрязнения грунтовых вод нефтепродуктами одинаков в пределах различных геоморфологических элементов долины р. Обь.

5. При снижении плотности застройки территории нефтепроводами $< 1,5 \text{ км/км}^2$ прежде всего загрязняется территория сдренированной в 2-й террасы р. Оби.

6. Проблема управления процессами загрязнения территории нефтепродуктами может быть реализована при решении задачи оптимизации систем транспортировки нефтепродуктов в регионе и организации оперативного контроля за состоянием нефтепроводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г а в и ч И.К. Основы гидрогеологической стратификации и обработки информации. М., 1982. 79 с.
2. Г о п п а В.Д. Коды и информация. Успехи математических наук. 1984. Т. 39. В.1(235). С. 77–120.
3. Б о н д а р и к Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1975. 255 с.
4. К р а й н о в С.Р., Р ы ж е н к о Б.Н., Ш в е ц В.М. Геохимия подземных вод. М.: Наука, 2004. 677 с.
5. Л и с е н к о в А.Б. Опыт решения неформальных задач в экогидрогеологии. М.: Геоинформмарк, 1993. 136 с.

Российский государственный
геологоразведочный университет
Рецензент — Н.В. Демин.