

**METODY MODELWE W BADANIACH BILANSÓW WÓD PODZIEMNYCH
I DOKUMENTOWANIU ICH ZASOBÓW**

UKD [556.3:553.04].072

Ogromny rozwój przemysłowy obserwowany powszechnie po drugiej wojnie światowej i związana z nim postępująca degradacja środowiska naturalnego człowieka nie ominęła również zasobów wodnych, a przeciwnie w związku z eksplozywnym wzrostem zapotrzebowania na wodę, stała się w tej dziedzinie szczególnie jaskrawo widoczna. Naturalną konsekwencją takiej sytuacji był wzrost zainteresowania wodami podziemnymi, jako tą częścią zasobu wody, który do tej pory stosunkowo w najmniejszym stopniu poddał się procesowi degradacji zarówno pod względem jakości, jak i ilości.

Potrzeby przemysłu, gospodarki rolnej oraz gospodarki komunalnej wyzwoliły tendencje do możliwie maksymalnego wykorzystania zasobów wód podziemnych. Okazało się przy tym, że zapotrzebowanie to w wielu przypadkach znacznie przekracza zasoby poszczególnych jednostek hydrogeologicznych. Wynika stąd pilna potrzeba stosowania nowoczesnych metod sporządzania bilansów wód podziemnych poszczególnych jednostek hydrogeologicznych w skali regionalnej oraz określania zasobów eksploatacyjnych takich jednostek. Metody, o których mowa, obok aspektu nowoczesności, powinny umożliwić w pełni kompleksową analizę warunków hydrogeologicznych jednostek z uwzględnieniem współzależności wód podziemnych z wodami powierzchniowymi oraz z uwzględnieniem wpływu na te warunki ujęć wód podziemnych.

Wśród różnych metod określania zasobów wód podziemnych jednostek hydrogeologicznych do metod spełniających wymienione warunki, metod umożliwiających równoczesne rozwiązanie bilansu wód podziemnych, należą metody modelowania matematycznego i to zarówno modelowania numerycznego, jak i analogowego. Metody te polegają na szczegółowym rozwiązaniu ogólnych równań ruchu wód podziemnych, należą więc do metod hydrodynamicznych. Metody modelowania analogowego w swej idei polegają na rozwiązaniu ogólnych równań filtracji dla zadanych warunków brzegowych oraz dla ściśle określonego schematu warunków hydrogeologicznych i w tym sensie nie różnią się od metod analitycznych. Są one jednak od metod analitycznych bardziej uniwersalne, ze względu na możliwość uzyskania rozwiązań dla schematów lepiej odtwarzających warunki naturalne i co ważniejsze ze względu na możliwość ilościowej kontroli poprawności zarówno przyjętych parametrów jednostki hydrogeologicznej, jak i przyjętego schematu warunków hydrogeologicznych.

W procesie oceny zasobów wód podziemnych określonych jednostek hydrogeologicznych uzyskujemy więc możliwość stopniowego poprawiania modelu na drodze rozwiązywania tzw. zadania odwrotnego oraz określania stopnia i zakresu wpływu poszczególnych czynników oddzielnie. Efekty takie można uzyskać poprzez odtworzenie na modelu zachowania hydrodynamicznego jednostki hydrogeologicznej bądź to w okresie jej badawczego rozpoznawania (pompowania badawcze, obserwacje stacjonarne), bądź w okresie trwania eksploatacji, jeśli jej dotychczasowy przebieg był znany. Metody modelowe umożliwiają wreszcie rozwiązywanie zadań optymalizacyjnych z punktu widzenia wyboru najbardziej racjonalnego sposobu wykorzystania zasobów wody danej jednostki hydrogeologicznej, ich ochrony, względnie wzbogacania naturalnego lub sztucznego. Podkreślić wreszcie należy specyficzną cechę metod modelowych, wyróżniającą ją od metod numerycznych — są one

tak proste, że mogą być z powodzeniem stosowane bezpośrednio przez samych hydrogeologów, najlepiej rozumiejących jednostkę hydrogeologiczną jak i sens fizyczny zjawisk zachodzących w niej, mogących na bieżąco kontrolować i kierować przebiegiem rozwiązania.

