

УДК 51-74

## АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ УРОВНЕЙ ГРУНТОВЫХ ВОД

**Шешко Н.Н.**

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест

Современное развитие вычислительной техники и математических методов позволяет по-новому взглянуть на решение известных проблем природопользования. Используя стандартную гидрометеорологическую информацию, можно выявить скрытые закономерности в формировании тех или иных природных процессов.

В данной работе ставится задача разработки алгоритма наиболее полного восстановления и продления данных наблюдений за уровнями грунтовых вод (УГВ).

Данными для реализации задач исследования послужили результаты многолетних инструментальных наблюдений за УГВ, полученные Гидрогеологической экспедицией Республики Беларусь на территории НП «Беловежская пуща». Наблюдения ведутся на более чем 70 гидрогеологических скважинах. В рамках настоящего исследования использовано 55 скважин, расположенных в наиболее характерных районах Беловежской пущи. Глубина закладки скважин варьируется в широких пределах (2...140 м) в зависимости от гидрогеологических условий. Наблюдения за УГВ до 1986 года проводились ежедневно, но в последующие годы в связи с уменьшением финансирования замеры начали проводиться раз в два дня. В связи с тем, что колебания грунтовых и подземных вод являются достаточно инертным процессом, дискретность является допустимой. В хронологическом ходе среднемесячных УГВ по всем гидрогеологическим скважинам имеют место пропуски, которые для условия решаемых задач должны быть восстановлены. Кроме того, для совместного анализа временных рядов немаловажным является наличие равных периодов наблюдений по всем скважинам. Для большинства скважин, кроме скв. №№ 517... 520, 522, 562, 563, 564, 770...777, наблюдения начаты с 1971 года, что на 6 лет меньше, чем у вышеупомянутых скважин. Период с 1965 по 1974 год представляет большой интерес в связи с тем, что с середины 70-х годов прошлого столетия в пределах парка и на прилегающих территориях начиналось крупномасштабное гидромелиоративное строительство, повлекшее изменение гидрологического и гидрогеологического режимов.

В таблице приведено общее количество пропусков в данных наблюдений за среднемесячными УГВ по скважинам. Согласно нормативным документам, в ряду может быть не более 30 % восстановленных значений. Из таблицы видно, что по всем скважинам это условие выполняется, кроме скв. № 1349. Поэтому, результаты, полученные по данной скв. № 1349, требуют дополнительного анализа.

Восстановление отсутствующих данных наблюдений за среднемесячными значениями УГВ проводилось по алгоритму, представленному в виде блок-схемы (рисунок).

В основе данного алгоритма положено три методики подбора аналога. Применение данных методик выстроено в порядке их наибольшей достоверности. В первую очередь для исходной скважины за конкретный месяц подбирается скважина-аналог, с учетом обязательного выполнения ряда условий:

