

ベトナム・紅河デルタ全域を対象とした帯水層構造の同定

首都大学東京 都市環境学部	学生員	○築山 裕哉
首都大学東京 都市環境科学研究科	正会員	河村 明
首都大学東京 都市環境科学研究科	正会員	中川 直子
首都大学東京 都市環境科学研究科	正会員	天口 英雄
首都大学東京 都市環境科学研究科	学生員	Thuy Nguyen Thanh

1. はじめに

本研究で対象とした紅河デルタはメコンデルタと並ぶベトナムの二大デルタの一つである。紅河は高濃度の浮遊物質を含み、また上流でのインフラの未整備や産業廃棄物の管理の悪さによる汚染のため、紅河デルタ流域においては生活用水を完全に地下水に依存している。しかしながら近年、紅河デルタでは、急激な人口増加や産業発展により水需要が増加し、また、地下水の過剰取水を行った結果、井戸の枯渇や地下水位の低下、地盤沈下など様々な問題を引き起こしている¹⁾。ベトナムのような発展途上国にとって、このような地下水資源問題を解決し、持続可能な管理を行うためには、帯水層構造の同定や地下水資源としての帯水層の潜在特性の把握が不可欠であるが、近年まで紅河デルタの地層データや水文地質パラメータはデータベース化されていなかった。これに対し、国家水文地質データベースプロジェクト(National Hydro-geological Database Project)が立ち上げられ、1996年～2003年の間にボーリング調査を行いデータベース化が推し進められた。しかし、現時点ではそのデータは一般公開されておらず、同プロジェクトの関係者のみが入手出来る状況となっている。このため紅河デルタにおける帯水層構造や地下水資源の潜在特性の詳しい分析は行われていない。そこで本研究では、国家水文地質データベースプロジェクトによる紅河デルタの地層データと水文地質パラメータを用い、帯水層構造の同定を行った。同時に、地下水資源としての潜在特性についても考察を行った。

2. 対象流域および使用データ

図-1 に示す通り、対象流域である紅河デルタはベトナム北部の首都のハノイを含む13の地方自治体からなる最も開発された地域であり、面積約 13,000 km² でベトナム全域の 4.5 %を占めている。紅河デルタの人口は2000万人(2012年)であり、ベトナム全人口の 23 %を占めている。年間降水量は約 1,600 mm であり、そのうち 75 %は5月～10月の雨季に集中している²⁾。本研究では紅河デルタ及びその周辺における 778 地点のボ

