

УДК 556.3

**ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД
К РАСЧЕТУ ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ****Н.Е. Сизов*¹, А.В. Расторгуев²**¹Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия,E-mail: www@list.ru²Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, E-mail: alvr9@mail.ru**Аннотация**

Современный подход к расчету и проектированию зон санитарной охраны (ЗСО) водозаборов подземных вод были сформулированы еще в 80-е годы прошлого века во ВНИИ ВОДГЕО вместе с кафедрой коммунальной гигиены Московской медицинской академии им. Сеченова. В настоящей работе дан краткий обзор на существующие методы проектирования ЗСО с их достоинствами и недостатками как теоретическими, так и производственными, а также описано решение, позволяющее убрать значительное количество недостатков самых распространенных методик по проектированию поясов санитарной охраны.

Ключевые слова: численно-аналитическое моделирование, зоны санитарной охраны, миграция, конвективный перенос, вероятностное моделирование

**PROBABILISTIC NUMERICAL-ANALYTICAL APPROACH
TO CALCULATION OF SANITARY PROTECTION ZONES****N.E. Sizov*¹, A.V. Rastorguev²**¹Moscow State University, Moscow, Russian Federation, E-mail: www@list.ru²Moscow State University, Moscow, Russian Federation, E-mail: alvr9@mail.ru**Abstract**

The modern approach to calculating and designing sanitary protection zones (SPZs) for groundwater intakes was formulated in the 1980s at the VNIIVODGEO Institute together with the Department of Communal Hygiene at the Sechenov Moscow Medical Academy. This paper provides a brief overview of existing SPZ design methods, their advantages and disadvantages both in theory and practice, and describes a solution that addresses many shortcomings of the most common methods for designing SPZs.

Key Words: numerical-analytical modeling, sanitary protection zones, migration, advective transport, probabilistic simulation

Введение

Необходимость установления зон санитарной охраны (далее по тексту ЗСО) вокруг источника водоснабжения обусловлено действием СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения» [3]. В соответствии с данным документом ЗСО устанавливаются в количестве трех поясов: физическая защита водозабора, бактериологическая и химическая. Данные зоны являются зонами с особыми условиями использования территорий и вносятся в ЕГРН.

В подавляющем большинстве случаев расчет ЗСО осуществляется в соответствии с рекомендациями [2]. Контроль за соответствием проекта ЗСО рекомендациям, а также согласование отклонений от рекомендаций осуществляется местными органами санитарно-эпидемиологического контроля.

Методы исследований

В общем случае расчет ЗСО подземного источника водоснабжения может осуществляться следующими методами:

Табл. 1 Методы расчет ЗСО с достоинствами и недостатками.

Методы	Достоинства	Недостатки
Аналитические	Требуют ограниченного количества фактических данных. Умеренная стоимость.	Могут применяться только для одиночных скважин и линейных водозаборов в однородных пластах
Численно-аналитические	Требуют ограниченного количества фактических данных. Учитывают интерференцию скважин и произвольное направление потока. Умеренная стоимость.	Применимы только для однородных водоносных горизонтов.
Численные	Позволяют учитывать сложные гидрогеологические условия.	Требуют большого количества фактических данных и опытности специалистов. Высокая стоимость.

Наиболее простыми в использовании являются аналитические методы, реализованные на основе аналитического интегрирования скоростей фильтрации, полученных из зависимостей, описывающих фильтрацию к водозаборах подземных вод. Применимость ограничена конфигурацией водозабора, направлением потока подземных вод (относительно водоема) и однородностью фильтрационных параметров. В результате зоны получаются в виде простых

фигур, завышающих реальные размеры ЗСО, однако аналитические методы все равно остаются наиболее распространенными на практике из-за своей простоты и дешевизны.

Численно-аналитические методы также основаны на скоростях движения подземных вод, полученных из аналитических решений, однако интегрирование проводится не аналитически, а численно, что позволяет убрать ограничения по конфигурации водозаборов и их количеству, а также позволяет задавать произвольное направление потока подземных вод. При этом ограничения по однородности фильтрационных параметров остаются в силе.

Численные методы актуальны для случаев со сложным геологическим строением: фильтрационная неоднородность, сложная конфигурация внешних или внутренних границ и т.д. Численные методы сложны в реализации и требуют очень большого количества фактического материала, а потому дороги и редко используются.

С точки зрения авторов работы, на данный момент для рядового водозабора наиболее актуальными являются численно-аналитические методы, поскольку результаты расчетов не захватывают лишние области, как в случае с аналитическими методами, и нет необходимости в сложной модели и большом количестве фактического материала, как в случае с численными методами. Однако тут также возникает проблема фактических данных: для аналитических расчетов каждый расчетный параметр представляет собой одно число, тогда как очевидно, что:

- параметры, характеризующие модель (коэффициент фильтрации, направление потока, пористость и т.д.) всегда лежат в определенном диапазоне, а не являются единственным точным значением;
- значения этих параметров в лучшем случае характеризуют относительно небольшую область, в худшем – точку или несколько точек, что в результате также дает определенный диапазон для использования в расчетах.

В таком случае возможно использование вероятностных методов (группа методов Монте-Карло) [1], суть которых в нашем случае в следующем: в пределах диапазона каждого из параметров задается распределение этого параметра (реализовано случайное, нормальное, логнормальное и равномерное), в результате получается n -ое количество наборов параметров с заданным распределением. По каждому из наборов считается численно-аналитическая модель, то есть получается n моделей, результаты которых суммируются и переводятся в вероятностную шкалу.

