

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИМЕНИ П.А.СТОЛЫПИНА

Кафедра - Природообустройства, водопользования и охраны водных ресурсов

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА
на тему: Прогноз уровня грунтовых вод на
территории проектируемого микрорайона
«Заречье» в Кировском административном округе
города Омск

Омск 2020 г.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР
проф., к.т.н.

(подпись, дата)

Кузьмин А.И.

Ответственный исполни-
тель, доцент, к.г.н.

(подпись, дата)

Тусупбеков Ж.А.

Исполнитель,
научный сотрудник

(подпись, дата)

Ткачев П.С.

Исполнитель,
научный сотрудник
доцент, к.г.н

(подпись, дата)

Ряполова Н.Л.

Исполнитель,
научный сотрудник

(подпись, дата)

Надточий В.С.

							лист 2
Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата		

РЕФЕРАТ

Отчет 27 стр., табл. 1, источников 25, прил. 5.

Ключевые слова: мониторинг, подтопление, прогноз уровня грунтовых вод, потери воды из водонесущих коммуникаций, уровень реки, граничные условия

Объектом исследования является изменение грунтовых вод на территории проектируемого микрорайона «Заречье» в Кировском административном округе города Омск

Цель работы – прогноз изменения уровня грунтовых вод на территории проектируемого микрорайона «Заречье» в результате застройки микрорайона жилыми комплексами.

Любое вмешательство человека в устойчивый экологический режим приводит к определенным изменениям элементов баланса территории. Освоение и строительство жилого комплекса микрорайона «Заречье» нарушает естественный водный баланс территории. В процессе работы были исследованы условия изменения уровня грунтовых вод с учетом влияния сезонных колебаний уровня режима р.Иртыш и инфильтрации поверхностных.

В результате исследований получены изопьезы на разный интервал времени, от начала строительства и даны рекомендации по защите территории от подтопления

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата				лист 3

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел	Наименование	Стр.
1	Введение	5
	Проблемы подтопления территории г. Омска	6
2	Природные условия микрорайона «Заречье»	8
3	Исходные данные для прогноза уровня грунтовых вод	10
4	Методика расчёта прогноза уровня грунтовых вод	12
5	Выводы и рекомендации	17
6	Список литературы	19
ПРИЛОЖЕНИЯ		
А	Исходные данные для расчёта прогноза	21
Б	План микрорайона с расчётными узлами для прогноза	24
В	План микрорайона с прогнозом УГВ на 1-й год эксплуатации	25
Г	План микрорайона с прогнозом УГВ на 3-25 годы эксплуатации в период осенне-летней межени	26
Д	План микрорайона с прогнозом УГВ на 3-25 годы эксплуатации в период весенне-летнего паводка	27

							лист
Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата		4

Введение

Жилой микрорайон «Заречье» создается в районе метромоста им. 60-летия Победы на левобережье Иртыша в Кировском административном округе города Омска. Территория отведенная под строительство представляет собой участок поймы р.Иртыш, что определяет сложность ее гидрогеологических условий, требующих прогноза изменения естественного режима грунтовых вод для обоснования мероприятий по инженерной подготовке территории.

Прогноз разработан, согласно заданию на проектирование, утвержденного ООО «Алмазинвест», прогноз уровня грунтовых вод микрорайона с учетом требований нормативных документов:

- Градостроительный кодекс РФ №190-ФЗ пп.4, 4.1;
- СП 11.105-97 пп.4.2, 4.6, 5.13, 6.16, 7.19.

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата				лист 5

1 Проблемы подтопления территории города Омска

Проблема инженерного благоустройства – крупнейшая из проблем города Омска. В результате многолетнего недостаточного внимания этой проблеме территория города оказалась в подтопленном состоянии, что значительно ухудшило состояние городской среды, привело город на грань экологического бедствия. Город несёт крупные потери в экономической и социальной сферах.

Причины такого положения общеизвестны – это нарушение естественного водного баланса территории в результате деятельности человека.

Город Омск размещён на территории, обладающей комплексом факторов, вызывающих подтопление:

1. Плоский, слабо расчленённый рельеф, способствующий задержанию поверхностного стока и его инфильтрации в грунтовые воды.
2. Территория сложена грунтами с низкими фильтрационными свойствами. Здесь широко развиты местные мелколежащие водоупоры, способствующие образованию верховодки.
3. Плотная застройка с широким применением свайных оснований, приводящая к барражному эффекту – задержанию грунтовых вод заглубленными частями зданий и сооружений.
4. Изменение тепло-влажностного режима с ростом плотности застройки и дорожной сети с твёрдым покрытием.
5. Потери воды из инженерных коммуникаций, имеющих крайне неупорядочный характер прокладки и часто повреждаемых при ремонтных и строительных работах.
6. Отсутствие качественной и всеобъемлющей системы отвода поверхностных вод. Существующая ливневая канализация мелкого заложения, часто без уклонов, заилена. Работает лишь около 16 % всех городских ливнестоков. Вода задерживается насыпями дорог и строений.
7. Отставание развития канализации от централизованного водоснабжения. Многие районы города с неблагоустроенным жильём получают воду из колонок, однако водоотведения не имеют, в результате превышения приходной статьи водного баланса уровень грунтовых вод поднялся к поверхности земли и ситуация здесь не может измениться без устройства водопонижения в виде горизонтального дренажа.
8. Предельный износ водонесущих коммуникаций, который обусловлен ускорением коррозии труб в результате подтопления.

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата				лист 6

В последнее время скорость подъёма уровня грунтовых вод (по данным ОАО «ОмскТИСИЗ» и ОАО «Омскгазводпроект») составляет 0,15 - 0,20 м в год.

Подтопление территории города приводит к тяжёлым экологическим и экономическим потерям:

- резкое сокращение зоны аэрации при недостаточном естественном увлажнении (осадки за тёплый период – 320 мм в год) обусловили значительное уменьшение естественных процессов очистки территории, развились процессы загрязнения и вторичного засоления почво-грунтов, поступления загрязняющих веществ в реки Омь и Иртыш. Отсюда ухудшение качества воды в реках Омь и Иртыш, водная эрозия, замедление роста и даже гибель зелёных насаждений (улицы 24-я Северная, Краснознаменная и др.);

- повышение минерализации и агрессивности к бетону и металлу грунтовых вод вызывает разрушение бетонных конструкций, ускоренную коррозию трубопроводов, разрушение изоляции кабелей, увеличиваются в два раза потери тепла из тепловых сетей, 28 % которых находятся в аварийном состоянии по причине коррозии стальных труб, компенсаторов и арматуры из-за подтопления. Сокращается срок службы магистральных теплопроводов до 10 – 12 лет, а срок службы теплоизоляции сокращается до 5 - 6 лет;

- подтопление территории – главная причина разрушения дорожных покрытий, что ведёт к износу подвижного состава, перерасходу горючего и другим неблагоприятным последствиям. Частые ремонты дорожного полотна при этом без водопонижения малоэффективны и ведут к перерасходу средств (долговечность покрытия не соответствует затратам). Примеры: улицы 21-я Амурская, 24-я Северная, Краснознаменная;

- подтопление зданий и сооружений приводит к нарушению технологии, выходу из строя оборудования (АТС-41), разрушению конструкций (школа № 73). Наиболее типичный пример – комплекс зданий больницы скорой помощи на левобережье Иртыша, который был построен без прогноза режима грунтовых вод и, следовательно, без инженерной защиты от подтопления. В результате нарушены технологический режим работы лечебного учреждения из-за затопления подвальных помещений и переходов. И теперь требуется для инженерной защиты комплекса от подтопления в десятки раз больше средств, чем при выполнении этих работ своевременно до начала и во время строительства.

