

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕОРИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ПОЛИГОНАХ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Прогнозирование состояния геологической среды (в том числе подземных вод) может выполняться различными методами - гидродинамическими, включающими математическое моделирование на ПЭВМ, гидравлическими, вероятностно-статистическими, формально-логическими, методами аналогий, экспертных оценок.

Сложность прогнозирования состояния геологической среды обусловлена свойствами геологической среды:

изменчивостью твердой, жидкой и газообразной составляющих геологической среды и физических полей в пространстве и во времени;

неоднородностью геологической среды на разных уровнях ее организации; по показателям состояния;

анизотропностью, т.е. зависимостью некоторой функции геологического параметра от преобразований вращения;

дискретностью в виде пористости, пустотности, трещиноватости, тектонической нарушенности, от дискретности зависят подвижности жидкой и газообразной фаз;

а также длительностью и многообразием одновременно протекающих процессов в геологической среде: растворением, кристаллизацией, сорбцией, ионным обменом, биохимическими процессами, изменением температурного режима и др.

При прогнозировании того или иного процесса приходится "идеализировать" геологическую среду, упрощая реальность и игнорируя второстепенные и малоизученные факторы. Прогнозирование при инженерно-геологических изысканиях выполняется с целью восстановления разнообразных геологических условий, факторов, процессов, которые сформировали современную "геологическую среду" в сфере влияния сооружения и выработки оптимальных решений при проектировании и осуществлении разнообразных инженерно-хозяйственных мероприятий с учетом рационального использования и охраны геологической среды.

Основные задачи прогнозирования [1]:

Прямые: по заданным характеристикам объекта и проектируемым возмущениям определяется реакция геологической среды в пространстве и во времени, например, ореол загрязнения подземных вод по площади проектируемого объекта, объему и составу образующегося фильтрата с учетом гидрогеологических параметров основания полигона и прилегающей территории.

Обратные: по известным реакциям и свойствам геологической среды оцениваются воздействующие на него возмущения, например, по распределению влажности пород устанавливается источник подтопления территории и его интенсивность или по изменению макрокомпонентного состава подземных вод - источник их загрязнения.

Инверсные: по известным возмущениям и реакции объекта определяются его свойства, т.е., зная химический состав отходов и химический состав подземной воды в основании полигона, можно охарактеризовать степень очистки подземной воды в грунтовой толще при протекающих там процессах.

Обобщенные: циклы прямых и обратных задач, результаты решения которых представлены в виде графиков, номограмм, эмпирических формул.

По особенностям геологического строения территория Свердловской области принадлежит к трем структурным мегазонам [2]: Предуральского краевого прогиба, открытых структур горно-складчатого Урала и чехла мезо-кайнозойских платформенных отложений Зауралья. В гидрогеологическом отношении им соответствуют Предуральский артезианский бассейн, Большеуральский мегабассейн трещинных и трещинно-карстовых вод, Западно-Сибирский артезианский мегабассейн. Наиболее благоприятны для строительства полигонов восточные районы Свердловской области в пределах мезо-кайнозойского чехла Зауралья; менее благоприятны - западные районы области в пределах Предуральского краевого прогиба; наиболее сложная

обстановка свойственна открытым структурам горно-складчатого Урала.

Использование методов математического моделирования загрязнения подземных вод в условиях открытых структур Среднего Урала встречает ряд трудностей ввиду сложности геологической среды, в первую очередь при составлении наиболее точной и представительной гидродинамической модели, наиболее точно отражающей реальное строение среды. Во-вторых, общий процесс, обозначенный термином "загрязнение", представляет собой комплекс процессов механической, физической, физико-химической, химической и нередко биологической природы, отобразить которые в полной мере и в явном виде в единой модели практически невозможно.

Кроме того, материалы инженерно-экологических изысканий не дают полной информации, необходимой для построения математических моделей. При характеристике гидрогеологических условий в ходе инженерно-экологических изысканий в первую очередь учитывается, что в районе воздействия полигонов подземные воды загрязняются не только *in situ*, а являются активными переносчиками загрязняющих веществ на неопределенно большие расстояния от источника загрязнения. Изучается распространение и условия залегания водоносных горизонтов (включая "верховодку"), с указанием гидрогеологических параметров, глубины залегания, их мощности, химического состава воды, условий питания и разгрузки, данных по положению слабопроницаемых и водоупорных пород. Основным при гидрогеологическом изучении является определение зеркала подземных вод или их пьезометрической поверхности, направление и уклон грунтового потока, характер гидравлической связи подземных вод с поверхностными. Приводятся сведения по естественной защищенности подземных вод от проникновения загрязняющих веществ.