Для моделирования, на языке python с использованием значительного количества статистических и математических библиотек было разработано программное обеспечение, включающее модуль распределения, расчётный модуль и модуль визуализации. ПО позволяет задавать произвольную область моделирования, параметры, количество и дебиты скважин, так же позволяет выбирать тип распределения параметров, срок миграции и т.д.

На примере: задан водозабор из трех скважин со следующими параметрами модели:

Табл. 2 Параметры модели.

Параметр	Значение
Коэффициент фильтрации, м/сут	5,0 – 20,0
Уклон потока	0,001 – 0,01
Направление потока, градус	270 – 330
Пористость	0,2 – 0,4
Мощность, м	5,0 – 10,0
Производительность одной скважины, м ³ /сут	62,8
Количество наборов параметров, шт	100

Расчет размеров ЗСО при моделировании осуществлялся через фиксирование факта дохода фронта миграции в блок модели через 200 суток (для 2 пояса ЗСО). Результаты представлены ниже:

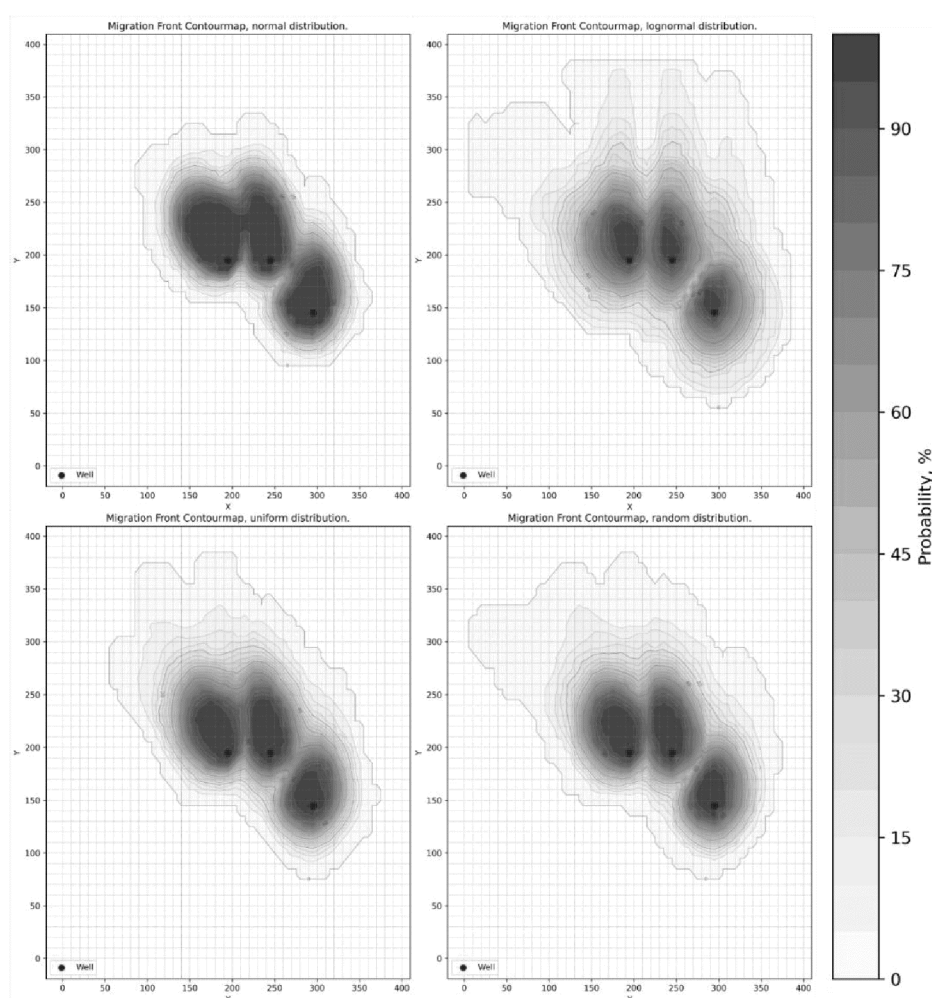


Рис. 1 Результаты вероятностного численно-аналитического расчета второго пояса ЗСО. Нормальное, логнормальное, равномерное и случайное распределения параметров.

Выводы и заключение

1. С минимальным размером доступных фактических данных возможно использовать как аналитические методы, так и численно-аналитические;
2. Повсеместно используемые аналитические методы имеют большее количество ограничений, чем численно-аналитические при этом достоверность аналитических методов, по сравнению с вероятностными численно-аналитическими ниже, а потенциальные издержки недропользователя – выше;
3. Разработанное ПО позволяет оперативно рассчитать радиусы миграции в целом и ЗСО в частности для однородного пласта и планового потока со значительной достоверностью и с минимальными потерями для недропользователя.

Список литературы

1. Лапшин Н.Н., Орадовская А.Е. и др. «Рекомендации по гидрогеологическим расчетам для определения границ 2 и 3 поясов зон санитарной охраны подземных источников хозяйственно-питьевого водоснабжения» / М., ВНИИ «ВОДГЕО», 1983 г. 103 с.
2. Соболев И.М. «Численные методы Монте-Карло» / М. Из-во «Наука», 1973 г. 313 с.
3. СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения»