

УДК 556.3

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

В.А. Бакшевская

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ТОЛЩ

Песчано-глинистые водовмещающие отложения — широко распространенные коллекторы подземных вод. Водоносные горизонты и водоупоры таких отложений имеют гетерогенное литологическое строение, определяющее геофильтрационную неоднородность разреза и сложную геометрию формирующегося в нем потока подземных вод. Трудности детальной характеристики геофильтрационной неоднородности, связанные с объективным недостатком информации о пространственной изменчивости проницаемости, ограничивают точность фильтрационных и миграционных моделей в подобных средах. В то же время часто имеется информация по скважинам о литологии разреза, полученная с помощью геофизических методов исследования. Эта информация может служить основой для построения трехмерных моделей геофильтрационной неоднородности. Для моделирования литологической неоднородности осадочных отложений в настоящее время некоторые исследователи используют метод, основанный на анализе пространственных цепей Маркова [5]. Цель нашей работы — оценка эффективной проницаемости песчано-глинистого разреза, неоднородность которого описана и смоделирована с помощью упомянутых выше цепей Маркова.

В работе использовались данные литологического расчленения разрезов скважин в районе Сибирского химкомбината [3], полученные с помощью геофизических методов исследования скважин. Изучаемая толща мезозойско-кайнозойского возраста представляет собой сложное чередование песчаных и глинистых пород озерно-аллювиального генезиса [2]. В гидрогеологическом отношении территория исследований расположена в юго-восточной части Западно-Сибирского артезианского бассейна [3].

Анализ литологических данных показал, что изучаемый разрез сформирован песчаными и глинистыми разностями, поэтому для анализа неоднородности была принята бинарная модель строения осадочной толщи. Согласно этой модели весь разрез представлен пространственным чередованием “песков” и “глин”. Пусть $I(u)$ — случайная стационарная индикаторная функция, определенная в точке u . Тогда примем, что $I(u)$ находится в состоянии 1 ($I(u)=1$), если в данной точке разреза находится песок, причем $P\{I(u)=1\}=V_s$, $I(u)$ находится в состоянии 0 ($I(u)=0$), если точка расположена в глине, причем $P\{I(u)=0\}=1 - V_s = V_{cl}$, где P — вероятность, V_s и V_{cl} — доли содержания песчаной

и глинистой составляющих в толще соответственно [1].

Для количественной характеристики литологической неоднородности и определения параметров модели цепи Маркова данные по колонкам скважин были закодированы с шагом по вертикали 0,5 м в виде бинарной последовательности, которая использовалась для оценки объемной доли каждой разности в разрезе и их характерных масштабов корреляции в пространстве. При этом оказалось, что доля глинистой разности в разрезе составила 0,52, а песчаной 0,48. Средняя мощность песчаных пород 5,1 м, глинистых 5,7 м. Распределения значений мощностей глинистых и песчаных прослоев описываются экспоненциальным законом, что в соответствии с теорией [6] свидетельствует о возможности использовать непрерывную цепь Маркова для описания вероятностей перехода одной литологической разности в другую.

Для определения анизотропии песчаных и глинистых тел в плане по эмпирическим данным были построены и проанализированы вариограммы индикаторной функции по горизонтали в различных направлениях с помощью пакета программ GSLIB [7]. В результате анализа оказалось, что характерные масштабы корреляции индикаторной функции в плане примерно одинаковы. Это указывает на изометричную форму осадочных тел в плане и дает возможность использовать изотропную в плане модель вероятностей перехода песчаных и глинистых разностей. С помощью пакета программ T-PROGS [4] были рассчитаны эмпирические вероятности перехода одной литологической разности в другую в вертикальном и горизонтальном направлениях, эмпирические зависимости затем аппроксимировались экспоненциальной моделью. Это позволило определить характерные масштабы (размеры) литологических разностей в горизонтальном (350 м для песчаной разности и 380 м для глинистой) и вертикальном (5,1 м и 5,5 м соответственно) направлениях.