Сезонные колебания уровней определяются не только мощностью зоны аэрации, но и геолого-геоморфологическими особенностями территории. Классификация по видам режима проводится в связи с тем, что на различных участках, в зависимости от геоморфологического положения, меняется доля составляющих питания грунтовых вод. Основной приходной частью в годовом водном балансе грунтовых вод является инфильтрация атмосферных осадков

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата				лист 7

и талых вод в весенний период и в сезон летне-осенних дождей, дополнительным источником могут служить напорные воды с восходящей фильтрацией нижезалегающих водоносных комплексов. Разгружаются грунтовые воды в реки и пониженные части рельефа.

2 Природные условия микрорайона «Заречье»

Проектируемый микрорайон располагается на левобережной части территории Кировского административного района г.Омска, непосредственно в прибрежной (пойменной) зоне р.Иртыш. В настоящее время осваиваемая территория застроена индивидуальными жилыми домами приусадебными участками; по ней проложены инженерные коммуникации – магистральный водопровод и бытовая канализация диаметрами по 800 мм, проходящие с левого берега р.Иртыш на правый, коллектор ливневой канализации Ø-1200 мм, кабель ИРП, проложенный от судоремонтной базы в сторону старого Кировска. Частные жилые дома имеют большую степень физического износа и подлежат поэтапному сносу, а существующие инженерные сети выносу по другим трассам.

Рассматриваемая территория ограничена с северо-востока р.Иртыш, с юго-запада – р.Замарайка; с севера-запада примыкает участок судоремонтной базы, с юга-востока – частная застройка. С юго-запада на северо-восток территорию пересекает метромост.

Застройка микрорайона проектируется жилыми комплексами переменной этажности (10-12 этажей с поворотными секциями 14-18 этажей). На пересечении пешеходных бульваров запроектирована группа жилых домов башенного типа в 24 этажа, объединенных в единый градостроительный комплекс помещениями общественного назначения в трех уровнях в виде галерей, нависающих над пешеходной зоной. Вдоль набережной реки Иртыш застройка формируется модульными жилыми группами переменной этажности, придающая прибрежной части силуэтный характер.

На территории микрорайона планируются необходимые предприятия первичного обслуживания населения, две школы, четыре детских сада. Проект предусматривает равномерное распределение предприятий социальной сферы по очередям строительства, что позволяет обеспечить вводимые комплексы всей необходимой инфраструктурой. Кроме объектов микрорайонного значения на рассматриваемой территории предусматривается строительство зданий и сооружений общегородского значения:

- общественно-досуговый центр, составляющий единую композицию с высотным (30-ти этажным) гостиничным комплексом, призван обеспечить услугами культурного характера, как жителей микрорайона так и других жителей города,

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата				лист 8

- спортивно-оздоровительный комплекс представляет собой сооружение последнего поколения, сориентированное в первую очередь на жителей микрорайона, с возможностью проведения соревнований и мероприятий городского уровня.

В геоморфологическом отношении исследуемый участок приурочен к высокой пойме р.Иртыш. Рельеф участка относительно спокойный, неровный с общим уклоном поверхности к реке, участками изрыт, с небольшими повышениями и понижениями в рельефе. Исследуемый участок имеет протяжённость в длину около 1,3 км, в ширину около 0,8 км. Абсолютные отметки поверхности земли изменяются от 69,52 м до 75,87м.

В геологическом строении исследуемой территории до глубины 27 м принимают участие отложения четвертичного и неогенового возраста. Четвертичные отложения представлены насыпными грунтами: глинистыми, состоящими из суглинков, от твёрдой до тугопластичной консистенции, перемешанных с растительным грунтом, с прослоями песка, с включением обломков кирпича до 5-10%, строительных и бытовых отходов, мощность их изменяется от 0,3 до 2,5 м. Современные аллювиальные отложения представлены полутвёрдыми суглинками, тугопластичными глинами, мягко-текучепластичными суглинками, супесями и песками от мелкозернистых заиленных до крупнозернистых.

Неогеновые отложения представлены озёрно-болотными суглинками и глинами абросимовской свиты нижнего отдела и вскрыты под аллювиальными отложениями высокой поймы р.Иртыш с глубины 8,5...15,9м от поверхности земли. Вся толща отложений абросимовской свиты является относительным водоупором для отложений высокой поймы р. Иртыш.

Подземные воды типа поровых, безнапорных приурочены к четвертичным отложениям. Уровень подземных вод на период изысканий зафиксирован на глубине 1,3...6,0 м от поверхности земли, в абсолютных отметках 68,22...71,76 м. Мощность водоносного горизонта составляет 5,77...12,4 м. Грунтовые воды на естественном рельефе поймы находятся в режиме приречного питания и уровень их зависит от уровня воды в р.Иртыш, в р.Замарайка и от инфильтрации атмосферных осадков. Уровень грунтовых вод в период максимума (май-июнь) следует ожидать на отметках 70,08...71,19 м. Коэффициент фильтрации (Кф) приведён в табл.1 по данным обобщения опытных откачек, выполненных из аналогичных грунтов [30].

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата		лист 9

Таблица 1 Коэффициенты фильтрации грунтов

Номер ИЛЭ	Наименование грунта	Геологиче- ский индекс	Рекомендуемые значения Кф, м/сут.
4,4а	Глина туго-мягкопластичная	аQIV	0,2
5,6	Суглинок мягко-текучепластичный		0,2
7	Супесь пластичная		0,4
8	Песок мелкий		2,1
9	Песок крупный		8,4

Проект застройки предусматривает изменение естественного режима с повышением планировочной отметки поверхности практически на всей территории до 76 м БС. В связи с этим глубина залегания уровня грунтовых вод увеличивается, создавая внешне более благоприятные условия для формирования режима грунтовых вод. Однако, при застройке территории, как показано выше, произойдет глубокая перестройка режимобразующих факторов и изменение гидрогеологических условий, что приводит к формированию техногенного режима грунтовых вод и появлению негативных процессов. Это вызовет необходимость разработки прогноза уровня грунтовых вод для планирования мероприятий по инженерной подготовке территории, которая по классификации относится к неблагоприятным для застройки.

3 Исходные данные для прогноза уровня грунтовых вод

Строительство инженерных сооружений в городе Омске часто осуществляется на грунтах, имеющих весьма неустойчивую структуру. Обводнение этих грунтов приводит к существенному изменению их консистенции, снижению прочности и ухудшению деформационных свойств. После подтопления грунтовыми водами консистенция глинистых пород изменяется от твердой и полутвердой до текучей, уменьшаются сцепление и модуль деформации. Непучинистые и малопучинистые грунты становятся сильнопучинистыми.

Потери воды из водонесущих коммуникаций являются одним из основных факторов повышения уровня грунтовых вод. Потери связаны с систематическими и аварийными утечками из водонесущих коммуникаций (водопроводов, канализационных сетей, теплоцентралей).

Ухудшение поверхностного стока вызывается пересечением его насыпями автомобильных дорог, а также зданиями, расположенными длинными сторонами перпендикулярно его направлению. Подземный сток уменьшается в связи с экранирующим влиянием свайных и глубоких ленточных фундаментов, а также с уплотнением грунтов под зданиями и снижением водопроницаемости уплотненного грунта.

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата				лист 10

Исходные данные подготовлены на основании отчёта «Топогеодезические и инженерно - геологические изыскания» ОАО «ОмскТИСИЗ».