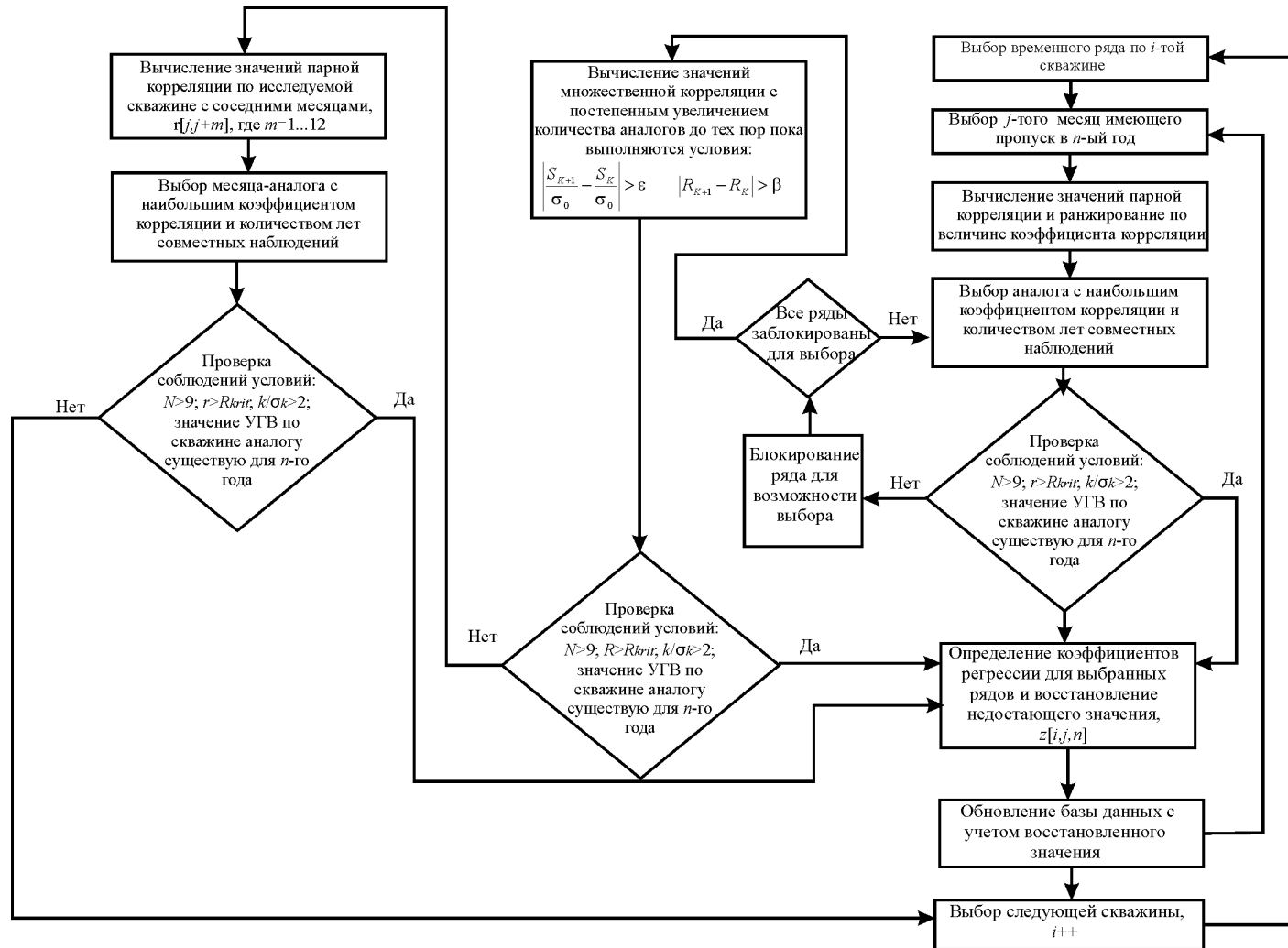
$$\left\{ \begin{array}{l} n' \geq 10 \\ r \geq R_{krit} \vee R \geq R_{krit} ; \\ \frac{k}{\sigma_k} \geq 2 \end{array} \right. \quad (1)$$

Таблица 1 – Количество пропущенных значений в данных наблюдения за среднемесячным УГВ

№ по порядку	№ скважины	Количество отсутствующих среднемесячных значений		№ по порядку	№ скважины	Количество отсутствующих среднемесячных значений	
		месяцев	%			месяцев	%
1	633	87	17	29	1352	148	29
2	653	70	13	30	1353	137	26
3	654	86	17	31	634	76	15
4	655	80	15	32	637	77	15
5	656	87	17	33	638	101	19
6	657	93	18	34	517	7	1
7	658	118	23	35	518	17	3
8	659	97	19	36	519	14	3
9	661	113	22	37	520	16	3
10	704	79	15	38	522	16	3
11	705	87	17	39	562	20	4
12	706	91	18	40	563	30	6
13	707	101	19	41	564	6	1
14	708	111	21	42	770	18	3
15	710	83	16	43	771	27	5
16	711	92	18	44	772	16	3
17	712	86	17	45	773	16	3
18	646	87	17	46	774	27	5
19	647	96	18	47	775	25	5
20	648	92	18	48	776	49	9
21	649	80	15	49	777	16	3
22	650	78	15	50	662	89	17
23	651	87	17	51	663	89	17
24	652	78	15	52	664	98	19
25	1348	146	28	53	665	89	17
26	1349	172	33	54	666	90	17
27	1350	138	27	55	667	118	23
28	1351	146	28				

Кроме соблюдения условия (1), необходимо иметь значения УГВ по скважине-аналогу в расчетный момент времени. Проверка данного условия проводится до тех пор, пока все возможные скважины-аналоги не будут проверены на их применимость. В том случае, если ни одна скважина-аналог не соответствует вышеприведенному условию, переходят ко второму методу. Второй метод основан на использовании одновременно нескольких скважин-аналогов. Постепенно производят увеличение количества используемых аналогов до тех пор, пока прирост коэффициента множественной корреляции не станет меньше заданного числа  $\beta$ . После чего повторно проводится проверка условия (1).