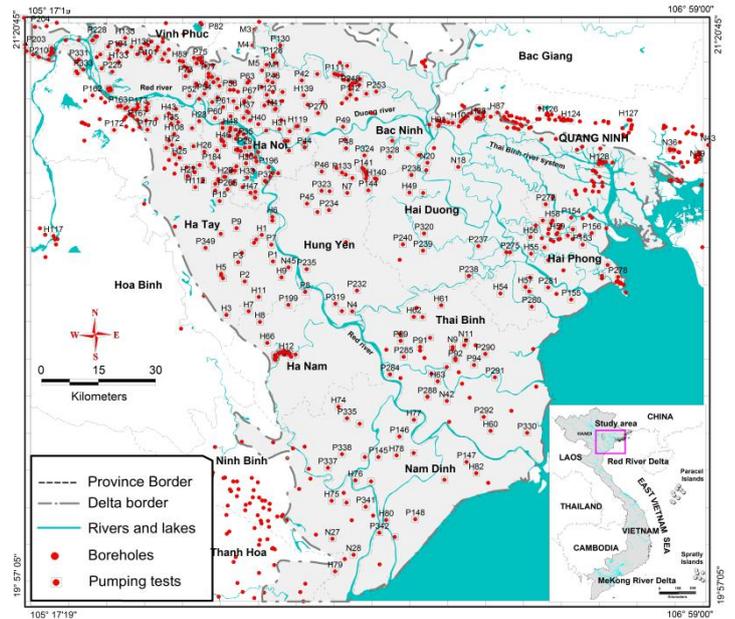


図-1 ベトナム・紅河デルタと観測点

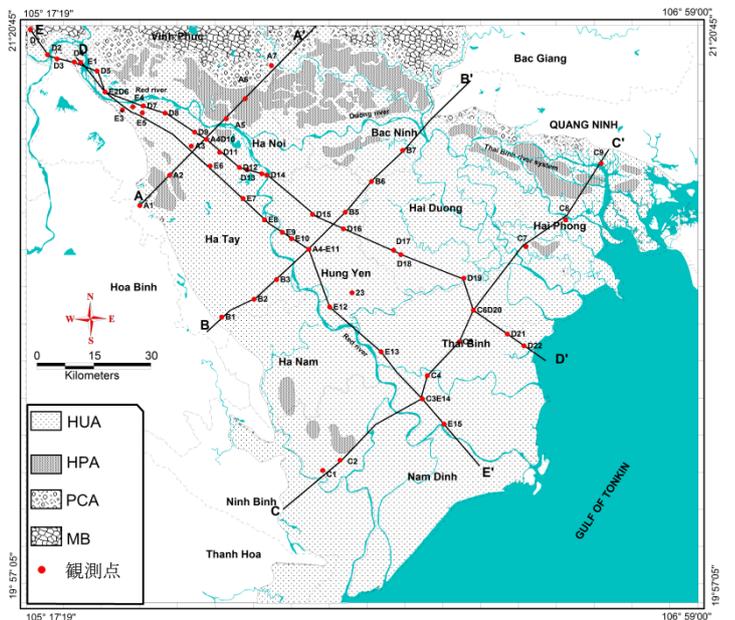


図-2 水文地質地表面図

キーワード：国家水文地質データベースプロジェクト、帯水層構造、地下水資源、紅河デルタ、

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 E-mail : tsukiyama-yuuya@ed.tmu.ac.jp

ーリングデータの内の、721 地点から得られた地層データおよび 637 地点から揚水試験により得られた水文地質パラメータを用いた。解析対象とした水文地質パラメータとしては、比容量(q)、総溶解性蒸発残留物(TDS)、透水量係数(T)であり、637 地点の内、413 地点が更新世の被圧帯水層(Pleistocene Confined Aquifer, 以下 PCA と記す), 147 地点が完新世の不圧帯水層(Holocene Unconfined Aquifer, 以下 HUA と記す), 70 地点が新第三紀の含水層(Neogene water bearing layer, 以下 NWL と記す), そして7 地点が中生代の破砕帯(Mesozoic fractured zones, 以下 MFZ と記す)から得られたデータである。

3. 帯水層構造の同定

得られたボーリング地層データより、帯水層の表面分布を視覚的にとらえるためにデータをまとめ、作成した水文地質表面図を図-2 に示す。また、図-2 に示す5つのクロスセクションライン A-A', B-B', C-C', D-D', E-E' に沿って作成した水文地質断面図を図-3 に示す。図-3 よりデルタ地域において HUA は最上部に位置する帯水層であり、その下に完新世-更新世の難透水層(Holocene- Pleistocene Aquitard 以下 HPA と記す), PCA の順で構成されて