Для прогноза уровня грунтовых вод площадка микрорайона была условно разбита равномерной сеткой с шагом 40 м по осям X и Y (число узлов сетки –544), шаг сетки принят из условия проектной организации территории с учётом разработанного генерального плана застройки микрорайона. По северо-восточной и по юго-западной границам площадки приняты граничные условия 1-го рода по уровням р.Иртыш (67,58...69,63 м), и р.Замарайка (70,50...72,00 м).

Вся территория микрорайона разбита на 9 участков с разными гидрогеологическими параметрами (приложение А):

- удельная водоотдача,
- коэффициенты фильтрации,
- отметки водоупора.

При этом учтено, что формирование баланса грунтовых вод происходит в верхней суглинисто-супесчаной толще, как за счёт инфильтрационного питания $-wt$ (где w – интенсивность поступления воды из зоны аэрации на поверхность капиллярной каймы, *м/сутки*; t – время), так и расходования воды на испарение. Инфильтрационное питание в период с апреля по октябрь, по гидрогеологическим и климатическим данным, составляет около 1/3 части поступающего поверхностного стока. Кроме того, учтено влияние свайных оснований зданий и сооружений. В результате, при определении питания грунтовых вод были приняты следующие приходно-расходные части:

1. естественное питание за счёт атмосферных осадков, в размере 10% от суммы, в год 50% обеспеченности (исходя из анализа наблюденных данных по объектам аналогам),
2. потери из водонесущих коммуникаций, которые составляют в г.Омске по данным ОАО «Омскводоканал» около 18%. В расчёте принято 10% от общего водопотребления микрорайона, учитывая улучшение эксплуатации водонесущих коммуникаций,
3. уменьшение питания грунтовых вод за счёт испарения, которое рассчитывается программой с учётом колебания уровня грунтовых вод. Испаряемость принята по данным метеостанции Омск,
4. уровни воды в р.Иртыш и р.Замарайка принимались для года 50% обеспеченности по сезонам:
 - летне-осенняя межень,
 - зимняя межень,
 - весенне-летний паводок.

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата				лист 11

4 Методика расчёта прогноза уровня грунтовых вод

Прогноз уровня грунтовых вод произведён по пакету программ расчёта задач геофильтрации Института гидродинамики СО РАН [12] (при разработке прогноза использовались консультации автора программы д.ф.-м. наук Кашеварова А.А.).

Программная реализация компьютерной модели геофильтрации выполнена на основе Visual C++ 6.0 в среде Windows. В программах ввода данных (vvod.exe) и расчета (pr_fz1.exe) организован диалоговый режим ввода исходной информации и предусмотрена возможность графической интерпретации результатов расчетов. При численных расчетах конечно-разностным методом использовались неявные консервативные разностные схемы, которые решались методом прогонки.

Данный пакет программ позволяет решать двухмерные задачи плановой (напорной и безнапорной) фильтрации при изменении граничных условий (1-3 рода) во времени и неоднородном распределении гидрогеологических параметров в пространстве. Инфильтрация и испарение с поверхности грунтовых вод могут также меняться во времени и в плане области моделирования. Программа позволяет моделировать фильтрацию в 2-х взаимодействующих водоносных горизонтах. Введенные данные и результаты расчетов записываются в файлы. После изменения данных расчеты могут быть продолжены с использованием начитанных результатов. Это позволяет проводить многовариантные расчеты.

Математическое моделирование широко применяется для расчета изменений гидрогеологических условий в зонах влияния различных водохозяйственных сооружений. Теоретические исследования по прогнозу уровней грунтовых вод и пьезометрических напоров сводятся в рамках гидравлической теории к решению различных задач плановой неустановившейся фильтрации. Определение функции уровней грунтовых вод/напора $H(x, y, t)$ в случае однопластовой схемы сводится к решению следующей задачи

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(M \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(M \frac{\partial H}{\partial y} \right) + f(x, y, t). \quad (1)$$

Для решения этого уравнения задаются начальные

$$H(x, y, 0) = H^0(x, y) \quad (2)$$

и граничные условия, которые могут быть на отдельных участках границы разного рода

$$H(x, y, t) \Big|_{\Gamma_i} = H_{\Gamma_i}(x, y, t) \quad \text{- условие 1-го рода} \quad (3)$$

$$M \frac{\partial H}{\partial n} \Big|_{\Gamma_j} = Q_{\Gamma_j}(x, y, t) \quad \text{- условие 2-го рода} \quad (4)$$

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата				лист 12

$$M \frac{\partial H}{\partial n} \Big|_{\Gamma_k} = \beta(H - H_B) \quad - \text{условие 3-го рода} \quad (5)$$

$$\left(\sum_i \Gamma_i + \sum_j \Gamma_j + \sum_k \Gamma_k = \Gamma \right) \quad - \text{граница области, } n \text{ - внутренняя нормаль к границе}.$$

Здесь $\mu(x, y)$ и $M(x, y, H)$ - соответственно коэффициенты водоотдачи и водопроводимости пласта, $f(x, y, t)$ - интенсивность отбора (инфильтрации) на единицу площади и испарение с поверхности грунтовых вод $f = f_{инф} + f_{исп}$ ($f_{исп} = -e(t) \exp(\gamma(H - H_p))$), $\beta = M_0 / \Delta L$, $\Delta L(x, y, t)$ - фильтрационное сопротивление ложа водоема (водотоков), $H_B(x, y, t)$ - значение уровня в водоеме (водотоке).

В качестве границ области фильтрации могут быть выбраны границы, определяемые урезами воды в реках, озерах, водохранилищах, болотах, линии примыкания водоносных пластов к водоупорным породам, границы с естественными значениями уровней и напоров, остающиеся неизменными под влиянием различных искусственных факторов. На участках границы считаются заданными либо значения напоров (условие 1-го рода (3)), либо расходов (условие 2-го рода (4)), а в случае граничного условия 3-го рода (5) (границы несовершенных водоемов) - значения напора в водоеме $H_B(x, y, t)$ и параметр учитывающий фильтрационное сопротивление.

Решение задачи ищется в области с произвольной конфигурацией внешних и внутренних границ, с учетом неоднородности грунтов в плане $M = M(x, y)$, а в случае безнапорного или напорно-безнапорного пласта коэффициент водопроводимости M является еще и функцией напора H , то есть $M = M(x, y, H)$. При этом уравнение (1) становится нелинейным. Учитывается изменение функции $f(x, y, t)$, как в пространстве, так и во времени.

При двух пластовой схеме фильтрации, для определения напора (H_1) во втором водоносном горизонте используется уравнение напорной фильтрации аналогичное (1). Взаимодействие между водоносными горизонтами учитывается дополнительным слагаемым

в функциях источников $\pm \frac{k_0}{m_0} (H_1 - H)$, знак плюс соответствует верхнему, минус -

нижнему водоносному горизонту. Параметр водообмена $r = \frac{k_0}{m_0}$ равен отношению

коэффициента фильтрации к мощности слабопроницаемого разделяющего слоя.