При небольшом объеме исследований в ходе инженерно-экологических изысканий целесообразно использование теории геологического подобия при решении задач прогнозирования состояния геологической среды в сфере взаимодействия с инженерными сооружениями. Теория геологического подобия представляет собой частное приложение теории физического подобия в области геологических исследований. Метод применяется в тех случаях, когда необходимо объективными методами выявить подобие двух или группы сравниваемых геологических объектов - процессов, явлений и образований, в рассматриваемом случае - воздействие полигонов твердых бытовых и промышленных отходов (ТБ и ПО) в конкретных геологических условиях на подземную гидросферу.

Преимущество методов, основанных на аналогии, состоит в том, что существует возможность автоматического учета в модели процесса всего комплекса природных условий, в том числе и те стороны процесса, которые мало изучены исследователями. Теория геологического подобия базируется на трех основных, математически и логически доказанных теоремах, кратко сформулированных следующим образом [5]:

1. У подобных явлений критерии подобия равны.

2. Решение задачи может быть представлено в виде связи между критериями подобия:
 $A = F(K_1 + K_2 + \dots + K_n)$.

3. Подобны те явления, которые происходят в геометрически подобных системах, выраженных одним и тем же уравнением связи, у которых условия однозначности находятся в постоянных отношениях, а составленные из них критерии подобия равны.

Этапы исследований сводятся к следующему [3, с уточнениями]:

- Определение типа задач и выбор соответствующей системы размерностей, построение концептуальной модели.

- Сбор и анализ данных в соответствии с выбранной моделью.

- Составление перечня существенных величин процесса (определяющих параметров).

- Выявление определяющих критериев подобия, параметрических критериев и безразмерных переменных комплексного вида.

- Построение зависимостей в безразмерной форме (обобщающих уравнений), связывающих искомые переменные с независимыми переменными и критериями подобия.

- Уточнение модели путем перевода ее в регрессионную форму.

- Выявление меры подобия между изученными и прогнозируемыми объектами, учет различий в степени влияния разных свойств или факторов (выявление весовых коэффициентов).

• Применение уточненной модели для предсказания процесса загрязнения, который можно проверить при помощи новых наблюдений. Принятие, отклонение или уточнение новой модели.

В качестве модели используется объект-аналог, в котором исследуемый процесс и условия его протекания детально изучены. На начальном этапе прогнозирования методом подобия необходимо выделение и использование обобщенных характеристик и "представляющих" показателей, изменение которых отражает изменение рассматриваемого свойства (признака, процесса) или группы свойств с учетом взаимосвязей внутри рассматриваемой группы. Все представляющие показатели должны быть выражены в одинаковых физических величинах. В качестве основных физических величин целесообразно принимать длину, массу и время; другие размерные величины будут производными от основных.

При прогнозе процесса "загрязнения" подземных вод фильтратом полигонов твердых бытовых и промышленных отходов основными являются процессы гидродинамической и физико-химической природы. Основными факторами, влияющими на загрязнение подземных вод, являются геолого-гидрогеологические и технологические факторы. Теоретические основы массопереноса в подземных водах были разработаны многими исследованиями преимущественно на базе аналитических методов. Но из-за значительной сложности конкретных гидрогеологических условий открытых структур Среднего Урала получить конечные аналитические решения часто не удается.

При схематизации гидродинамических процессов миграции исходным является анализ пространственной структуры фильтрационного потока [4], т.е. степень развития продольной и поперечной (плановой и профильной) дисперсий. Продольная гидродисперсия ориентирована по направлению траекторий конвективного потока и зависит от скорости фильтрации потока подземных вод v и константы продольной дисперсии δ_L , отражающей геометрию порового или трещинного пространства. Поперечная гидродисперсия, идущая вкост основному направлению переноса, приводит к формированию объемных (двух- и трехмерных) ореолов рассеяния.

