

Концептуальная модель геофильтрации приустьевой части реки Темерник г. Ростова-на-Дону

А.В. Гридневский

Донской государственный технический университет

Аннотация: Маломощная зона аэрации в лёссовых грунтах г. Ростова-на-Дону благоприятна для подтопления. Активное строительство, в зоне разгрузки подземных вод порождает отсроченный геологический риск высачивания и подтопления. Для повышения достоверности гидрогеологических прогнозов обобщены материалы инженерно-геологических изысканий и разработана концептуальная гидрогеологическая модель приустьевой части реки Темерник. Модель описывает геологическую структуру, граничные условия геофильтрации, диапазоны изменений фильтрационных свойств грунтов. Для уточнения гидрогеологических параметров и снижения неопределенности модели необходимо многовариантное численное моделирование.

Ключевые слова: подтопление, геологический риск, просадочный грунт, моделирование, концептуальная модель, гидрогеологические условия.

Территория города Ростова-на-Дону подтоплена в районах исторического центра и плотных застроек из-за неглубокого залегания водоупора под толщей лёссовых грунтов и техногенных потерь воды. Современная застройка приустьевой части правобережья реки Дон охватывает зону разгрузки неогеновых водоносных горизонтов, трансформирует фильтрационные свойства грунтов и порождает отсроченный геологический риск подтопления. На рубеже XIX–XX веков разгрузка водоносных горизонтов учитывалась при строительстве: фундаменты возводились с проемами для пропуска воды [1].

Сложность гидрогеологических условий, неопределенность в идентификации геофильтрационных параметров создают необходимость исследования природы изменения уровней грунтовых вод (УГВ). Важным инструментом в решении указанных задач является численное гидрогеологическое моделирование, системно учитывающее факторы гидродинамики и являющееся инструментом поисков эффективных инженерных решений. В статье анализируются и схематизируются гидрогеологические условия в приустьевой части левобережья реки

Темерник для разработки прогнозов УГВ на основе численного моделирования.

Анализ изученности. Гидрогеологические условия территории изучалась специалистами Волго-Донского территориального геологического управления (Петров П.М., Родзянко Г.Н., Водяницкая Е.И. (1946 г.г.), Липацкова Е.Н.[2], Трестом РостовДонТИСИЗ (Меркулова К.А., 1973, Есипенков П.В.,1989). Многолетние материалы изысканий обобщены Меркуловой К.А. [1], Приваленко В.В.[3]. Силами РостовДонТИСИЗа в 1980-х годах создана сеть гидрогеологических наблюдательных скважин, разработаны гидрогеологические карты четвертичных и неогеновых отложений.

Физико-географические условия. Центральная часть города Ростова-на-Дону (8х3 км²), расположена на плиоценовой террасе реки Дон и ограничена глубокими речными врезами Темерника, Дона, балок: Безымянной и Кизитериновской. Абсолютные отметки поверхности земли составляют +1,0÷+80,0 м. Большая часть овражно-балочной сети засыпана грунтом по мере развития города. Климат района умеренно-континентальный. Среднегодовое количество осадков – 460 мм. Самый теплый месяц июль (23,6°С), наиболее холодный – январь (-4,2°С). Природный водообмен в центральной части города нарушен из-за плотной застройки и асфальтового покрытия.

Гидрография. Постоянными водотоками являются реки Дон и Темерник, ручьи балок Безымянной и Кизитериновской. Уровень воды в реке Дон испытывает колебания: сезонные (-0,5 ÷ +1,0м) и сгонно-нагонные (-2,0 до +4,0м) из-за ветров.

Геологическое строение. Самыми древними отложениями, определяющими инженерно-геологические условия города, являются морские

глины ниже-сарматского яруса (N_{1s1}) мощностью 10–15 м, служащие региональным водоупором (рис.1).

Глины перекрыты комплексом (15÷20м) водопроницаемых трещиноватых известняков сарматского яруса (N_{1s2}), переслаивающихся известняков и песков мэотического (N_{1m}) и понтического ярусов (N_{1p}). Завершается толща красно-бурыми плотными глинами (5÷15м) скифского яруса (N_{2s}). В неогене они покрывали обширные пространства, но в четвертичном периоде частично размыты овражно-балочной системой и реками. Наиболее молодые плейстоцен-голоценовые отложения повсеместно представлены эолово-делювиальными лессовидными суглинками, делювиальными суглинками и песчано-глинистым аллювием в долинах рек.