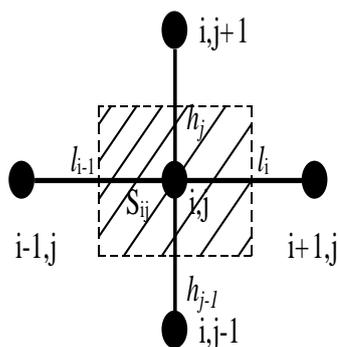
В настоящее время при прогнозировании режима уровней и напоров для реальных объектов со сложными гидрогеологическими условиями широко применяются конечно-

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата		лист 13

разностные методы. Эти методы основаны на замене дифференциальных уравнений и краевых условий аппроксимирующей их системой уравнений в конечных разностях. Значения искомых функций вычисляются при этом на дискретном множестве точек, называемом разностной сеткой. Наибольшее распространение получили так называемые неявные методы, которые являются абсолютно устойчивыми. Исходная область фильтрации в плане покрывается прямоугольной неравномерной сеткой. Вводятся индексы i, j, n и шаги l_i, h_j, τ_n соответственно по осям x, y и времени t . Участки границы аппроксимируются ломаной линией с отрезками, параллельными координатным осям, или диагональными. Каждому узлу области ставится в соответствие площадка S_{ij} , ограниченная кусками прямых, проходящих через середины отрезков, соединяющих данный узел с соседними. Для каждой площадки S_{ij} уравнение (1) аппроксимируется разностным уравнением в балансовой форме.

Рассмотрим внутренний узел области. Для этого узла имеем $S_{ij} = (l_i + l_{i-1})(h_j + h_{j-1})/4$

и уравнению (1) ставится в соответствие два разностных уравнения – по направлениям осей OX и OY.



Вдоль оси OX (по строкам)

$$\mu_{ij} \frac{\hat{H}_{ij}^{k+1/2} - H_{ij}}{\tau_n} S_{ij} = (q_{i+1/2,j} - q_{i-1/2,j}) \frac{h_j + h_{j-1}}{2} + (q_{i,j+1/2} - q_{i,j-1/2}) \frac{l_i + l_{i-1}}{2} + f_{ij}^{n+1} \cdot S_{ij}, \quad (6)$$

где потоки $q_{i\pm 1/2,j}, q_{i,j\pm 1/2}$ определяются на основе

закона Дарси в виде

$$q_{i+1/2,j} = M_{i+1/2,j} \frac{\hat{H}_{i+1,j}^{k+1/2} - H_{ij}^{k+1/2}}{l_i},$$

$$q_{i-1/2,j} = M_{i-1/2,j} \frac{\hat{H}_{ij}^{k+1/2} - \hat{H}_{i-1,j}^{k+1/2}}{l_{i-1}},$$

$$q_{i,j+1/2} = M_{i,j+1/2} \frac{\hat{H}_{i,j+1}^k - \hat{H}_{ij}^{k+1/2}}{h_j}, \quad (6^*)$$

$$q_{i,j-1/2} = M_{i,j-1/2} \frac{\hat{H}_{ij}^{k+1/2} - \hat{H}_{i,j-1}^{k+1/2}}{h_{j-1}}.$$

Вдоль оси OY (по столбцам)

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата		лист 14

$$\mu_{ij} \frac{\hat{H}_{ij}^{k+1/2} - H_{ij}}{\tau_n} S_{ij} = (q_{i,j+1/2} - q_{i,j-1/2}) \frac{l_i + l_{i-1}}{2} + (q_{i+1/2,j} - q_{i-1/2,j}) \frac{h_j + h_{j-1}}{2} + f_{ij}^{n+1} \cdot S_{ij} \quad (7)$$

где потоки $q_{i\pm 1/2,j}, q_{i,j\pm 1/2}$ определяются по формулам

$$\begin{aligned} q_{i+1/2,j} &= M_{i+1/2,j} \frac{\hat{H}_{i+1,j}^{k+1/2} - \hat{H}_{ij}^{k+1}}{l_i}, \\ q_{i-1/2,j} &= M_{i-1/2,j} \frac{\hat{H}_{ij}^{k+1} - \hat{H}_{i-1,j}^{k+1}}{l_{i-1}}, \\ q_{i,j+1/2} &= M_{i,j+1/2} \frac{\hat{H}_{i,j+1}^{k+1} - \hat{H}_{ij}^{k+1}}{h_j}, \\ q_{i,j-1/2} &= M_{i,j-1/2} \frac{\hat{H}_{ij}^{k+1} - \hat{H}_{i,j-1}^{k+1}}{h_{j-1}}. \end{aligned} \quad (7^*)$$

Здесь n - номер шага по времени, $\hat{H}_{ij}^k = H_{ij}^{n+1,k}$, $H_{ij} = H_{ij}^n$ - разностное решение на $(n+1)$ -ом и n -ом временном шаге, k - номер итерации, $k+1/2$ - номер промежуточной итерации.

Значения $M_{i\pm 1/2,j}, M_{i,j\pm 1/2}$ определяются следующим образом:

$$M_{i\pm 1/2,j} = \frac{2M_{ij} \cdot M_{i\pm 1,j}}{M_{ij} + M_{i\pm 1,j}}, \quad M_{i,j\pm 1/2} = \frac{2M_{ij} \cdot M_{i,j\pm 1}}{M_{ij} + M_{i,j\pm 1}} \quad (8)$$

или

$$M_{i\pm 1/2,j} = (M_{i\pm 1,j} + M_{ij})/2, \quad M_{i,j\pm 1/2} = (M_{i,j\pm 1} + M_{ij})/2.$$

Таким образом, при решении уравнения (6) (вдоль строк) значение $\hat{H}_{i,j+1}^k$ берется k -ой итерации, а при решении уравнения (7) (вдоль столбцов) $\hat{H}_{i+1,j}^{k+1/2}$ берется с $(k+1/2)$ -ой итерации. Благодаря этому на каждом из полушагов для решений указанных систем разностных уравнений можно использовать метод прогонки.

Для граничных узлов записываются разностные уравнения аналогичные (6),(7) при условиях 1 – 3 рода в них. При этом потоки через границу либо заданы в случае условия 2 рода (4), либо задаются по уравнению (5) в случае условия 3 рода.

Итерационный процесс на каждом шаге по времени продолжается до выполнения условия

$$\max_{i,j} (\max |H_{i,j}^{n+1,k+1/2} - H_{i,j}^{n+1,k}|, \max |H_{i,j}^{n+1,k+1} - H_{i,j}^{n+1,k+1/2}|) < \varepsilon,$$

где ε - заданная точность.

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата		лист 15

При программной реализации численного алгоритма решения задач геофильтрации был разработан пакет программ, позволяющий осуществлять ввод исходной информации, расчет и обработку результатов. При вводе данных пользователь либо заполняет таблицы параметров, либо на схеме области моделирования вводит графическую информацию о моделируемом объекте. Конфигурация области моделирования и пространственное изменение параметров (матрицы кодировок) задается графически на схеме сеточной области. Введенные данные записываются в файл и могут быть использованы в дальнейшей работе. После трансляции введенных данных и решения задачи, по полученным результатам могут быть построены карты изолиний, или же результаты распечатываются в виде таблиц. После изменения параметров расчеты могут быть продолжены с учетом уже насчитанных результатов. Следует отметить, что подготовительная работа по идентификации внешней и внутренней частей области моделирования, расчет площадей и длин ребер элементарных приграничных многоугольников осуществляются в программе автоматически с использованием графической информации и величин шагов расчетной сетки.

Задачи сопряженного водообмена, как правило, имеют сложную геометрию области моделирования и большое число внутренних граничных точек, в которых учитывается массообмен между различными составляющими водного стока. Это существенно усложняет логику вычислительных алгоритмов и предъявляет дополнительные требования к организации ввода исходной информации.

На основе введенной внешней границы и внутренних граничных точек, формируется двумерная матрица управления расчетом $U(i,j)$ для фильтрационной задачи:

$U(i,j)=0$ - узел (i,j) принадлежит внутренней части области моделирования;

$U(i,j)=-1$ - узел (i,j) не принадлежит области моделирования;

$U(i,j)=N>0$ - узел (i,j) является граничным, причем если $N>N_g$, то это внутренний граничный узел.

