

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра геоэкологии и инженерной геологии

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ
ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО
ОСВОЕНИЯ ПОДТАПЛИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Методические указания к самостоятельной работе
для студентов очного и заочного отделений

Направление (бакалавриат): 270100.62 – «Строительство»

Специальности:

270102.65 – «Промышленное и гражданское строительство»

270104.65 – «Гидротехническое строительство»

Нижний Новгород
ННГАСУ
2009 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра геоэкологии и инженерной геологии

МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ
ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО СТРОИТЕЛЬНОГО
ОСВОЕНИЯ ПОДТАПЛИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Методические указания к самостоятельной работе
для студентов очного и заочного отделений

Направление (бакалавриат): 270100.62 – «Строительство»

Специальности:

270102.65 – «Промышленное и гражданское строительство»

270104.65 – «Гидротехническое строительство»

Нижний Новгород
ННГАСУ
2009 г.

УДК 624.131.3

Методология прогнозирования динамики подземных вод для безопасного строительного освоения подтапливаемых территорий. Методические указания к самостоятельной работе для студентов очного и заочного отделений. Направление (бакалавриат): 270100.62 – «Строительство», Специальности: 270102.65 – «Промышленное и гражданское строительство», 270104.65 – «Гидротехническое строительство». – Н.Новгород: Нижегор. гос. архит. – строит. ун-т, 2009. – 33 с.

Дана характеристика основных применяемых в настоящее время методов прогнозирования динамики подземных вод и изложена методика выполнения самостоятельной работы по курсу «Инженерная геология» для студентов очной и заочной форм обучения направления 270100 – «Строительство».

Составители: Е.В. Копосов, И.Н. Гришина, Ю.В. Ронжина

Содержание

Введение	4
1. Методологические основы прогнозирования процессов подтопления	5
1.1 Обоснование и выбор методов прогнозирования процессов подтопления	5
1.2 Прогноз изменения уровней грунтовых вод методом аналогии	5
1.3 Прогноз изменения уровней грунтовых вод гидродинамическим методом	6
1.4 Прогноз изменения уровней грунтовых вод методом математического моделирования	6
1.5 Прогноз изменения уровней грунтовых вод вероятностно-статистическим методом	6
1.6 Балансовый метод прогноза подтопления	7
Заключение	29
Библиографический список	30

Введение

Освоение обширных территорий при крупном гражданском и промышленном строительстве связано с изменением их природной обстановки. В первую очередь, изменения затрагивают инженерно-геологические и гидрогеологические условия.

При проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений на подтапливаемых территориях перед проектировщиками, строителями и эксплуатационными службами встает задача большого народно-хозяйственного значения: определить параметры процесса подтопления, установить существующие источники водопотерь, рассчитать количественно эти водопотери, разработать комплекс защитных мероприятий для зданий и сооружений от подтопления, как в процессе строительства, так и при последующей эксплуатации.

Данные методические указания предназначены для студентов строительных специальностей, инженеров-проектировщиков, строителей.

1. Методологические основы прогнозирования процессов подтопления

1.1 Обоснование и выбор методов прогнозирования процессов подтопления

Прогноз процессов подтопления позволяет в проектах нового строительства своевременно предусмотреть меры, предотвращающие подтопление зданий и сооружений, а для районов уже существующей застройки разработать мероприятия по понижению уровней грунтовых вод.

Подъем уровня грунтовых вод на территориях градостроительства может быть вызван различными причинами, динамичными как во времени, так и в пространстве. Поэтому прогноз подтопления застраиваемых и уже застроенных территорий является весьма непростой задачей, сложность решения которой определяется многообразием факторов, определяющих ход процесса подтопления.

Методы прогноза режима грунтовых вод, разработанные и используемые различными авторами, можно разделить на три группы: методы аналогии, методы гидродинамического и методы, математического моделирования. Выбор метода прогноза определяется особенностями геологического строения и сложностью гидрогеологических условий застраиваемой территории, их изученностью и требуемой точностью решения поставленной задачи [1,13,14,15].

1.2 Прогноз изменения уровней грунтовых вод методом аналогии

Это наиболее широко применяемый метод прогноза подтопления. Опыт показывает, что на застраиваемых территориях трудно учесть заранее потери производственно-хозяйственных вод, а также образование других источников обводнения грунтов. В связи с этим данные об аналогичных явлениях на территориях действующих предприятий и городов могут быть использованы для прогноза изменения гидрогеологических условий вновь осваиваемых территорий. Необходимость применения методов аналогии связана с трудностью непосредственного определения основных расчетных параметров (инфильтрации воды, водопроницаемости пород, недостатка насыщения грунтов), определяющих процесс подъема уровня грунтовых вод [2].