Z licznych typów modeli w badaniach bilansów i zasobów wód podziemnych najbardziej racjonalne jest wykorzystanie modeli elektrycznych. Wpływa na to duża łatwość wykorzystania modelu, prostota i duża dokładność pomiarów elektrycznych oraz łatwość konstruowania dużych elektrycznych modeli siatkowych. Modele te na ogół gwarantują uzyskanie „dokładności maszynowej” lepszej niż $\pm 2\%$. W badaniach hydrogeologicznych jest to dokładność wystarczająca, gdyż dokładność rozpoznania jednostek jest zwykle co najmniej o jeden rząd gorsza. W tej sytuacji dokładność modelowej prognozy hydrogeologicznej będzie zależała wyłącznie od dokładności wyznaczenia parametrów jednostki hydrogeologicznej, prawidłowości przyjętego schematu warunków hydrogeologicznych i poprawności założonych warunków brzegowych.

Perspektywą rozwoju modelowania elektrycznego w Polsce (jak się wydaje) oparta będzie w głównej mierze o modele ciągłe typu analogii elektro-hydrodynamicznej dla modelowania płaskich ustalonych pól filtracji oraz modele siatkowe typu R-R dla modelowania nieustalonych pól filtracji. W Instytucie Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej UW reprezentowanym przez autora wykorzystuje się głównie kompensator AEHD, reologiczne urządzenie analogowe RUA-1 oraz analizator pola AP-600. Urządzenia te spełniają wymogi nowoczesnych urządzeń analogowych i jak sprawdzono w pełni wykorzystywane być mogą w badaniach bilansów i zasobów wód podziemnych. W najbliższej przyszłości oczekiwać należy pojawienia się portatywnego kompensatora tranzystorowego na obwodach scalonych, wygodnego do stosowania w pracach terenowych. Z drugiej strony istnieje pilna potrzeba zagwarantowania importu lub podjęcia produkcji papierów elektroprzewodzących.

Przedstawiony typ modeli i urządzeń modelowych jest dostatecznie uniwersalny, by rozwiązywać przy ich użyciu większości zadań z zakresu bilansowania i określania zasobów wód podziemnych. Niemniej wspomnieć należy, że wiele zalet posiadają modele siatkowe typu R-C czy też modele ciągłe z dyskretnym zadaniem pojemności. Wspomniane modele powinny zawsze stanowić uzupełniający warsztat każdej pracowni modelowania hydrogeologicznego. Nie widzi się natomiast celowości rozbudowywania modelowania cieplnego czy nawet hydraulicznego.

Rozwiązanie zagadnień bilansowych i zasobowych jednostek hydrogeologicznych można, a nawet należy przeprowadzać metodami modelowania we wszystkich przypadkach, z wyjątkiem jednostek prostych, dobrze rozpoznanych, dla których możliwa jest konstrukcja schematu mającego rozwiązanie analityczne oraz z wyjątkiem, jednostek o bardzo skomplikowanych warunkach hydrogeologicznych słabo rozpoznanych, dla których nie ma możliwości skonstruowania dostatecznie wiarygodnego schematu modelowego. Jednak w tym ostatnim przypadku stosować można modelowanie dla rozwiązania pojedynczych zadań cząstkowych np. charakteru wpływu określonych czynników zasobowo-bilansowych. We wszystkich pozostałych warunkach modelowanie powinno

być wykonywane bądź to jako jedyna i samodzielna metoda obliczeń hydrogeologicznych, bądź jako metoda równoległa czy uzupełniająca.

Powinniśmy więc wydzielać modele pełne odtwarzające całą jednostkę w skali regionalnej lub modele cząstkowe, których zadaniem byłaby analiza lokalnych warunków hydrogeologicznych dla oceny zasobów ujęcia, rozwiązania zadań odwrotnych, odtworzenia przebiegu eksploatacji, wyboru systemu eksploatacji itp.

Podkreślić należy, że dla jednostek o bardziej skomplikowanych warunkach skala modelu powinna być nie mniejsza niż 1:50 000, zwłaszcza w odniesieniu do modeli cząstkowych. W każdym natomiast przypadku należy unikać modeli w skali mniejszej niż 1:200 000. W odniesieniu do modeli siatkowych stosowanych dla oceny bilansu i zasobów jednostek hydrogeologicznych należy podkreślić, iż powinny to być modele, które angażują nie mniej niż 100—250 węzłów, z tym że dla dokładnych opracowań ilość węzłów powinna przekraczać 400—500.