Перед началом решения задачи на основе матрицы управления производится вычисление параметров граничных элементарных прямоугольников сеточной области - его площадь, длины ребер и участка границы, принадлежащего ему. Для этого попарно анализируются узлы сетки, соседние с центральным, и, если один из них является внешним ($U(i_1,j_1)=-1$; $i_1=\{i \pm 1, i\}$, $j_1=\{j \pm 1, j\}$), соответствующий треугольник отбрасывается и считается принадлежащим внешней части области.

В процессе решения фильтрационной задачи прогонка осуществляется по всему прямоугольнику $(N_x \times N_y)$, заключающему область моделирования. Во внешних узлах прогоночные коэффициенты не вычисляются и задаются нулевыми значениями. Во внутренних граничных

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата				лист 16

узлах вычисление проводится по алгоритму для внутренних узлов с учетом дополнительного вклада условий, определяющих водообменные процессы. Для внешних граничных узлов баланс в них определяется на основе вычисленных ранее параметров элементарного прямоугольника.

При решении задачи организуется итерационный процесс по нелинейностям уравнения фильтрации и по пространственным координатам. Условием его прекращения является малое отличие значений уровней грунтовых вод на двух соседних итерациях или выполнение числа итераций больше предельного, определяемого пользователем.

В программе предусмотрена возможность задания в виде кусочно-постоянного распределения в плане следующих функций: водопроницаемость (коэффициентов фильтрации) и водоотдачи (M , μ - для нижнего и верхнего слоев), инфильтрационного питания ($F(t)$) и испарения с поверхности грунтовых вод ($E(t)$). Для функций, зависящих от времени, их изменение во времени задается либо как кусочно-постоянное (ступенчатое) - $F(t)$, либо кусочно-линейное - $F_g(t)$ (функции напора и потока в граничных условиях).

Изменение функций по пространственным узлам определяется матрицей кодировки $KM(i,j)$, в которой записаны номера значений функции, соответствующие узлам сеточной области. Например, узлу (i,j) сопоставляется значение пары $(\mu(k), M(k))$ при $k=KM(i,j)$. Другая матрица кодировки $FI(i,j)$ является общей для инфильтрации ($F(t)$) и испарения ($E(t)$). Такой подход при реализации вычислительного алгоритма позволил существенным образом упростить его логику и увеличить скорость решения. Численные расчеты задач фильтрации подземных вод показали высокую эффективность предложенного вычислительного алгоритма. Для каждого временного шага достаточно выполнить 2 - 4 итерации для достижения приемлемой точности расчетов.

5 Вывод и рекомендации

Застройка территории микрорайона с планировочным изменением поверхности земли до отметки 76,00 м и устройством свайных оснований зданий и сооружений вызовет подъем уровня грунтовых вод (приложения В, Г, Д) с колебаниями уровня грунтовых вод по сезонам от осенне-зимней межени до весенне-летнего паводка.

Подъем уровней стабилизируется на 3-й год с момента полной застройки микрорайона согласно генерального плана с положением уровня на большей части территории на глубине от 1 метра (75,00м) до 4,8 метра (71,20 м) в прибрежной полосе р.Иртыш.

Наиболее неблагоприятная обстановка складывается в полосе шириной от 200 до 450 м на территории, проходящей через весь микрорайон вдоль р.Замарайка.

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата		лист 17

На основе результатов прогнозных расчётов по сезонам и годам рекомендуется разработка мероприятий по инженерной защите территории микрорайона «Заречье» от подтопления грунтовыми водами при разработке РД.

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата		лист 18

Список литературы:

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации №190-ФЗ.
2. СП 11.105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства.
3. Рекомендации по инженерно-гидрогеологическому обоснованию защитного дренажа территорий, подтапливаемых подземными водами. ПНИИИС Госстроя СССР, М, Стройиздат, 1985.
4. Рекомендации по выбору исходных данных для модели прогноза процесса подтопления городских территорий. ПНИИИС Госстроя СССР, М, Стройиздат, 1986.
5. Рекомендации по выбору гидрогеологических параметров для обоснования способа дренирования подтопленных городских территорий. ПНИИИС Госстроя СССР, М, Стройиздат, 1986.
6. Природные ресурсы территории г. Омска. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия, месторождения твёрдых полезных ископаемых, термально-минеральных и пресных подземных вод. АООТ «Омскводпроект», 1997 г.
7. Кашеваров А.А. Разработка пакета программ расчёта задач геофильтрации. Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН. Новосибирск, 2003.
8. Прогнозы подтопления и расчёт дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях. Справочное пособие к СНиП 2.06.15-85. М, Стройиздат, 1991.
9. Куранов Н.П., Муфтахов А.Ж., Шевчик А.П., Бывальцев И.М. Последствия подтопления застроенных территорий и способы их дренирования. ВНИТИ Всесоюзный институт научной и технической информации. Итоги науки и техники. Серия. Гидрология, инженерная геология. М, 1991.
10. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажнённость Западно-Сибирской равнины. Гидрометеорологическое издательство. Л., 1969.
11. Гушля А.В., Мезенцев В.С. Вводно-балансовые исследования. Киев. Головное издательство издательского объединения «ВИЦА ШКОЛА», 1982.
12. Бочеввер Ф.М., Гармонов И.В., Лебедев А.В., Шестаков В.М. Основы гидрогеологических расчетов. М.; Недра, 1969.
13. Шестаков В.М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. М.; Изд. МГУ, 1965.
14. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. М.; Наука, 1977.
15. Самарский А.А. Теория разностных схем. М.; Наука, 1977.
16. Андреев В.Б., Кряквина С.А. Сеточные аппроксимации задачи о скважине. // Численные методы решения задач фильтрации многофазной несжимаемой жидкости. Новосибирск; 1975.
17. Развитие исследований по теории фильтрации в СССР. -М.: Наука, 1969, 546 с.
18. Кашеваров А.А., Рыбакова С.Т., Кусковский В.С. Численное моделирование береговых инфильтрационных водозаборов. // Материалы межд. научной конференции: "Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже 3-го тысячелетия", г.Томск, 3-7 сентября 2000 г., с.399-402.
19. Кашеваров А.А. Математическое моделирование процессов солепереноса взаимосвя-

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата		лист 19

занными течениями подземных и поверхностных вод. // ПМТФ, 1998, т.39, №4, с.118-126.

20. Кашеваров А.А., Кусковский В.С., Рыбакова С.Т. Гидроэкология: прогнозирование качества воды инфильтрационных водозаборов (метод математического моделирования). // Инженерная экология, №4, 2001, с.2-14.
21. Жмакин Н.И. Геологическая среда. Почвенно-земельные ресурсы и растительность. Социально-экономические аспекты развития территории. Здоровье населения. Заключение. // Оценка экологического состояния территории и здоровья населения города Омска, Администрация города Омска, 1997.
22. Жмакин Н.И., Карнацевич И.В. Создание цифровых карт водных объектов Омской области. Пояснительная записка. Омск: ОРО "РосГео", 2004.
23. Жмакин Н.И. Отчет по объекту «Мониторинг подземных вод на территории города Омска»: ОАО «Омская ГРЭ», 2006.
24. Жабин В.Ф. Экспериментальные характеристики и некоторые математические модели испарения грунтовых вод. В сборнике «Региональное использование водных ресурсов. Научные исследования и изыскания. Выпуск 11. Вопросы обоснования и решения прогнозных гидрогеологических и водохозяйственных задач. . М.; Наука, 1988. с. 165-169.
25. Протокол СК № 2 от 25.05.05 г. Таблица значений коэффициента фильтрации.