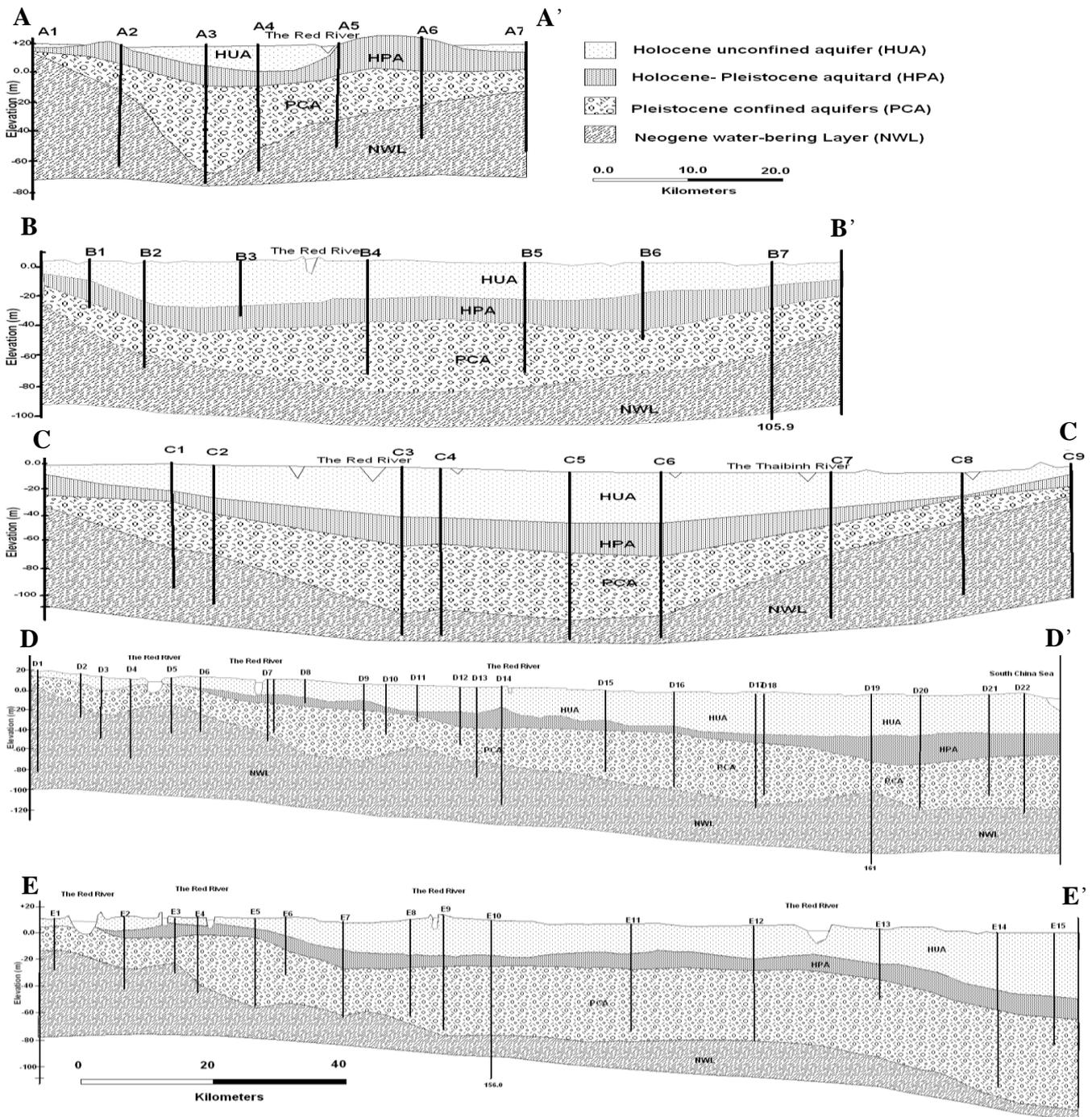


図-3 水文地質断面図

いる。また、紅河デルタにおける第四紀の地層 (HUA, HPA, PCA) は最大厚さ 100m に達し、新生代の新第三紀の含水層(NWL)の上に存在している事が分かる。図-3 の A-A', B-B', C-C' の横断面図より、HUA と PCA はデルタの境界線から中心に向かうにつれ厚さが増加している。また、縦断面図 C-C', D-D', E-E' より上流から下流に向かっても HUA と PCA の帯水層の増加傾向が見られる。さらに、河床浸食により、紅河はいくつかの場所で HUA および PCA と直接繋がっており、紅河は地下水涵養の為の大切な自然流入資源となっている。