Podkreślić należy, że przy stosowaniu modeli pełnych zadanie określenia zasobów i bilansów wód podziemnych całych jednostek może być rozwiązane i to nawet dokładnie, jednak pod warunkiem pełniejszego rozpoznania jednostki hydrogeologicznej niż przy obliczeniach analitycznych. Wynika stąd bardzo istotny wniosek dotyczący momentu podejmowania decyzji o zastosowaniu modelowania. Decyzja ta powinna być podejmowana we wstępnym etapie rozpoznawania jednostki hydrogeologicznej, by w ten sposób ułatwić właściwe przeprowadzenie badań, umożliwiające wykorzystanie ich w analizie modelowej. Przed omówieniem zakresu badań hydrogeologicznych przyjrzyjmy się podstawowym etapom modelowania wykonywanego dla określania zasobów i bilansów wód podziemnych.

PODSTAWOWE ETAPY OKREŚLANIA ZASOBÓW I BILANSÓW WÓD PODZIEMNYCH METODĄ MODELOWANIA

1) Prace zmierzające do określenia modelowego schematu warunków hydrogeologicznych badanej jednostki (schematyzacja warunków hydrogeologicznych):

a) zestawienia kompleksowe materiałów rozpoznania w postaci hydrogeologicznych i pomocniczych map, zestawienie parametrów hydrogeologicznych. — zwłaszcza charakteryzujących związki wód podziemnych z wodami powierzchniowymi;

b) zestawienie materiałów hydrodynamicznych, a zwłaszcza przebiegu dotychczasowej eksploatacji, przebiegu próbnych i badawczych pompowań, wyników obserwacji stacjonarnych itp.;

c) wykonanie obliczeń analitycznych oraz prostych modeli cząstkowych dla sprawdzenia prawidłowości zastosowanych uśrednień parametrów w poszczególnych partiach jednostki oraz dla oceny stopnia wpływu poszczególnych czynników formujących bilans i zasoby jednostki — zadania te rozwiązuje się zwykle metodą rozwiązania tzw. zadań odwrotnych oraz metodą kontroli reakcji modelu na zmianę poszczególnych czynników w kolejnych punktach modelu, z pełnym wykorzystaniem zasady superpozycji;

d) kompleksowe określenie schematu warunków hydrogeologicznych oraz zestawienie pełnego modelu całej jednostki. Podkreślić należy, że jest to etap najważniejszy, który w największym stopniu wpływa na dokładność prognozy hydrogeologicznej. Etap ten musi być wykonany wyłącznie przez hydrogeologa i to zarówno w części czysto zestawczej i analitycznej, jak i zwłaszcza w części modelowej, która w żadnym przypadku nie może być pominięta. Etap ten praktycznie nie poddaje się algorytmizacji bez szkody dla prognozy.

2) Weryfikacja poprawności i dokładności zestawionego modelu z punktu widzenia dokładności poszczególnych elementów prognozy hydrogeologicznej. Testem sprawdzającym w tym etapie jest odtworzenie map hydroizohips lub przynajmniej rzędnych zwierciadła w charakterystycznych punktach modelu, z uwzględnieniem pompowań w ujęciach oraz stanu warunków granicznych. Szczególną rolę należy w tym etapie przypisać problemowi odtworzenia przebiegu eksploatacji dużych ujęć w obrębie jednostki. Oczywiście jest, iż w zależności od skali modelu oraz od tego czy jest on pełny, czy też cząstkowy wpływ poszczególnych elementów może być zadawany dokładnie bądź też w sposób mniej lub bardziej uogólniony. Podkreślić należy, że po potwierdzeniu poprawności generalnej modelu należy w tym etapie określić dokładność poszczególnych elementów prognozy, w poszczególnych partiach modelu.

3) Właściwa modelowa ocena zasobów i bilansu wód podziemnych dużej jednostki hydrogeologicznej. W etapie tym na model hydrogeologiczny zadajemy reżim pracy istniejących i ewentualnie projektowanych ujęć wody podziemnej, uwzględniamy zmianę warunków granicznych, jaka wystąpić może w okresie poddanym prognozowaniu, zwłaszcza w zakresie zmian warunków zasilania. Podkreślić należy, że zmiany te mogą być znane zaledwie w sposób przybliżony, szczególnie gdy nie są znane kierunki perspektywicznych inwestycji z zakresu gospodarki wodnej bądź tempo przemian powodujących degradację środowiska. Mimo to w procesie oceny zasobów i zmian bilansowych należy wykazać zakres i stopień wpływu poszczególnych czynników charakteryzujących współdziałanie jednostki hydrogeologicznej z jej otoczeniem zarówno w sensie deterministycznym, jak i stochastycznym, na podstawie znajomości wieloletnich zmian warunków klimatyczno-hydrologicznych. W analizie takiej bardzo ważna jest sprawa oceny czasu trwania wymiany wody w obrębie jednostki.