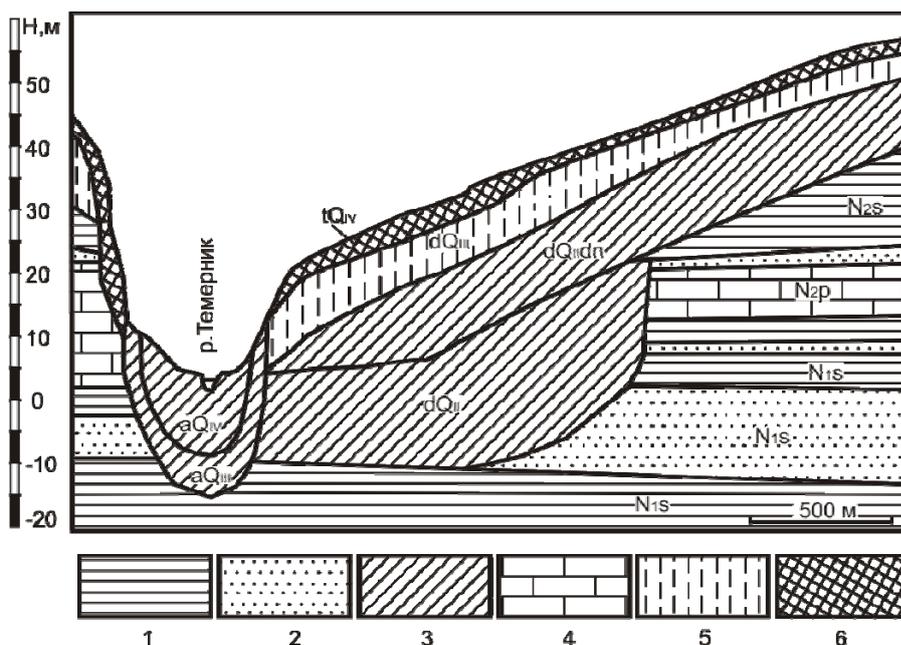


Рис. 1. – Геологическое строение приустьевой части реки Темерник:

1 – глины, 2 – песок, 3 – суглинки, 4 – известняки кавернозные и трещиноватые, 5 – суглинки лессовидные, 6 – насыпной грунт

Общая мощность четвертичных грунтов на водораздельных пространствах города достигает 25÷30 м. В четвертичном периоде река Темерник (приток Дона) заместила морские отложения аллювием и делювиальными суглинками, слагающими надпойменную террасу (рис.1).

Здесь мощность четвертичных осадков достигает 40 метров. В рельефе же склона отсутствуют характерные перегибы, создаваемые прочными известняками и плотными глинами.

Гидрогеологические условия. Водоносные горизонты выделены в четвертичных лессовидных суглинках, аллювиальных отложениях, неогеновых известняках и песках. Водоносный горизонт грунтовых вод в лёссовидных грунтах подстилается скифскими глинами (N_{2s}). Его баланс определяется атмосферными осадками и техногенной инфильтрацией. Четвертичные тяжелые суглинки и погребенные почвы играют роль локальных водоупоров для верховодки. Разгрузка грунтовых вод происходит в неогеновые известняки и пески в гидрогеологических окнах. Абсолютные отметки УГВ меняются от 80 м на водоразделах до 1 м в долинах рек. Интенсивность дренирования грунтовых вод ограничена низкой водопроницаемостью, фильтрационной анизотропией и малыми гидравлическими уклонами [3,4].

Неогеновый водоносный комплекс объединяет гидравлически связанные хапровские, мэотические, сарматские пески, песчаники и известняки. Кровля водоупорных сарматских глин располагается на абсолютных отметках 16÷25м. Свободная поверхность воды достигает отметок 33 м над уровнем моря. Водонасыщенными оказываются трещиноватые и ноздреватые сарматские известняки, остальные неогеновые отложения безводны.

На пологом восточном склоне долины реки Темерник грунтовые воды залегают в виде единого комплекса, насыщая делювий и террасовые глинистые отложения Темерника (рис.2).

По результатам откачек, выполненных РостовДонТИСИЗ в разные годы, средние значения коэффициента фильтрации верхнечетвертичных суглинков составляют 0,5÷0,6 м/сут., среднечетвертичных суглинков 0.2÷0,3 м/сут., нижнечетвертичных 0,01÷0,05 м/сут., четвертичного аллювия 0,8÷0,9 м/сут.

Коэффициент вариации параметров ($V=0,4\div 0,7$ для 55 определений) указывает на высокую фильтрационную неоднородность толщи. Водопроницаемость же неогеновых песчаников и известняков меняется от $2\div 7$ до 100 м/сут. из-за их трещиноватой и кавернозной структур [1].