Трехмерная модель литологической неоднородности водовмещающих отложений на основе цепи Маркова создавалась также с помощью пакета программ T-PROGS [4]. Размеры моделируемой области составили 4300 × 4300 м в плане (размер блока 33 × 33 м) и 250 м по вертикали (размер блока равен 1 м). Вероятностное моделирование гетерогенности песчано-глинистых отложений на основе модели Маркова с помощью кокригинга (использующего литологичес-

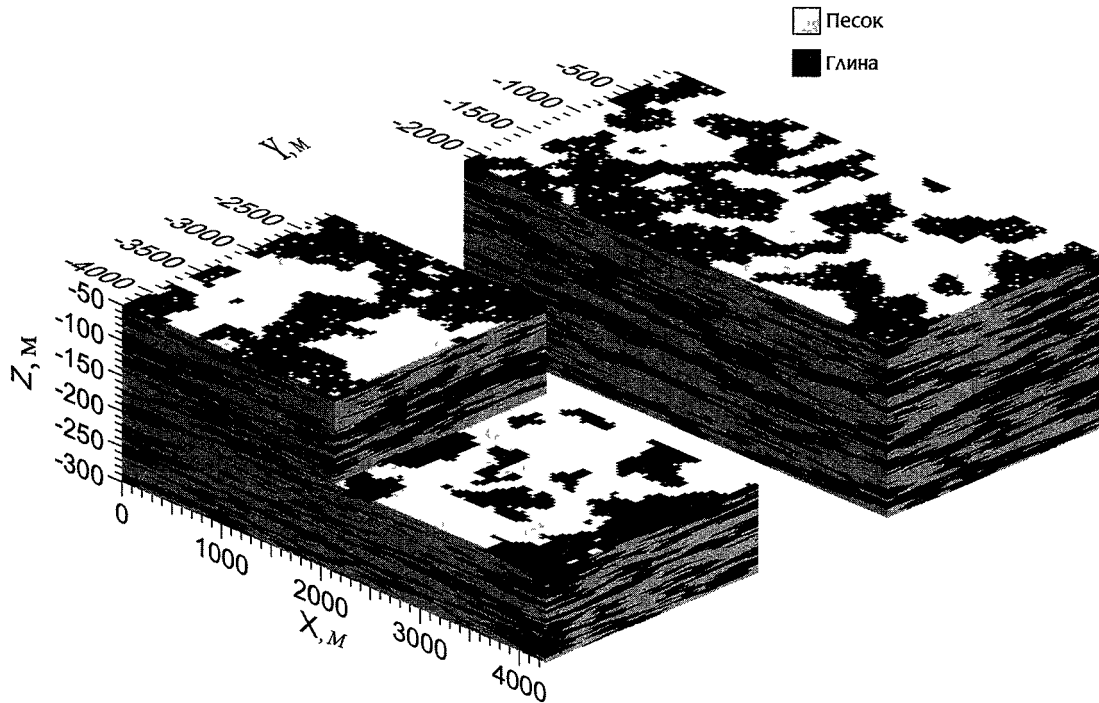


Рис 1 Трехмерная модель литологической неоднородности водовмещающих отложений, построенная на основе цепи Маркова

кие данные по колонкам скважин и полученные матрицы теоретических вероятностей перехода) позволило создать трехмерную модель литологической неоднородности водовмещающих отложений в изучаемом районе (рис 1) Для контроля качества результатов моделирования модельная среда сравнивалась с исходными данными Для этого по исходным и модельным данным рассчитывали осредненную в плане долю глинистой составляющей в вертикальном разрезе (рис 2)

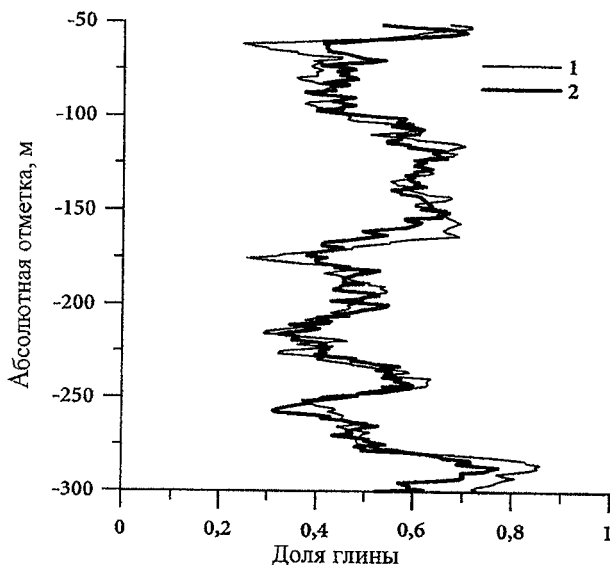


Рис 2 Сравнение доли глинистой составляющей в разрезе по всем скважинам (1) с данными литологической модели, построенной на основе цепи Маркова (2)