При повторном невыполнении условия переходят к третьему методу, который основан в подборе месяца-аналога исходной скважины (используются ряды наблюдений только по исходной скважине). Выбрав месяц-аналог, имеющий наиболее тесную связь с исходным месяцем, выполняют проверку условия (1).



**Рисунок 1 – Алгоритм восстановления пропусков в наблюдениях за грунтовыми и подземными водами**

На рисунке применены следующие обозначения:  $z[i,j,n]$  – величина УГВ по  $i$ -той  $j$ -того месяца скважине за  $n$ -ый год;  $N$  – число лет совместных наблюдений;  $r$  – коэффициент парной корреляции;  $R$  – коэффициент множественной корреляции  $K$ -того порядка;  $R_{krit}$  – критическое значение коэффициента корреляции при заданном уровне значимости;  $k$  – коэффициент регрессии;  $\sigma_k$  – среднее квадратическое отклонение коэффициента регрессии;  $S_k$  и  $S_{k+1}$  – относительные ошибки при использовании  $K$  и  $K+1$  аналогов;  $R_K$  и  $R_{K+1}$  – аналогичные коэффициенты множественной корреляции;  $\varepsilon$  и  $\beta$  – заданные числа;  $\sigma_0$  – среднеквадратическое отклонение ряда

Реализация алгоритма возможна с привлечением компьютерного программирования. В данном случае использована компьютерная программа Mathematica. Таким образом возможно восстановить пропущенные значения среднемесячных УГВ в зависимости от критического значения коэффициента корреляции, который приведен в [1].

В результате того, что постоянно обновляется исходная база данных за счёт восстановленных значений, возможно реализовать данную задачу в полном объеме.

### Литература

1. Определение расчётных гидрологических характеристик: Пособие П1-98 к СНиП 2.01.14-83. – Минск, 2000 – 220с.

УДК 519.6

## МЕТОДЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ

*Щеглов И.А.*

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва, Россия*

В связи со значительным прогрессом в области вычислительной техники основным инструментом математического моделирования различных физических процессов стали численные методы, среди которых наибольшее распространение получили проекционно-сеточные методы, в частности метод конечных элементов (МКЭ) и его многочисленные варианты. Использование проекционно-сеточных методов предполагает предварительное построение т.н. расчетной сетки, т.е. ее дискретизацию на множество элементов определенной формы (в качестве элементов сетки, как правило, используются геометрические симплексы, т.е. треугольники в двумерном и тетраэдры в трехмерном случае).

Все методы триангуляции по принципу построения можно разбить на две большие группы: прямые методы [1] и итерационные методы [2]. В прямых методах сетка строится за один этап, причем ее топология (граф связей между узлами) и координаты всех узлов известны изначально. Как правило, такие методы основаны на использовании шаблона дискретизации области определенной формы (шар, куб, цилиндр и т.п.), поэтому не являются универсальными. Итерационные методы, напротив, универсальны и, как правило, применимы для областей достаточно произвольной формы. Сетка такими методами строится последовательно, элемент за элементом, причем координаты узлов и топология сетки могут меняться в процессе построения. Разработано несколько различных подходов, которые можно разделить на три класса: методы граничной коррекции, методы на основе критерия Делоне и методы исчерпывания.

Построение сеток в методах граничной коррекции осуществляется в два этапа. На первом этапе производится триангуляция некой простой "суперобласти", полностью включающей в себя заданную область. Как правило, эта суперобласть представляет собой прямоугольник или параллелепипед, триангуляция которого осуществляется на основе одного из многочисленных шаблонов. На втором этапе все узлы полученной сетки, лежащие вблизи границы заданной области, проецируются на поверхность границы; а узлы, лежащие вне заданной области - удаляются. Недостатками этих методов являются неизбежные геометрические искажения элементов сетки вблизи границ, а также невозможность дискретизации областей с заданной триангуляцией границы [3].