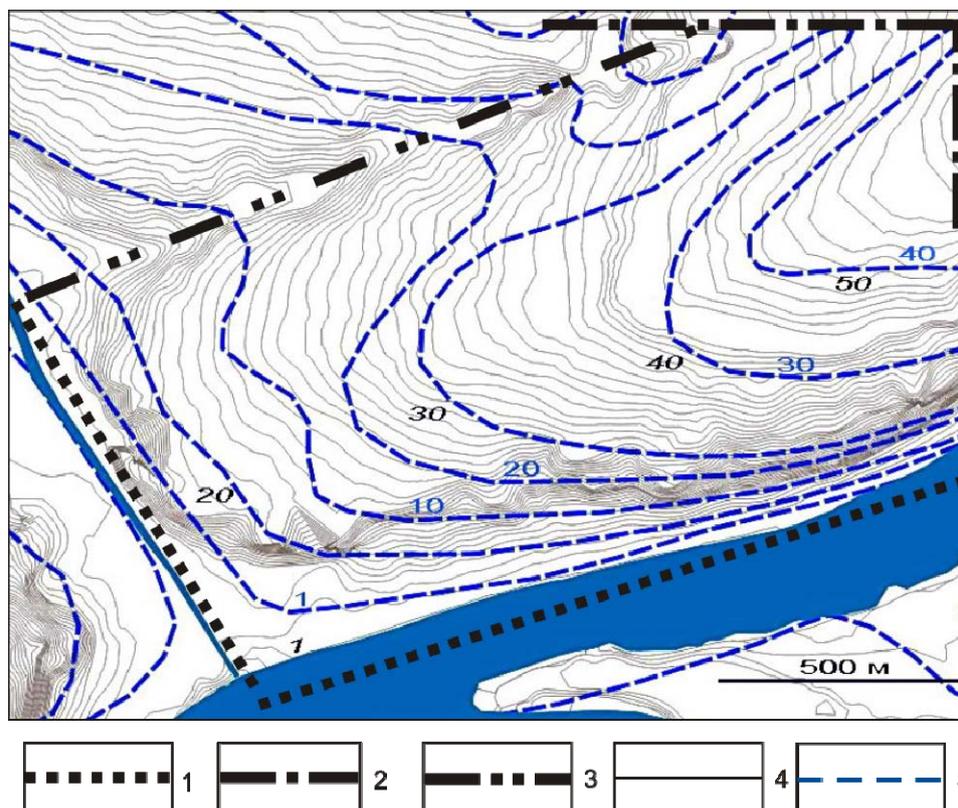


Рис.2. – Концептуальная модель правобережья Дона в приустьевой Части реки Темерник: 1,2,3 – граничные условия I, II и III рода, 4 – горизонталы, 5 – гидроизогипсы (УГВ 2000 г.)

Для уточнения фильтрационной структуры и поиска эффективных инженерных решений для строительства наиболее эффективна численная гидрогеологическая модель. Она описывает гидродинамику в пористой среде посредством дифференциального уравнения второго порядка [5], решение которого реализуется методом конечных разностей по алгоритму программ PMWIN или Visualmudflow [6]. Ранее подобный подход применялся при исследовании динамики УГВ на территории Ростовской области [7,8].

Концептуальная гидрогеологическая модель. Концептуализация является основой разработки численной модели. На данном этапе анализируются и интерпретируются гидрогеологические условия для абстрагирования модели и оценки ее неопределенности [9].

Территория исследования площадью $0,5 \times 0,8 \text{ км}^2$ расположена к востоку от устья реки Темерник на правом берегу Дон. В ее пределах гидростатические напоры меняются от 50 до 1 м. В схеме геофильтрации выделен безнапорный водоносный горизонт аллювиально-делювиальных четвертичных отложений. Его структура сильно отличается от остальной части правобережья города из-за отсутствия неогеновых отложений. Водоупором служат ниже-сарматские глины (N_1s_1). Значения коэффициента фильтрации ($0,6 \div 0,9 \text{ м/сут.}$) оцениваются по опытным откачкам. Изменение УГВ приводит к переменному осушению водоносного горизонта, что учитывается вертикальной дискретизацией толщи с шагом 1-3 м и моделированием эффекта «осушения-увлажнения» ячеек модели [6]. Южная и западная границы модели совпадают с реками Темерник и Дон и на модели имитируются граничными условиями I-рода (рис.2). Водопроницаемость ложа рек ($K_f=0,05 \div 0,2 \text{ м/сут.}$) принята на основании откачек, выполненных в непосредственной близости от русла и подлежат уточнению в ходе моделирования. По распределению гидроизогипс хорошо видно, что балка Генеральная (у северной границы участка) дренирует поток грунтовых вод. Она имитируется граничным условием III-рода с абсолютными отметками уровней тальвега. Коэффициент фильтрации дрены оценивается в интервале $K_f=0,4 \div 0,9 \text{ м/сут.}$ и подлежит уточнению в ходе моделирования. Часть северной границы модели совпадает с водоразделом и принимается водонепроницаемой. Часть восточной границы модели принимается водонепроницаемой, так как перпендикулярна линиям гидроизогипс. Через северо-восточную границу участка к рекам направлен