W etapie tym w zależności od stopnia rozpoznania jednostki oraz od wyników weryfikacji modelu należy określić stopień (kategorię) rozpoznania zasobów dynamicznych i zasobów eksploatacyjnych oraz wykonać analizę czynników formowania bilansu wód podziemnych, a w szczególności przedstawić najważniejszy sposób wykorzystania zasobów jednostki hydrogeologicznej poprzez wariantowe rozwiązania zadania optymalizacyjnego.

Metody modelowe określenia bilansu i zasobów wód podziemnych należą do najbardziej dokładnych, uniwersalnych i efektywnych metod, jednakże, jak już wspomniano, wymagają znacznie pełniejszego rozpoznania warunków hydrogeologicznych niż przy obliczeniach analitycznych. Waga rozpoznania warunków hydrogeologicznych jednostki dla stosowania metod modelowych jest szczególnie, gdyż obok ogólnopoznawczych zadań takiego rozpoznania musi ono umożliwić wykonanie oceny dokładności oraz dowodnie wykazać prawidłowość zastosowanych uogólnień i uśrednień parametrów hydrogeologicznych i innych materiałów.

BADANIA JEDNOSTEK HYDROGEOLOGICZNYCH DLA MODELOWEJ OCENY ZASOBÓW I BILANSU WÓD PODZIEMNYCH

Mając na uwadze wyżej wymienione cechy charakterystyczne badań dla celów modelowania poniżej przedstawia się tylko schematyczne zestawienie tych badań bez szczegółowego określania ich zakresu. Zakres poszczególnych badań nie może być standardyzowany, lecz każdorazowo powinien być limitowany specyfiką danej jednostki. W głównej mierze najpełniej i najwszechstronniej pojętą jej niejednorodnością w skali lokalnej i regionalnej.

Ogólnie biorąc badania jednostek hydrogeologicznych powinny obejmować następujące grupy badań:

1. Ogólne badania geologiczne i hydrogeologiczne.
2. Powierzchniowe kartowanie hydrogeologiczne.
3. Badania hydrologiczne.
4. Badania jakości wód.
5. Badania geofizyczne.
6. Hydrogeologiczne badania specjalne.
7. Cząstkowe i pomocnicze badania modelowe.

Wszystkie wymienione grupy badań powinny się wzajemnie uzupełniać. Poniżej w skrócie podkreśla się charakterystyczne cechy poszczególnych grup badań.

ad 1. Głównym celem jest określenie przestrzennego układu jednostki hydrogeologicznej i jej granic oraz określenie cech strukturalno-tektonicznych, litologicznych i sedymentologicznych regionu, w którego obrębie znajduje się analizowana jednostka hydrogeologiczna. Badania opierają się głównie na otworach poszukiwawczych, a ich efekty powinny być zestawione w postaci map, przekrojów i wykresów.

ad 2. Kartowanie jest uzupełnieniem ogólnych badań. Powinno być przeprowadzone w skali zabezpieczającej dokładną ocenę stopnia zmienności powierzchniowej zasilania infiltracyjnego. Główny nacisk powinien być położony na szczegółowe rozpoznanie stref alimentacji, obszarów dolin rzecznych, źródłiskowych i innych umożliwiających, łącznie z badaniami hydrologicznymi, określenie charakteru związku wód podziemnych i powierzchniowych. Wskazuje się tu na celowość wykorzystania zdjęć lotniczych dla pełnego rozpoznania objawów wód podziemnych i geomorfologii.

ad 3. Badania hydrologiczne powinny w miarę możliwości wykonywane być w cyklu wieloletnim. Obejmują przestrzenną i czasową charakterystykę stanów wód, odpływów, opadów, parowania, odpływów jednostkowych (szczególnie niżówkowych). Do najważniejszych należy tu jak i w poprzedniej grupie określenie charakteru związku z wodami podziemnymi, a zwłaszcza oporności filtracyjnej dna zbiorników wód powierzchniowych.