Во всех случаях, в основу методов аналогии ложатся глубокие знания природных условий застраиваемых территорий и изменения их под влиянием инженерно-строительной и хозяйственной деятельности. Применение методов аналогии при прогнозах подтопления основано, прежде всего, на типизации территории не только по природным условиям, но и на типизации условий подтопления.

Метод аналогии не требует массовых определений величин инфильтрационного питания грунтовых вод и других параметров. Наиболее удовлетворительные результаты он дает в том случае, если район, для которого

составляется прогноз, достаточно хорошо изучен в геологическом и гидрогеологическом отношении.

1.3 Прогноз изменения уровней грунтовых вод гидродинамическим методом

Гидродинамический метод прогноза подтопления застраиваемых территорий применим для относительно простых гидрогеологических условий, таких как: небольшая по размеру площадь с однородной средой, строгие геометрические очертания границ водоносного пласта, постоянная величина его питания и т.д. В более сложных случаях приближенное аналитическое решение прогноза достигается на основе схематизации гидрогеологических условий.

Гидрогеологические параметры пласта (мощность, водопроницаемость, недостаток насыщения грунта в зоне аэрации), необходимые для составления прогноза подтопления застраиваемых территорий, устанавливаются при проведении на них гидрогеологических изысканий [3].

1.4 Прогноз изменения уровней грунтовых вод методом математического моделирования

Аналоговое моделирование открывает широкие возможности для научных прогнозов подъема уровня грунтовых вод на застраиваемых территориях. Оно позволяет с достаточной полнотой учесть сложные контуры внешних и внутренних границ водоносного горизонта, неоднородность его фильтрационных свойств и колебания мощности, многообразие условий питания и разгрузки грунтовых вод, включая их изменения во времени. В этом случае появляется возможность обосновать путем решения обратных и инверсных задач правильность выбранной расчетной схемы, обеспечивающей достаточную точность выполнения инженерных расчетов.

Методы моделирования фильтрационных задач, в том числе и составления прогноза, приведены в рекомендациях ПНИИИС по применению современных математических методов к решению гидрогеологических задач при инженерных изысканиях. В них дана методика схематизации природных условий, составления расчетных схем и фрагментирования, расчета и изготовления моделей, описана общая последовательность моделирования [1,5,6].

1.5 Прогноз изменения уровней грунтовых вод вероятностно-статистическим методом

При наличии фактических данных многолетних наблюдений за режимом грунтовых вод застраиваемой территории возможно применение для прогноза изменения их уровней вероятностно-статистического метода. В основу этого

метода положены причинно-следственные связи между уровнями грунтовых вод и режимообразующими факторами.

Для составления прогноза изменения уровня грунтовых вод вероятностно-статистическим методом вначале выявляются основные режимообразующие факторы (атмосферные осадки, потери технологических и хозяйственно-бытовых вод и промышленных стоков, подпор грунтовых вод со стороны водохранилищ, каналов, хвостохранилищ и др.), а затем устанавливается корреляционная связь между прогнозируемым уровнем грунтовых вод и определяющими его факторами. Теоретическая разработка вероятностно-статистического метода, а также примеры его реализации описаны в работе А.А. Коноплянцева и С.М. Семеновы [13,14].

1.6 Балансовый метод прогноза подтопления

Разработка методики прогноза повышения уровня грунтовых вод при расширении площади застройки, а также при повышении интенсивности эксплуатации городских территорий является в настоящее время весьма актуальной проблемой. Прогноз и в дальнейшем разработка защитных мероприятий в этих случаях могут базироваться на решении уравнений баланса подземных вод, с помощью которых может быть определена величина их питания.

Как показывает практика, известными методами установить повышение уровня за счет увеличения приходной статьи довольно трудно, т.к. они основаны на выполнении весьма сложного комплекса специальных гидрогеологических исследований при наличии довольно густой сети скважин [4,5,6].

Величина питания грунтовых вод в условиях подтопления может быть рассчитана и по величине расхода потока. В этом случае можно учесть питание потока не только за счет инфильтрации атмосферных осадков и фильтрации воды из поверхностных водотоков, но и за счет техногенных факторов. Кроме того, здесь же можно учесть дополнительное питание горизонта за счет перетекания воды из смежных водоносных горизонтов.