図-2 より、HUA はデルタ地域の約 88 % を占める約 11,450 km² の地域において地表面に広く分布している。デルタにおける大部分の HPA は HUA の下に存在するが、デルタ北部の境界付近において露出しており、紅河デルタの約 5% を占めている。また、PCA はデルタの地下のほぼ全域に存在し、北部では地表面に露出する箇所が点在している。すなわち、北部においては最上部の地層である HUA が存在しないため、デルタ北部の境界線周辺の地表面においては HPA が地表面に存在しており、また北部の一部で HPA も存在しない地域では PCA が地表面に出てきている事が分かる。また、中生代の岩盤 (Mesozoic bedrocks 以下 MB と記す) がデルタの外側の地表面に存在している。

4. 地下水資源としての潜在特性

図-4, 図-5 に観測された HUA と PCA における 3 つの水文地質パラメータ、比容量(q)、総溶解性蒸発残留物(TDS)、透水量係数(T)についてのヒストグラムを示す。 q , TDS , T の欠測を除いたデータ数はそれぞれ、HUA で 114, 111, 101 個、PCA で 356, 340, 348 個である。これらの図は地下水資源の潜在特性を把握する上で重要な指標となる。 q は、帯水層の透水性を示すパラメータであり、帯水層の貯水量と揚水量に関する潜在特性の評価に用いられる。また、 TDS は飲料水基準の評価に使われるパラメータであり、 T は透水性や地下水の潜在特性の評価に用いられる帯水層定数の一つである。図-6, 7 には Kriging 方式を用いて作成した T の等値線図を示す。これらのデータを基にベトナムの地下水試験におけるガイドラインによって検討を行った³⁾。

図-4(a) より HUA の q において、114 個中 61 地点の地下水が $q > 1$ L/s/m であり、約半分が高い潜在性がある事が観測された。その内、3 つの地点は 10 L/s/m 以上であった。また残りの q のうちわけは、42 地点の地下水におい