ad 4. Badania jakości wód podziemnych i powierzchniowych powinny umożliwić określenie map i profili hydrochemicznych, zwłaszcza ważniejszych elementów, w ujęciu zmian czasowo-przestrzennych, dla prognoz ewentualnego zanieczyszczenia.

ad 5. Badania geofizyczne powinny być nastawione na zwiększenie dokładności określenia formy, granic jednostki oraz stopnia jej niejednorodności. Powinny to być zarówno badania powierzchniowe, jak i karotażowe, a także badania radiologiczne, nastawione na określenie kierunków i prędkości filtracji oraz na zwiększenie dokładności parametrów hydrogeologicznych.

ad 6. Hydrogeologiczne badania specjalne opierają się w głównej mierze na rozpoznaniu osiąganym w otworach rozpoznawczych i obserwacyjnych. Dane z próbnych i badawczych pompowań (w miarę możliwości hydrowęzłów), głównie w warunkach nieustalonych, powinny umożliwiać określenie współczynników filtracji, przewodnictwa, odsączalności, zasobności sprężystej, czynnika przesączania i wskaźnika infiltracji. Parametry te powinny być rozpoznane w całej jednostce, a przynajmniej powinien być wyznaczony możliwy rozrzut wartości tych parametrów. Stopień rozpoznania parametrów powinien umożliwić wykonanie map ich zmienności, stąd badania te powinny być rozszerzane przez stacjonarne badania piezometryczne (również jednostek będących w kontakcie z badaną) oraz badania seryjne, zwłaszcza w okresach niżówkowych. Określenie w tych

badaniach współdziałania warstw i sąsiednich jednostek wymaga szczególnej uwagi, podobnie jak określenie roli okien hydrogeologicznych i współzależności z wodami powierzchniowymi. Wyniki stacjonarnych badań specjalnych przedstawia się w postaci specjalnych schematów, diagramów i wykresów. W tej grupie badawczej należy także zebrać i zestawzić dane określające cechy istniejących i projektowanych ujęć wód podziemnych.

ad 7. Celem tych badań modelowych jest w głównej mierze zwiększenie dokładności formowanego schematu warunków hydrogeologicznych i samego modelu. Wykonuje się je dla uzyskania pełnej modelowej interpretacji badań i obserwacji hydrodynamicznych.

Ogólnie biorąc punkty badawcze powinny być rozmieszczone mniej więcej równomiernie na badanym obszarze, z tym że powinny być lokowane wzdłuż głównych linii prądu (zwłaszcza przy badaniach hydrodynamicznych) oraz zagęszczane w strefach głównych granic, takich, jak: strefy alimentacji, drenażu, rzek, jezior, okien hydrogeologicznych, czy też w strefach charakterystycznych jak: uskoki, krawędzie morfologiczne i in. Podkreślić należy, iż przynajmniej część badań i obserwacji podjęta we wczesnym etapie rozpoznania powinna trwać nieprzerwanie i objąć także etap badań eksploatacyjnych. Jest to jedyna droga zwiększenia dokładności i wiarygodności zarówno schematu warunków hydrogeologicznych, jak i samego modelu oraz jedyna droga uzyskania optymalnego wariantu wykorzystania zasobów jednostki, a nawet pewnego regulowania bilansem wód podziemnych w jednostce.

W zależności od stopnia dokładności rozpoznania w stosunku do rzeczywistej niejednorodności jednostki hydrogeologicznej, należy zdecydować czy wyznaczony schemat warunków hydrogeologicznych, jak i sam model powinien mieć charakter statystyczny (kiedy w związku z niemożliwością określenia kierunku zmian parametrów, parametry po prostu uśredniamy), fragmentarycznie statystyczny, częściowo statystyczny (kiedy uśredniamy parametry w pewnym obszarze lub kiedy uśredniamy tylko część parametrów), czy też tworzymy model naturalny uwzględniający pełną zmienność parametrów w jednostce. Wydaje się, że obliczenia wykonane na modelu statystycznym w żadnym przypadku nie mogą prowadzić do rozpoznania zasobów w stopniu dokładniejszym niż kategoria C, a tylko model naturalny pozwala dla całej jednostki określić zasoby w kategorii B. Pozostałe modele umożliwiają określenie zasobów w kategorii C oraz dla pewnych obszarów jednostki w kategorii B.