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата				лист 20

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Исходные данные для прогноза
уровня грунтовых вод микрорайона «Заречье» в городе Омске

№ п/п	Обозначение	Наименование	значения								
ПРОГРАММА ВВОДА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ – VVOD											
P - Parametr – параметры задачи											
1	Nx	Число шагов по оси x (допустимые значения 3 – 81)	32								
2	Ny	Число шагов по оси y (допустимые значения 3 – 81)	16								
3	Dx	Шаги по оси x (если Dx<0 – вводится массив)	40								
4	Dy	Шаги по оси y (если Dx<0 – вводится массив)	40								
5	Ksl	Число водоносных горизонтов (допустимые значения 1 – 2)	1								
6	Kvr	Число смен граничных данных во времени (допустимые значения 1 - 4)	4								
7	Per	Период смены граничных данных (>0), <= 0 – граничные условия не периодичны во времени	365								
8	Lin	Задача линейная (=1), нелинейная (= -1 уравнение Буссинеска)	-1								
9	Dt	Шаг во времени, сутки	1.0000								
10	H1o	Начальный уровень водоносных горизонтов (если <0. то вводится массив fz_date.t0 со значениями уровней грунтовых вод в узлах сеточной области – записанных построчно)	68.00								
11	H2o		76.00								
12	H3o		100.00								
R- область моделирования											
№ п/п	Обозначение	Наименование	значения								
1	Nsl	Число водоносных горизонтов	1								
2	Kkm	Число десятков значений водопроводимости (допустимые значения 1 – 4)	1								
3	Kinf	Число десятков значений инфильтрации (допустимые значения 1 – 4)	1								
4	Ksh	Число десятков шагов по пространственным переменным(допустимые значения 1 – 4)	2								
5	Pik	Размер пятна закраски матрицы кодировки (допустимые значения 1 – 5)	1								
6	Set	Выводить/ нет сетку	1								
7	Sdv	Сдвиг номера десятка закраски матрицы кодировки (допустимые значения 1 – 4)	0								
Ввод отрезков сторон области моделирования											
8	Kx1, Kx2	Kx1=1, Kx2=Nx	1								
	Ky1, Ky2	Ky1=1, Ky2=Ny	6								
9	Tg1	Времена смены граничных условий – первый период, сут	123								
10	Tg2	Времена смены граничных условий – второй период, сут	233								
11	Tg3	Времена смены граничных условий – третий период, сут	330								
12	Tinf1	Времена смены инфильтрации – первый период, сут	9999999								
13	Tinf2	Времена смены инфильтрации – второй период, сут	9999999								
15	Region	Регион (вводить граничные точки: да – v, нет – не отметить)	v								
Ввод граничных точек											
k	i	j	Igt (1)	Igt (2)	Igt (3)	Bg	Fg(0)	Fg(1)	Fg(2)	Fg(3)	Pp
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
2	1	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0
14	1	15	1	1	1	0	0	0	0	0	0
											лист
											21
Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата						

15	1	16	1	1	1	0	67.58	67.68	68.33	69.53	0
16	2	16	1	1	1	0	67.58	67.68	68.33	69.53	0
45	31	16	1	1	1	0	67.68	67.78	68.43	69.63	0
46	32	16	1	1	1	0	67.68	67.78	68.43	69.63	0
47	32	15	2	2	2	0	0	0	0	0	0
60	32	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0
61	32	1	1	1	1	0	70.5	70.6	71.1	72.1	0
62	31	1	1	1	1	0	70.5	70.6	71.1	72.1	0
91	2	1	1	1	1	0	70.4	70.5	71.0	72.0	0
94	1	1	1	0	0	0	70.4	70.5	71.0	72.0	0

М – матрица кодировки водопроницаемости

№	m – пористость (удельной водоотдачи)	M/k – водопроницаемость/коэффициент фильтрации	R1-2 – параметр водообмена между 1 и 2 водоносными горизонтами	Hb – отметки водоупора	Hр - отметки поверхности земли (кровли пласта)
0	0.02	0.1		61	76
1	0.032	0.44		60.0	76
2	0.03	0.4		61.0	76
3	0.035	0.56		58.5	76
4	0.037	0.58		58	76
5	0.039	0.65		59.0	76
6	0.034	0.54		61.0	76
7	0.55	1.2		59.5	76
8	0.046	0.9		59.5	76
9					

F – матрица кодировки инфильтрации

№	F(t1) – инфильтрация для 1-го (верхнего) водоносного горизонта Tinf1=100	F(t2) – инфильтрация для 1-го (верхнего) водоносного горизонта Tinf2=250	F(t3) – инфильтрация для 1-го (верхнего) водоносного горизонта Tinf3=360	E(t1) – модуль испарения (испаряемость) Tg1=100	E(t2) – модуль испарения (испаряемость) Tg2=250	E(t3) – модуль испарения (испаряемость) Tg3=360	gam – показатель экспоненты в функции испарения (Fисп= E·exp(gam·(H-Hр))
0	0.00092					0.00017	1
1	0.00098					0.00011	
						0.00011	

Включение внутренних граничных точек в матрицу управления Vп

Tг – трансляция данных

minH – минимальное значение изолинии на графике	maxH – максимальное значение изолинии на графике	Trsh – расчётное время, сут	Trп – промежуточные времена вывода на печать результатов расчётов, сут
68.0	76	9125 (25 лет)	Tr1 = 365 Tr2 = 1825 Tr3 = 9125