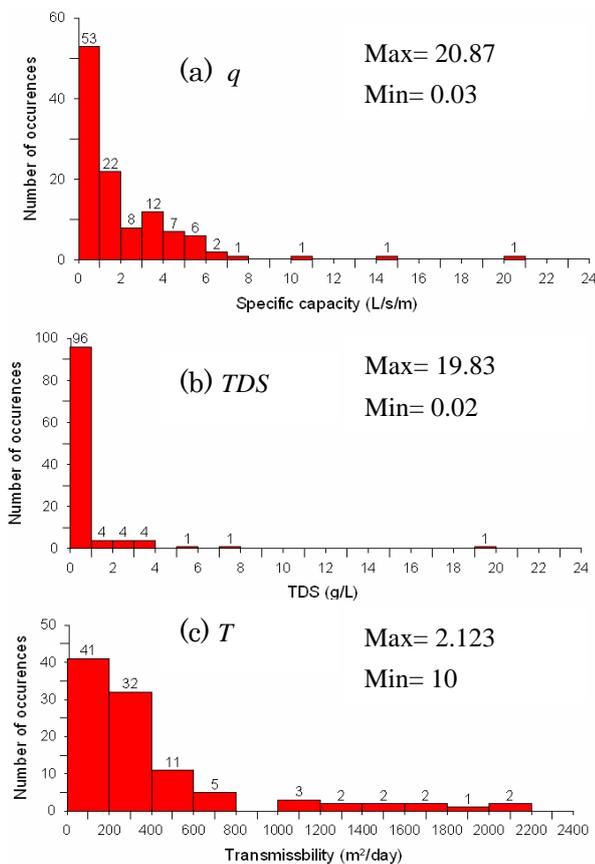


図-4 HUA における水文地質パラメータのヒストグラム

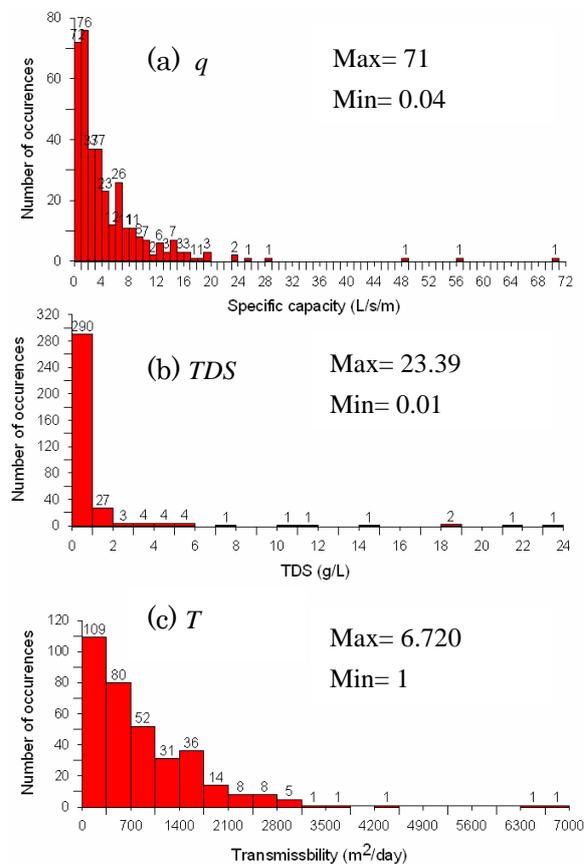


図-5 PCA における水文地質パラメータのヒストグラム

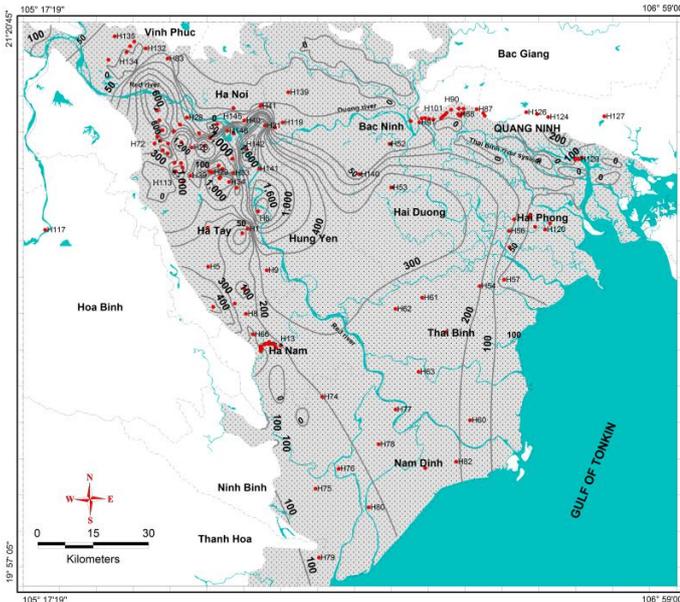


図-6 HUA の透水量係数(T)の等値線図

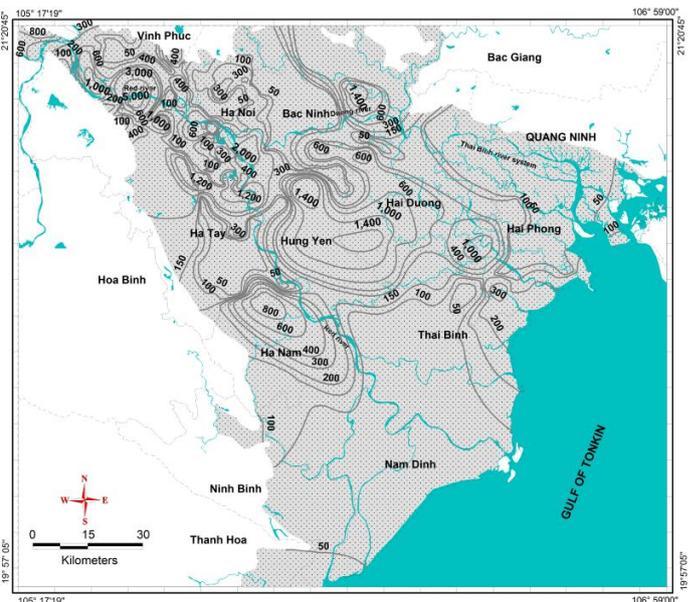


図-7 PCA の透水量係数(T)の等値線図

て $1 > q > 0.2 \text{ L/s/m}$ で通常の潜在性, そして 11 地点で $q < 0.2 \text{ L/s/m}$ であり低い潜在性を示した. 図-4(b)では, 96 個の TDS は HUA の地下水が水質良好であることを示す 1 g/L 以下である. その他の 15 個の TDS は 1 g/L 以上であり, クロスセクションライン B-B' から海岸線の間にかけて多く分布していたことから海水の影響によるものと考えられる. 図-4(c)より HUA の透水量係数は最大で $2,200 \text{ m}^2/\text{day}$ 近くに達し, 60% の透水量係数が地下水の高い潜在性を示す $200 \text{ m}^2/\text{day}$ より高い値であった. これより, HUA は地下水資源の高い潜在特性があり, 小・中規模の生活用水用に十分に供給する事ができると考えられる. また図-6 より, デルタにおける HUA の透水量係数の等値線図はデルタの境界線からデルタ上流域の中心に向かうにつれて, 急激な透水性の増加を示している.

図-5(a)より, 全ての 356 個の q を検討すると, 全地点の約 80 % を占める 284 の地点の地下水で $q > 1 \text{ L/s/m}$ であり高い潜在性が観測された. また残りの q のうちわけは, 59 の地点で $1 > q > 0.2 \text{ L/s/m}$ を示し通常の潜在性, 13 の地点において $q < 0.2 \text{ L/s/m}$ で低い潜在性であった. 図-5(b)より 340 個の TDS の内, 290 個が PCA の地下水が水質良好であることを示す 1 g/L 以下である. また, $TDS < 1 \text{ g/L}$ である水質良好な水の地域全域は約 $7,500 \text{ km}^2$ である. 