Таким образом, на первом этапе работы была построена трехмерная модель гетерогенности песчано-глинистых отложений На втором этапе модель литологической неоднородности преобразована в модель фильтрационной неоднородности исходя из представлений о характерных значениях проницаемости песка и глины в данном районе [3] Затем на полученной фильтрационной модели определялась эффективная проницаемость в вертикальном и горизонтальном направлениях Для этого модель разделили на горизонтальные секторы мощностью 50 м — это средняя мощность выделяемых в районе исследования водоносных горизонтов и относительных водоупоров [3] Для каждого сектора моделировалась стационарная фильтрация в горизонтальном и вертикальном направлениях, а по результатам моделирования рассчитывались эффективные коэффициенты фильтрации по зависимости

$$K = \frac{Q}{\frac{H_1 - H_2}{L} \omega}$$

где Q — расход потока, ω — площадь поперечного сечения, L — длина пути фильтрации, H_1 и H_2 — заданные напоры на границах модели В результате оказалось, что эффективные коэффициенты фильтрации не сильно отличаются по разрезу (табл 1), но в фильтрационном отношении толщина существенно анизотропна, что связано с анизотропией осадочных тел (горизонтальный масштаб корреляции в 60 раз больше вертикального) Полученные данные свидетельствуют, что, по-видимому, при прогнозном моделировании миграции отходов не следует применять

Таблица 1

Рассчитанные эффективные коэффициенты фильтрации для различных интервалов разреза

Номер интервала разреза	Рассчитанные эффективные коэффициенты фильтрации, м/сут		Отношение горизонтального коэффициента фильтрации к вертикальному
	горизонтальные	вертикальные	
1	0,39	0,002	195
2	0,21	0,0007	300
3	0,34	0,002	170
4	0,39	0,002	195
5	0,3	0,0007	429

Таблица 2

Рассчитанные эффективные коэффициенты фильтрации для интервала разреза № 2

Характерный горизонтальный размер глинистой разности, м	Эффективный коэффициент фильтрации, м/сут	
	горизонтальный	вертикальный
92	0,16	0,005
274	0,18	0,001
823	0,19	0,0003

пластовую схематизацию (согласно которой осадочная толща разбита на водоносные горизонты и относительные водоупоры), а моделировать анизотропную систему, состоящую из слоев с примерно одинаковой проводимостью и низкими значениями вертикального коэффициента фильтрации

Отметим, что определение характерных размеров литологических разностей в вертикальном направлении обычно не вызывает трудностей, в то время как для горизонтального направления такое определение часто бывает проблематичным (так как скважины расположены на значительных расстояниях одна от другой). Поэтому необходимо как можно точнее определять характерные размеры литологических разностей исходя из имеющейся информации. Для иллюстрации этого положения были смоделированы три варианта разреза, в которых характерные размеры глинистой разности в горизонтальном направлении различались в 3—9 раз (92, 274 и 823 м), а в вертикальном направлении они были одинаковы во всех вариантах. Из

сравнения полученных значений эффективных коэффициентов фильтрации для одного и того же интервала разреза (табл. 2) видно, что полученные горизонтальные коэффициенты для рассмотренных вариантов практически одинаковы, в то время как коэффициент фильтрации в вертикальном направлении быстро растет при уменьшении характерного горизонтального размера осадочных тел. Это связано с тем, что при наличии в разрезе более протяженных слабопроницаемых тел потоку приходится преодолевать более значительное фильтрационное сопротивление при движении в вертикальном направлении.

Таким образом, значения эффективной проницаемости, полученные по предложенной методике

1) позволяют уточнить геофильтрационную схематизацию вертикального разреза в случае неоднородного песчано-глинистого строения водовмещающих отложений,

2) могут быть использованы при создании мелко-масштабных моделей геомиграции компонентов отходов в неоднородной водовмещающей среде.

Работа выполнена при поддержке грантов INTAS 1810 и CRDF RG2—2395—MO—02

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гухман И И, Скороход А В Введение в теорию случайных процессов М, 1977
 2 Гольберт А В, Маркова Л Г, Полякова И Д и др Палеоландшафты Западной Сибири в юре, мелу и палеогене М, 1968
 3 Рыбальченко А И, Пименов М К, Костин П П и др Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов М, 1994

4 Carle S F T-PROGS Transition probability geostatistical software University of California, 1998
 5 Carle S F, Fogg G E Modeling spatial variability with one- and multi-dimensional continuous Markov chains // Mathem Geol 1997 Vol 29, N 7 P 891—918
 6 Carle S F, Fogg G E Transitional probability-based indicator geostatistics // Ibid 1998 Vol 28, N 4 P 453—477
 7 Deutsch C V, Journel A J Geostatistical software library and user's guide N Y, 1992

Поступила в редакцию
04 11 2003