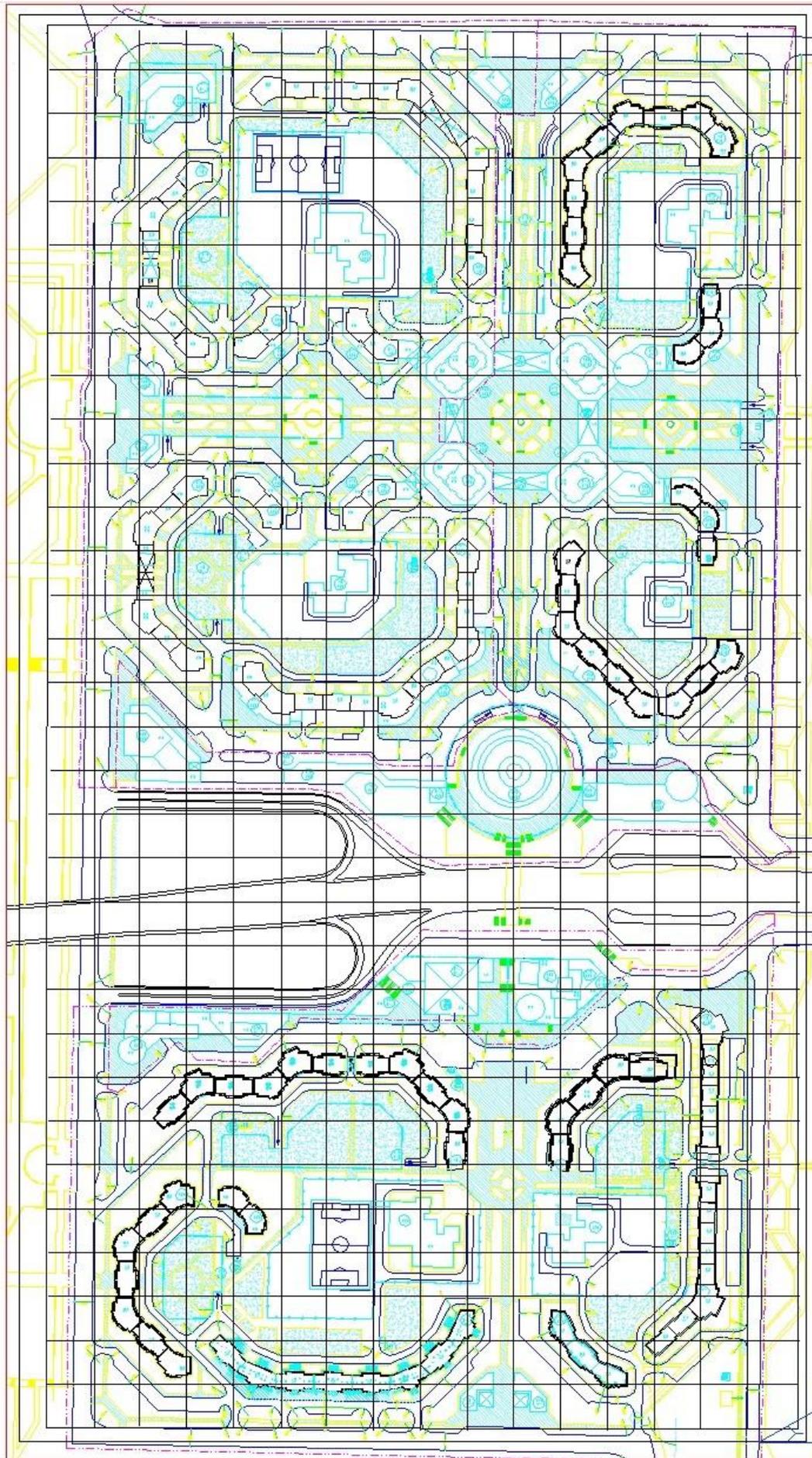
ПРОГРАММА РАСЧЁТА PR-FZI

V	Просмотр исходных данных	
KM(i,j)	Выводится распределение водопроницаемости	v
IJ(i,j)	Вывод граничных точек	v

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата	лист 22
-----	--------	------	-----	---------	------	------------

FI(i,j)	Вывод распределения инфильтрационного питания (КМ – не выводится)	v
Setka	Сетка (неравномерная/равномерная)	v
SI	Номер просматриваемого водоносного горизонта	1
С	Решение задачи	
Prod		0
Itr	Предельное число итераций	100
E0	Точность итерационного процесса: 0.001 – 0.0001	0.001
Reg	Параметр регуляризации: >0 , ≤ 1 "	1
Ipx	Делать итерации по $0X (=1)$, (0-нет)	1
Ipy	Делать итерации по $0Y (=1)$, (0-нет)	1
minH	Минимальное значение изолинии	68
maxH	Максимальное значение изолинии	76
Gr	График 2D	
Nzp	Номер записи результатов, для которой строится график	1
minH	Минимальное значение изолинии, м	68
maxH	Максимальное значение изолинии, м	76
Kiz	Число изолиний	10
Nsl (Nvg)	Номер водоносного горизонта, для которого строится график	1
Sc	Установить/нет цвет изолиний	8
сетка	Выводится разбиение	v
Вид графика	Уровень грунтовых вод - 0	0
	Глубина грунтовых вод - 1	
	Файл:pr.dat-H – 2	
	Файл:pr.dat+H - 3	

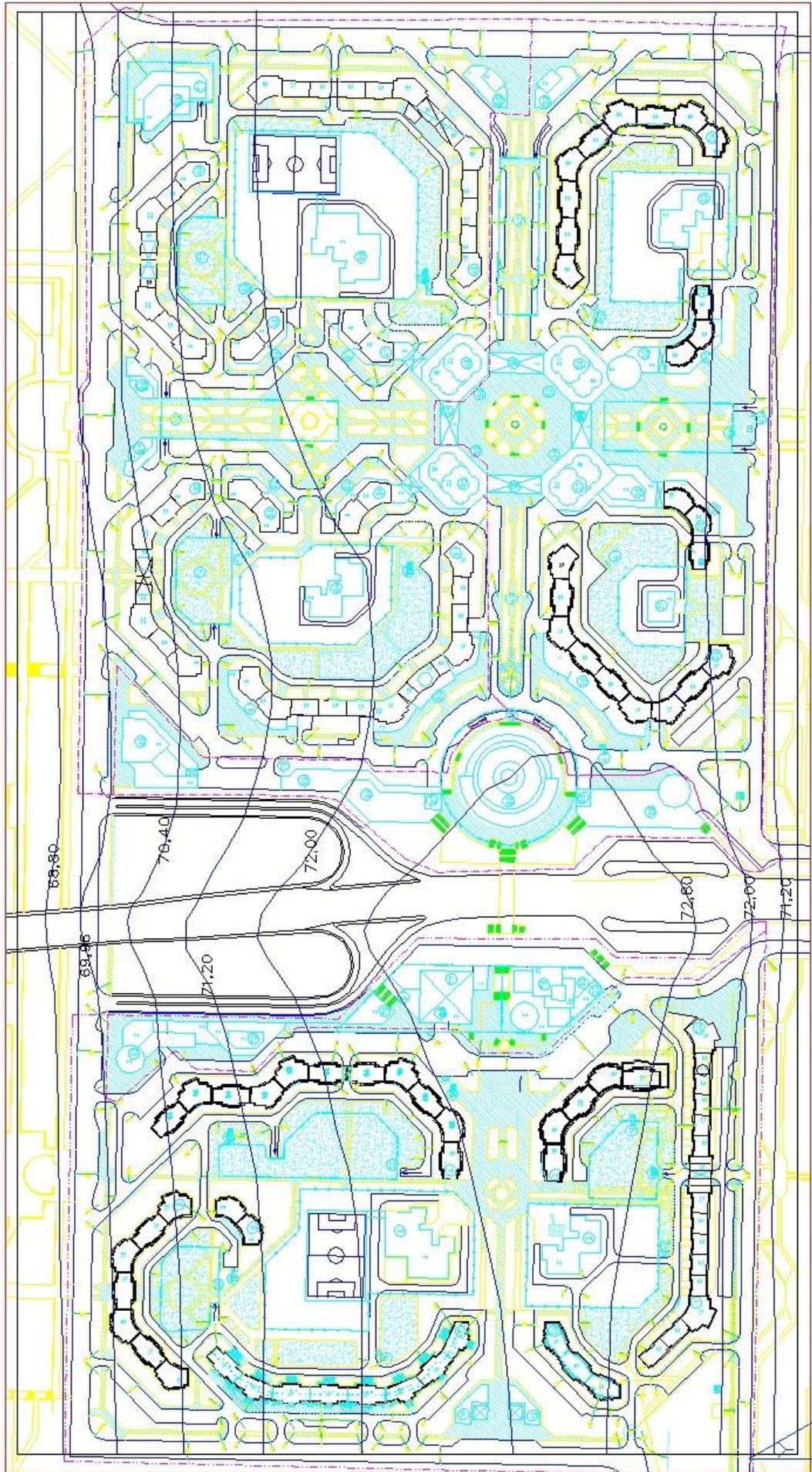
Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата													лист	23