При отсутствии взаимосвязи техногенного водоносного горизонта с нижележащими водоносными горизонтами и комплексами, при отсутствии водотоков, питание грунтовых вод складывается лишь из подтока со стороны водонесущих коммуникаций и сооружений и инфильтрации атмосферных осадков. Предлагаемая авторами настоящей работы методика базируется на определении величины питания и разгрузки подземных вод. Баланс грунтовых вод на городских территориях определяется соотношением приходной и расходной статей. Его можно рассчитать по формуле:

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2, \quad (1)$$

где

Q_1 – приход грунтовых вод, м³/сут; Q_2 – расход грунтовых вод м³/сут.

Приходную часть баланса грунтовых вод составляет сумма инфильтрации атмосферных осадков (Q_{oc}), потерь воды из сооружений и водонесущих коммуникаций (Q_n), а также разгрузка подземных вод из смежных водоносных горизонтов ($Q_в$):

$$Q_l = Q_{oc} + Q_n + Q_в \quad (2)$$

Расходная часть баланса складывается из оттока грунтовых вод по пласту (Q_{om}), испарения (Q_{uc}) и оттока в смежные водоносные горизонты ($Q_{см}$):

$$Q_l = Q_{om} + Q_{uc} + Q_{см} \quad (3)$$

При отсутствии гидравлической связи грунтовых вод с другими водоносными горизонтами и комплексами $Q_в$ и $Q_{см}$ равны нулю, а при относительно глубоком залегании уровней грунтовых вод их величина также незначительна, и ею можно пренебречь.

Испарением для районов с умеренным и избыточным увлажнением также можно пренебречь ввиду того, что величина испарения по сравнению с производственными утечками мала и на точность расчетов практически не влияет.

Таким образом, при отсутствии перетока со стороны нижележащих водоносных горизонтов и при незначительной роли испарения баланс грунтовых вод на подтапливаемых участках можно определить как разность между инфильтрацией атмосферных осадков, промышленных и хозяйственных вод и оттоком грунтовых вод по пласту, то есть

$$\Delta Q = (Q_{oc} + Q_n) - Q_{om} \quad (4)$$

Основой для определения расхода грунтового потока служат карты гидроизогипс и водопроводимости, составленные на периоды, когда инфильтрация атмосферных осадков практически отсутствует, и на период весеннего снеготаяния, то есть период наиболее интенсивной инфильтрации талых вод.

При расчете питания грунтового потока на период межени считается, что его величина определяется потерями из водонесущих коммуникаций и сооружений. На период же максимальных весенних уровней питание происходит не только за счет техногенных факторов, но и дополнительно за счет инфильтрации атмосферных осадков. При условии постоянства величины водопотерь, основную долю которых составляют потери из основных сооружений, величина инфильтрации атмосферных осадков может быть определена как разность инфильтрации в периоды максимального и минимального уровней грунтовых вод.

Рассмотрим в качестве примера балансовые расчеты, выполненные для конкретной площадки, испытывающей подтопление.

Гидрогеологические условия площадки

В расчетах использовались следующие данные инженерно-геологических изысканий:

1. Топографический план с указанием контура застройки и мест расположения буровых геолого-разведочных скважин (рис. 1).

2. Сведения по буровым геолого-разведочным скважинам (табл.1).

Выполненными изысканиями было установлено, что участок застройки геоморфологически представляет собой поверхность второй надпойменной террасы, с пологим уклоном с северо-запада на юго-восток. Абсолютные отметки поверхности составляют на северо-западе 69,5 м, на юго-востоке - 68,5 м. В геологическом отношении это верхнечетвертичные аллювиальные отложения (aQ_{III}), представленные разно- и среднезернистыми песками, в верхней части разреза с линзами суглинка, в основании слоя - с редкими включениями гальки. Мощность толщи 10,2-12,4 м. Верхнечетвертичные аллювиальные отложения залегают на мергелистых глинах и глинистых мергелях верхнепермского возраста (P_2), вскрытая мощность которых от 0,5 до 1,5 м.

Коэффициент фильтрации аллювиальных песков изменяется от 8,0 до 9,6 м/сут. Глины и мергели верхнепермского возраста водоупорные.

Глубина до воды изменяется от 0,2-0,3 м до 1,3 м - территория является подтапливаемой.

Для установления источников и величин водопотерь в масштабе 1:1000 были построены следующие гидрогеологические карты: 1 – карта гидроизогипс; 2 – карта глубин залегания уровня грунтовых вод; 3 – карт кровли водоупорных пород; 4 – карта мощности водоносного горизонта (Н); 5 – карта водопроницаемости водоносного горизонта (КН).