他の 50 個の TDS は, 1 g/L より高い値であり HUA と類似の分布傾向が見られることから, 海水の影響によるものと考えられる. 図-5(c)より PCA の透水量係数の最大値が $7,000 \text{ m}^2/\text{day}$ 近くに達し, 70% の透水量係数が地下水の非常に高い潜在性を示す $350 \text{ m}^2/\text{day}$ より高い値であった. これより, PCA は地下水資源の非常に高い潜在性をもっており, PCA の厚さから大規模な生活用水供給をするのに十分であると考えられる. 透水量係数の等値線図(図-7)より, PCA の透水量係数は HUA より高い地下水潜在性を有する優れた透水性がある. また, 透水量係数の値はいくつかの頂点を中心に値が増加しており, これらの頂点はハノイの他に紅河とドン河に沿っている.

5. むすび

本研究では, 国家水文地質データベースプロジェクトによる紅河デルタの地層データと水文地質パラメータより, 紅河デルタにおける帯水層構造の同定を行った. その結果, 紅河デルタでは第四紀の地層(上から HUA, HPA, PCA)で構成されており, その下に新生代の新第三紀時代の岩盤(NWL)が存在している事が分かった. また, 地下水は主に HUA と PCA に存在する事が考えられる. 水資源としての潜在特性に関しては, PCA が最も地下水の潜在性が高く, 海水の影響を受けている地下水を除いて飲み水としての水質基準を満たしており, 大規模な生活用水供給を行うことができると考えられる.

参考文献

- 1) Tong, T.N., 2000, Some studied results in groundwater environment in Bacbo plain. CCOP Technical bulletin, 28, 55–66.
- 2) Tong, T.N., 2007, Groundwater level change in the Red River Delta. Ph.D. thesis, University of Geology and Mining, Hanoi, 150 p. (in Vietnamese)
- 3) Tran, M., 2000, Aquifer test guidelines for hydrogeological investigation. Northern Division of Water Resources Planning and Investigation, 30 p. (in Vietnamese)