При поступлении фильтрата на поверхность грунтового потока в режиме свободной инфильтрации роль профильной поперечной дисперсии весьма существенна, что вызывает необходимость использования трехмерных моделей. Однако одновременный учет в модели гетерогенности и трехмерности миграционного процесса в рамках аналитических методов мало реален. Соответственно для учета этого фактора не представляется возможным выбор характеристики критериев подобия, наиболее полно отражающей этот процесс. При обосновании планового характера миграционной модели значимость процессов поперечной дисперсии может быть выявлена на основе оценки вклада сосредоточенной инфильтрации (объемной интенсивностью Q_0) из источника загрязнения (фильтрат полигонов) в расход регионального потока подземных вод Q_e с учетом характерной длины переноса L и константы поперечной дисперсии δ_T . Расход регионального потока подземных вод Q_e связан с потерями напора, характеризующими затраты энергии потока. Расход фильтрационного потока пропорционален площади поперечного сечения потока ω и градиенту напора по направлению движения J . Мерой расхода фильтрационного потока является скорость фильтрации v . В плановом потоке удобно вместо скорости использовать для расчетов удельный расход потока, выражаемый через проводимость потока T , т.е. удельный расход потока при единичном градиенте.

Объем фильтрата, попадающего в водоносный горизонт, определяется, в первую очередь, количеством образованного фильтрата, т.е. жидких, растворенных и взвешенных веществ. На полигонах, где отходы не контактируют с поверхностными и подземными водами, количество фильтрата определяется, во-первых, климатом (количеством осадков и интенсивностью испарения), площадью полигона, т.е. площадью сбора атмосферных осадков, водопроницаемостью и растворимостью отходов и основания; спецификой эксплуатации и рекультивации полигона. Во-вторых, объемная интенсивность проникновения фильтрата от источника загрязнения определяется коэффициентом инфильтрации зоны аэрации и мощностью зоны аэрации. В случае привноса в толщу отходов поверхностных или подземных вод количество фильтрата будет увеличиваться на величину объема проникающих в отходы вод. Состав фильтрата зависит от многих факторов и бывает, как правило, различным. Техногенное изменение состава подземных вод обусловлено привносом новых (загрязняющих) веществ в водоносные горизонты извне, контролирует поведение загрязняющих веществ при их движении в водоносных горизонтах от техногенных источников загрязнения. Направленность и интенсивность физико-химических взаимодействий в условиях техногенеза во

многим определяется естественной ("фоновой") гидрохимической обстановкой, которая играет важную роль в формировании общего потенциала массопереноса. Ее обобщенными характеристиками являются: 1) химический (ионно-солевой, газовый) и микробиологический состав подземных вод, 2) литолого-минералогический состав и структурные особенности водовмещающих коллекторов.

Физико-химические процессы, происходящие при внедрении в подземную гидросферу техногенных растворов, заметно смещают природные квазистатические состояния. Типичными здесь являются процессы смешения, растворения (осаждения), выщелачивания, сорбции, ионного обмена, реакции комплексообразования, деструкции и некоторые другие. Процессы смешения зависят от расхода регионального потока подземных вод, объема инфильтрующихся стоков от источника загрязнения, концентрации химических элементов в них.

Процессы сорбции загрязняющего вещества горными породами в настоящее время изучены недостаточно. Поглощение загрязняющего вещества породой зависит от совокупности физико-химических параметров грунтов и взаимодействующих с ними растворов. Сорбция из малоцентрированных растворов обычно подчиняется изотерме Генри, по которой концентрация компонента на твердой фазе прямо пропорциональна концентрации компонента в растворе и зависит от объемной плотности породы и удельной поверхности трещин. Для учета в модели свойств грунтов можно воспользоваться параметрами гранулометрического и минералогического составов породы (содержание в породе глинистой фракции).

Общим для других физико-химических процессов (растворение (осаждение), выщелачивание, ионный обмен, реакции комплексообразования, деструкция) является их зависимость от таких факторов, как показатели физико-химической обстановки, т.е. величин рН и Eh, температуры смешивающихся растворов, присутствия свободной углекислоты, наличия в разрезе растворимых солей и др.

