

**А.А. ВОЛЧЕК, Н.Н. ШЕШКО**

Брест, БрГТУ

Volchak@tut.by, optimum@tut.by

## **ОПТИМИЗАЦИЯ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СЕТИ ЗА РЕЖИМОМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА**

Организация новых режимных зон в Национальном парке «Беловежская пуца» в условиях значительных природно-климатических изменений требует оптимизации существующей сети гидрогеологических скважин, а также в случае необходимости бурения и обоснования новой сети наблюдательных гидрогеологических скважин. Мониторинг подземных вод в пределах Национального парка осуществляется на 6 гидрогеологических постах, включающих более 70 скважин. Наблюдения за уровнем и балансом подземных вод должны проводиться согласно разработанным программам наблюдений, которые позволят объективно оценить состояние и тенденции изменений подземных вод.

Программа наблюдений предусматривает определенную частоту (продолжительность) изменений, достаточную продолжительность непрерывных наблюдений, позволяющую с достаточной степенью точности оценить основные статистические параметры временных рядов, и необходимую плотность (густоту) скважин на местности. Оптимизация системы наблюдения может проводиться как для уже существующих систем наблюдения за уровнями грунтовых вод (УГВ) (изменение частоты наблюдений), так и для планируемой системы наблюдений.

Выделяются два варианта решения задачи: 1) при фиксированном уровне затрат определяется максимальная точность измерений; 2) при заданной точности измерений вычисляются затраты на их проведение [0].

Критерием оценки точности измерений может выступать доля описанной дисперсии ряда за счет повышения частоты измерений, а для оценки затрат – функцию эффективности, показывающую насколько экономически обосновано получение дополнительной информации [2].

Оба показателя имеют различные области применения и размерности. Для решения оптимизационной задачи в таких случаях может использоваться геолого-экономическая целевая функция, соответствующая разности нормированной точности оценок показателей и нормированных затрат на достижение данной точности [3]. В качестве факторов, влияющих на точность оценок, как указывалось выше, могут выступать частота измерений уровней, продолжительность непрерывных измерений и плотность сети гидрогеологических скважин.

Оптимизация данных критериев зачастую проводится отдельно. Это связано с взаимозависимостью критериев, например, частота измерений напрямую влияет на экономические затраты на получение одного значения среднегодового УГВ. Поэтому для решения данной задачи предлагается использовать целевую функцию, определяемую как разность точности измерений и затрат на ее достижение [3]. Максимизация либо минимизация целевой функции часто применяется при решении транспортно-экономических задач. Решение гидрогеолого-экономической задачи включает три основных параметра (частота измерений, продолжительность наблюдений и густота наблюдательной сети), которые подлежат определению. Одновременно все три показателя оптимизировать затруднительно в силу взаимозависимости критериев.

Исходя из этого, оптимизацию программы наблюдений будет целесообразно проводить в следующей последовательности: 1. Оптимизация частоты измерений; 2. Оптимизация продолжительности наблюдений; 3. Оптимизация плотности распределения наблюдательных скважин. На каждом из этапов оптимизации ее результаты используются на последующих этапах, то есть соблюдается институциональный принцип.

Для оценки точности при оптимизации частоты измерений использован критерий точности интерполяции при различном уровне дискретизации временного ряда

$$E = 1 - \frac{\bar{S}}{\sigma}, \quad (1)$$

где  $E$  – точность интерполяции отсутствующих значений;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение исходного (полный ряд наблюдений) временного ряда;  $\bar{S}$  – среднеквадратическая погрешность интерполяции, отражающая отклонение интерполированных значений при различном уровне дискретизации. Параметр  $\bar{S}$  аналогичен оценке качества прогнозной модели (отклонение модельного ряда от исходного (наблюденного) ряда)

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - Z'_i)^2}{n-1}}, \quad (2)$$

где  $Z_i$  – фактическое значение уровня подземных вод (или УГВ);  $Z'_i$  – восстановленные значения уровня подземных вод посредством линейной интерполяции и линейной экстраполяции;  $n$  – число наблюдений.

Для упрощения анализа и сопоставления результатов рационально использовать относительные показатели вместо абсолютных значений точности и затрат. Для нормирования величин возможно использовать различные подходы, то есть нормировать на среднее значение либо на ампли-

туду. В нашем случае относительные показатели  $\lambda_E$  точности и  $\lambda_C$  затрат определялись по формулам:

$$\lambda_{E_i} = \frac{E_{\max} - E_i}{E_{\max} - E_{\min}} ; \text{ и } \lambda_{C_i} = \frac{C_{\max} - C_i}{C_{\max} - C_{\min}} , \quad (3)$$

где  $E_{\max}$ ,  $E_{\min}$  и  $E_i$  – соответственно максимальная, минимальная и  $i$ -тая точность;  $C_{\max}$ ,  $C_{\min}$  и  $C_i$  – соответственно максимальные, минимальные и  $i$ -тые затраты. Целевая функция независимо от способа нормировки будет иметь вид  $f|\lambda_E - \lambda_C|$ .

В рамках настоящего исследования использованы результаты наблюдений по 52 скважинам из 70 существующих с наибольшим периодом непрерывных наблюдений (30–40 лет). Створы наблюдений за УГВ проходят по характерным ландшафтным участкам Национального парка. Глубина закладки скважин варьирует в широких пределах (2–140 м) в зависимости от гидрогеологических условий и назначения скважин.

Таким образом, на основе изложенных выше положений определены оптимальные с точки зрения точности наблюдений и затрат на ее достижение значения частоты (дискретности) наблюдений, которые составляют 12...18 суток, продолжительности наблюдений – 14 лет и плотности сети гидрогеологических скважин – 4500 м. Для Национального парка Беловежская пуца при расчете затрат учитывались только переменные издержки, а постоянные издержки принимались равными нулю. Учет постоянных издержек привел бы к незначительному смещению максимума целевой функции, что компенсировалось осреднением результатов по нескольким временным рядам. Полученные выше оптимальные значения могут быть использованы при модернизации существующей или проектировании новой наблюдательной сети.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усиков, Т.Ю. Достоверность геологоразведочной информации / Т.Ю. Усиков. – М. : Недра, 1988. – 120 с.
2. Ефременко, А.В. К оценке оптимального комплекса наблюдений за режимом подземных вод / А.В. Ефременко, В.С. Ковалевский, С.М. Семенов // Водные ресурсы. – 1998. – Т. 25, № 5. – С. 529–533.
3. Rouhani, S. Variance reduction analysis / S. Rouhani // Water Resour. Res. – 1985. – Vol. 21, № 6. – P. 837–846.