поток, влияние которого моделируется «наливом» в граничных узлах модели. Его интенсивность зависит от техногенного питания и определяется решением эпигнозных задач. Плановую ортогональную дискретизацию целесообразно выполнить с шагом $40 \div 50$ м со сгущением до $5 \div 10$ м в зонах наибольших гидравлических уклонов. Питание грунтовых вод зависит от интенсивности атмосферных осадков, свойств поверхности земли и потерь из водонесущих коммуникаций. На модели необходимо выполнить анализ чувствительности динамики УГВ к объему инфильтрации в интервале $200 \div 600$ мм/год.

Для снижения неопределенностей в параметрах модели исследуется ее чувствительность к их изменению в описанных диапазонах. Для этого необходимо многовариантное моделирование на основе метода планирования экспериментов [10]. В качестве критерия адекватности модели принято сходство расчетных и фактических значений УГВ по картам гидроизогипс, построенных в 1975, 1988 и 2000 годах.

Численная модель позволит решить ряда задач:

- идентифицировать значения водопроницаемости водоносного горизонта;
- оценить параметры граничных условий и их влияние на водный баланс;
- оценить влияние факторов, провоцирующих подтопление;
- исследовать эффективность проектов по инженерной защите сооружений.

Литература

1. Меркулова К.А. Инженерно-геологические условия г. Ростова-на-Дону. Ростов н/Д: Изд-во РГПУ, 2006. 132 с.
2. Гидрогеология СССР, т. XXVIII, Нижний Дон и Северо-Восточное Предкавказье, М.: Недра, 1970. 224 с.
3. Приваленко В.В. Геохимическая оценка экологической ситуации в г. Ростове-на-Дону. Ростов н/Д: МГП Геоинформ, 1993. 167 с.

- 4.Приваленко В.В., Безуглова О.С. Экологические проблемы Ростова-на-Дону // Научная мысль Кавказа. 2000. №1. С.55-63.
- 5.Гавич И.К. Гидрогеодинамика. М.: Недра, 1988. 347 с.
- 6.ChiangW.-H., KinzelbachW.. 3D-Groundwater Modeling with PMWIN A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution. Berlin: Springer, 2000. 342 p.
- 7.Гридневский А.В. Оценка геологических опасностей и рисков Восточно-Донбасской агломерации // Инженерный вестник Дона, 2013, №3 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1947.
- 8.Гридневский А.В. Комплексная оценка геологических опасностей территорий Ростовской области // Инженерный вестник Дона, 2013, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1946.
9. Australian groundwater modelling guidelines / B. Barnett, L.R.Townley, et al. Waterlines report, National Water Commission, Canberra. 2012. 203 p.
10. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. 280 с.

References

1. Merkulova K.A. Inzhenerno-geologicheskiesloviya g. Rostova-na-Donu [Engineering geologicalconditions of the Rostov-on-Don city].Rostov-na-Donu: Izd-vo RGPU, 2006. 132 p.
 2. Hidrogeologiya USSR, t. XXVIII, Nizhnij Don i Severo-Vostochnoe Predkavkaz'e [Hydrogeology of the USSR, v. XXVIII, Lower Don and North-Eastern Ciscaucasia], М.: Nedra, 1970. 224 p.
 3. Privalenko V.V. Geokhimicheskaya otsenka ehkologicheskoy situatsii v g. Rostove-na-Donu [Geochemical assessment of the environmental situation in the Rostov-on-Don sity]. Rostov n/D: MGP Geoinform, 1993. 167 p.
 4. Privalenko V.V., Bezuglova O.S. Nauchnaya mysl' Kavkaza. 2000. №1. pp.55-63
-



5. Gavich I.K. Hidrogeodinamika [Hydrogeodynamics]. M.: Nedra, 1988. 347 p.
6. Chiang W.-H., Kinzelbach W..3D-Groundwater Modeling with PMWIN A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution. Berlin: Springer, 2000. 342 p.
7. Gridnevskiy A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1947.
8. Gridnevskij A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1946
9. Barnett B., Townley L.R., Post V. et al. Waterlines report, National Water Commission, Canberra. 2012. 203 p.
10. Adler YU.P., Markova E.V., Granovskij YU.V. Planirovanie experimenta pri poiske optimal'nykh uslovij [Planning an experiment when searching for optimal conditions]. M.: Nauka, 1976. 280 p.