Представляющие показатели процесса загрязнения подземных вод на полигонах ТБ и ПО представлены ниже:

Гидродинамические факторы	Представляющий показатель
Расход естественного грунтового потока	Скорость фильтрации, м/сут
Удельный расход потока (при единичном градиенте)	Проводимость потока, м ² /сут
Объем инфильтрующихся вод	Активная пористость пород, д.ед.
Интенсивность проникновения фильтрата	Средняя мощность водоносного горизонта, м
Структура фильтрационного потока (диффузионные параметры)	Средняя мощность зоны аэрации, м
Время взаимодействия фильтрата на подземные воды	Площадь полигона, м ²
	Количество атмосферных осадков, мм/год
	Коэффициенты продольной и поперечной дисперсий, м
Вещественные факторы	
Состав горных пород, слагающих зону аэрации	Содержание глинистой фракции, %
Состав водовмещающих горных пород	Плотность пород, г/см ³
Свойства пород	Пористость пород, д.ед.
Свойства отходов	Коэффициент трещинной пустотности, д.ед.
	Содержание растворимых солей, %
	Растворимость отходов, г/дм ³
Гидрохимические факторы	
Интенсивность процесс смешения	Объем фильтрата, м ³
Интенсивность процесса растворения и выщелачивания	Объем грунтового потока, м ³
Сорбционные процессы	Концентрация веществ в фильтрате и грунтовом потоке, г/дм ³
	Содержание СО ₂ своб., г/дм ³
	Скорость фильтрации, м/сут
	Физико-химические параметры смешивающихся вод

В дальнейшем авторы статьи предполагают выполнить апробацию данного метода на полигонах складирования ТБ и ПО, имеющих сеть наблюдательных скважин за состоянием подземных вод.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гороховский В.М., Ткачук Э.И.** Моделирование в инженерной геологии. - Новочеркасск: Изд-во НПУ, 1980. - 84 с.
2. **Грязнов О.Н., Гуман О.М., Морозова Л.П., Шабалина Н.С.** Геологические предпосылки для оптимального размещения полигонов твердых бытовых и промышленных отходов // Известия Уральской гос. горно-геологической академии. Сер.: Геология и геофизика. - 2000. - Вып.10. - С. 241-247.
3. **Крамбейн У., Кауфмен М., Мак-Кеммон Р.** Модели геологических процессов. - М.: Мир, 1973. - 151 с.
4. **Мироненко В.А., Румынин В.Г.** Проблемы гидрогеоэкологии. Т.1. - М.: Изд-во МГТУ, 1998. - 611 с.
5. **Розовский Л.Б., Зелинский И.П., Воскобойников В.М.** Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. - Киев - Одесса: Вища шк. Головное изд-во, 1987. - 208 с.

УДК 556.388 (575.11)

И.В. Абатурова, И.Г. Петрова

ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА ГОРНОЙ ЧАСТИ ПОЛЯРНОГО УРАЛА

При интенсивном освоении территории Полярного Урала возникает комплекс задач, среди которых особое место занимают проблемы оценки современного состояния геологической среды и степень нарушенности ее компонентов под воздействием различных антропогенных факторов.

Специфичность геоэкологических условий территории Полярного Урала обусловлена рядом факторов, к которым относятся климат, рельеф, распространение почв и растительности, геолого-структурные особенности территории, геокриологические и гидрогеологические условия, виды и интенсивность экзогенных геологических процессов.

Территория Полярного Урала располагается в относительно высоких широтах, там, где климат формируется в условиях малого количества солнечной радиации. Годовая величина радиационного баланса изменяется как в меридиональном, так и в высотном направлениях и зависит от длительности зимнего периода, мощности снежного покрова и т.д.

Продолжительность безморозного периода года со среднесуточной температурой воздуха выше 0 °С составляет около 2,5 месяцев и варьирует в зависимости от климатических особенностей территории. Среднегодовые величины осадков составляют 500–1500 мм/год. Летние осадки длительные, малоинтенсивные и составляют 500–700 мм, в холодный период – 300–500 мм и более. Среднегодовое фоновые величины мощностей снежного покрова колеблются от 1,0 до 5,0 м в узких подветренных долинах, горных ущельях, здесь же происходит формирование снежников, в тундре – от 0,5 до 1,0 м [1].

Расчетные величины испарения с поверхности суши составляют 250 мм и менее. Преобладание атмосферных осадков над испарением обеспечивает избыточную увлажненность территории, значение коэффициента сухости менее 1, что обуславливает специфику геохимической обстановки.

Исследуемая территория Урала, согласно схеме геоморфологического районирования, расположена в пределах двух ландшафтных зон - Уральской и Зауральской, которые охватывают три района: зону кряжа со средне-низкогорным рельефом (IA), низкие остаточные горы (IB), Зауральскую равнину (II). Распространенность почв и растительности по территории подчиняется климатической и ландшафтной зональности, вследствие этого выделяются высотно-ярусные ландшафты тундровой и лесотундровой подзон.