W niniejszym przeglądzie problemów modelowego określania bilansu i zasobów wód podziemnych pominięto samą teorię i techniki modelowania. Przedstawioną przez autora na metodycznej sesji Wydziału Geologii w marcu 1973 r. W zamian zestawiono wybraną literaturę dotyczącą tego zagadnienia.

Na zakończenie należy zwrócić uwagę, że raz stworzony model jednostki hydrogeologicznej (ewentualnie stopniowo poprawiany) dobrze służyć może symulowaniu zmiennego oddziaływania warunków zewnętrznych na jednostkę. Obok rozwiązania deterministycznego dotyczącego przemian wewnątrz jednostki uzyskać można na nim również rozwiązanie stochastyczne, jeśli założymy, iż oddziaływanie otoczenia na naszą jednostkę ma taki charakter. W czasie istnienia maszyn analogowych typu analizatora AP-600 i maszyn cyfrowych istnieje możliwość pełniejszej stochastyczno-deterministycznej analizy procesów hydrogeologicznych w powiązaniu ze współzależnością z wodami powierzchniowymi. W szczególności widoczna staje się możliwość pełnego sprecyzowania pojęcia zasobów dyspozycyjnych zarówno wód podziemnych, jak i powierzchniowych.

LITERATURA

1. Brylska i in. — Modelowanie filtracji wód podziemnych w rejonach ujęć wodnych. Warszawa, 1972.
2. Gawicz J. K. — Ocienka eksploatacyjnych zasobów podziemnych wód metodami modelowania. Obzor, seria: gidrogeologija i inżynieria geol., WJEMS, Moskwa, 1972.
3. Karplus W. J. — Analog simulation solution of field problems. N. York-Toronto-London, 1958.
4. Kordas B. — Matematyczne modelowanie ruchu wód gruntowych. Prz. Geof., 1971, z. 1—2.
5. Łyżwińska A. — Rozwiązanie równań różniczkowych cząstkowych metodą modelowania elektrycznego. Prace I. A. PAN, 1965, z. 2.

SUMMARY

Model methods applied in hydrogeology are widely recognized as universal, and at the same time facilitating carrying out complex analyses of hydrogeological conditions.

In the present paper, three stages of evaluating groundwater resources and balances by the use of model method are distinguished:

- 1) Hydrogeological surveys carried out in order to define the pattern of geological conditions.
- 2) Verification of adequacy and accuracy of the above pattern and model.
- 3) Evaluation of groundwater resources and balance by the model method.

The first stage is considered to be the most important from the point of view of accuracy of hydrogeological prognosis.

An adequate pattern of hydrogeological conditions requires detailed surveys to be carried out from the very beginning by a hydrogeologist conscious of the requirements, possibilities, and limitations of the type of model applied (usually electric logging model). Basic groups of surveys of hydrogeological units designed to meet the requirements of model evaluations of groundwater resources and balances are briefly characterized.

6. Macioszczyk T. — Pracownia modelowania. Maszynopis powielany IHiGI UW, 1969—72 (przygotowywany do druku).
7. Makowski Z., Lechowski J. — Zastosowanie analizatora polowego w eksploatacji złóż ropy naftowej. Prace I. A. PAN, 1964, z. 11.
8. Smietański Z. — Metoda analogii hydraulicznej w ocenie procesów nieustalonej filtracji przy odwadnianiu kopalń odkrywkowych. Pr. geol. Kom. Nauk. Geol. PAN Oddz. w Krakowie, 1969, nr 56.
9. Żernow J. E., Szestakow W. M. — Modelowanie filtracji podziemnych wód. Moskwa, 1971.

РЕЗЮМЕ

Методы моделирования приобрели важное значение в гидрогеологии как наиболее универсальные методы и одновременно позволяющие на проведение наиболее полного, комплексного анализа гидрогеологических условий.

В статье рассматриваются три этапа определения запасов и баланса подземных вод методом моделирования.

1. Гидрогеологические исследования для определения схемы гидрогеологических условий.
2. Проверка точности и достоверности составленной схемы и модели.
3. Собственно оценка запасов и баланса подземных вод.

С точки зрения достоверности гидрогеологического прогнозирования важнейшим считается первый этап.

Достоверность схематизации гидрогеологических условий обеспечивается путем проведения детальной разведки, с самого начала направленной на достижение определенной цели с учетом требований, возможностей и недостатков применяемого метода моделирования (чаще всего электрического). Дана краткая характеристика основных комплексов исследований гидрогеологических структур для целей модельной оценки запасов и баланса подземных вод.