План микрорайона с расчётными узлами для прогноза

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата

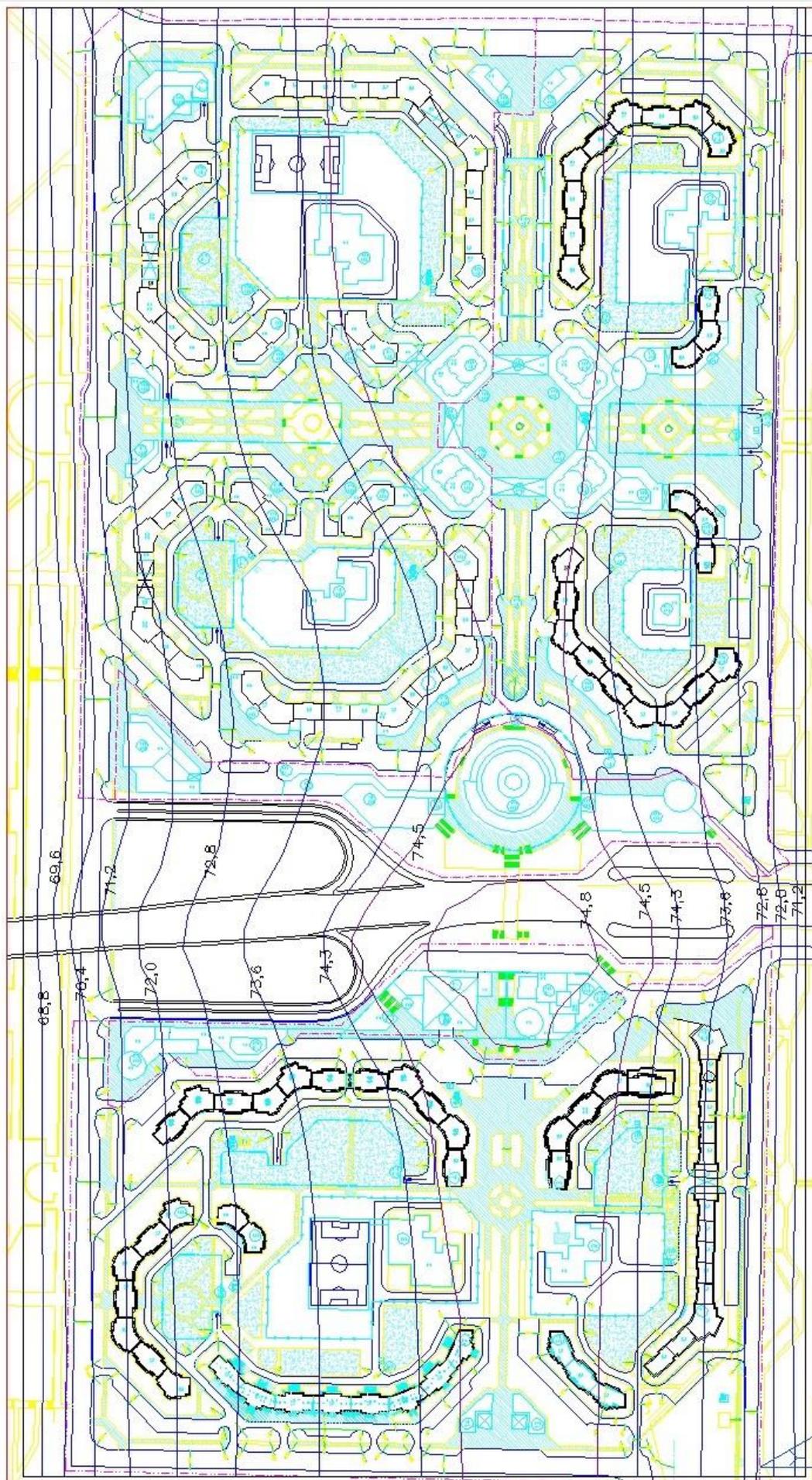
ПРИЛОЖЕНИЕ В



План микрорайона с прогнозом УГВ на 1-й год эксплуатации

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата

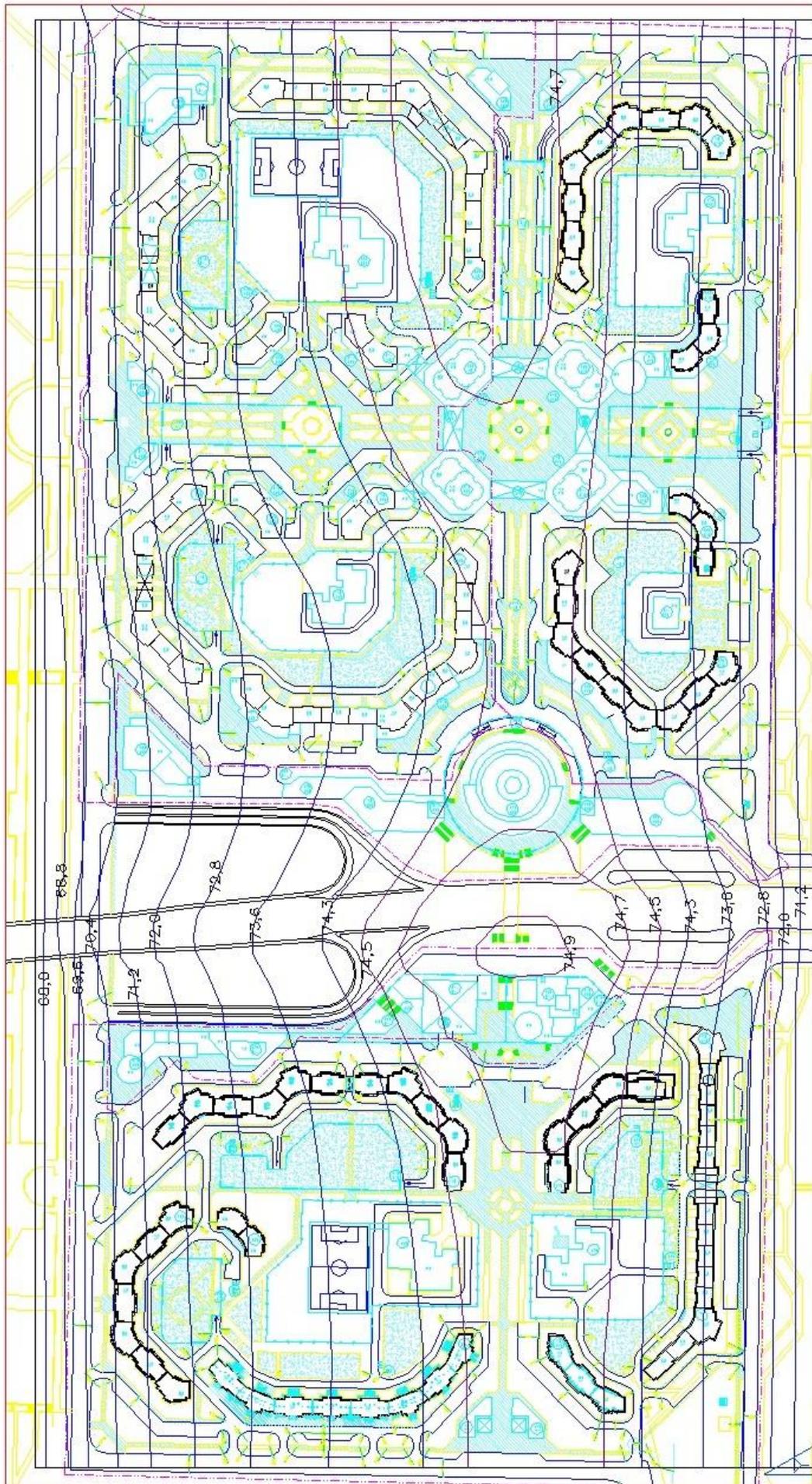
ПРИЛОЖЕНИЕ Г



План микрорайона с прогнозом УТВ на 3-25 годы эксплуатации в период осенне-летней межени

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата

ПРИЛОЖЕНИЕ Д



План микрорайона с прогнозом УГВ на 3-25 годы эксплуатации в период весенне-летнего паводка

Изм	Кол.уч	Лист	№до	Подпись	Дата