Таблица 1

№ скв.	Абс. отм. устья, м	Геологический разрез	Абс. отм. залегания, м		Мощность слоя, м (Н)	К, м/сут	Глубина до воды, м Абс.отм. уровня воды, м
			Кровля	Подшова			
1	70,4	аQ _{III} песок р/з с линзами суглинка	70,4	60,2	10,2	8,6	<u>0,6</u>
		Р ₂ глина мергелистая	60,2	61,0	вскр. 0,8	< 0,001	69,8
2	70,0	аQ _{III} песок р/з с линзами суглинка	70,0	59,0	11,0	8,6	<u>1,1</u>
		Р ₂ глина мергелистая	59,0	59,5	вскр. 0,5	< 0,001	68,9
3	69,5	аQ _{III} песок с/з с основания слой с редкой галькой	69,5	57,7	11,8	9,3	<u>1,2</u>
		Р ₂ глина мергелистая	57,7	56,2	вскр. 1,5	< 0,001	68,3
4	69,5	аQ _{III} песок с/з с редкой галькой	69,5	58,2	11,3	9,3	<u>0,8</u>
		Р ₂ глина мергелистая	58,2	58,0	вскр. 0,5	< 0,001	68,7
5	69,0	аQ _{III} песок р/з с редкими прослоями суглинка	69,0	57,0	12,0	8,3	<u>0,3</u>
		Р ₂ глина мергелистая	57,0	56,5	вскр. 0,5	< 0,001	68,7
6	69,0	аQ _{III} песок р/з с включением гальки в основании слоя	69,0	57,2	11,8	9,4	<u>1,0</u>
		Р ₂ глина мергелистая	57,2	56,7	вскр. 0,5	< 0,001	68,0
7	68,5	аQ _{III} песок с/з с включением гальки в основании слоя	68,5	56,1	12,4	9,6	<u>1,3</u>
		Р ₂ мергель глинистый	56,1	55,4	вскр. 0,7	< 0,001	67,2
8	68,4	аQ _{III} песок р/з в верхней части слоя с прослоями суглинка	68,4	56,0	12,4	8,0	<u>0,2</u>
		Р ₂ глина мергелистая	56,0	55,5	вскр. 0,5	< 0,001	68,2
9	68,0	аQ _{III} песок с/з	68,0	56,0	12,0	8,0	<u>1,0</u>
		Р ₂ мергель глинистый	56,0	55,5	вскр. 0,5	< 0,001	67,0

Карта гидроизогипс

Для построения карты гидроизогипс (линий, соединяющих точки с одинаковыми отметками уровней грунтовых вод) были использованы топографический план (рис.1) и данные таблицы 1.

Карта (рис.2) была составлена на период независимого режима (зимней межени), когда отсутствует инфильтрация атмосферных осадков, то есть естественное питание, и изменение расхода грунтового потока может произойти лишь за счет искусственных причин.

Карта глубин залегания уровней грунтовых вод

Основой для построения карты глубин залегания уровней грунтовых вод являются карта гидроизогипс и топографическая карта. Эта карта, как и карта гидроизогипс, построена методом линейной интерполяции. Базовые точки интерполяции - буровые скважины, где имеются данные о глубине до воды, а также дополнительные точки, получаемые графическим методом при пересечении гидроизогипс и изолиний рельефа. Разность отметок гидроизогипсы и горизонтали поверхности земли в точке их пересечения равна глубине до воды в рассматриваемой точке.

В результате интерполяции значений глубины до воды в буровых скважинах и в дополнительных точках, была получена сетка значений этих величин на всей площади застройки. Соединение точек с одинаковыми значениями плавными кривыми линиями позволило получить карту изолиний равных глубин до воды (рис.3).

На карте глубин залегания уровней грунтовых вод явно выделяются участки, на которых происходит интенсивное подтопление фундаментов и подвалов зданий, а также заболачивание участков из-за высачивания подземных вод на поверхность.

Имея карту глубин залегания уровней грунтовых вод, составленную на период зимней межени, когда отсутствует питание, и, зная годовую амплитуду колебания уровней, можно дать прогноз положения зеркала грунтовых вод в экстремальный период – во время весеннего снеготаяния.

Имеющимися многолетними режимными наблюдениями установлено, что величина весеннего подъема уровней в условиях литологически однородного, хорошо водопроницаемого водоносного горизонта зависит от глубины залегания воды в период межени (от мощности зоны аэрации).

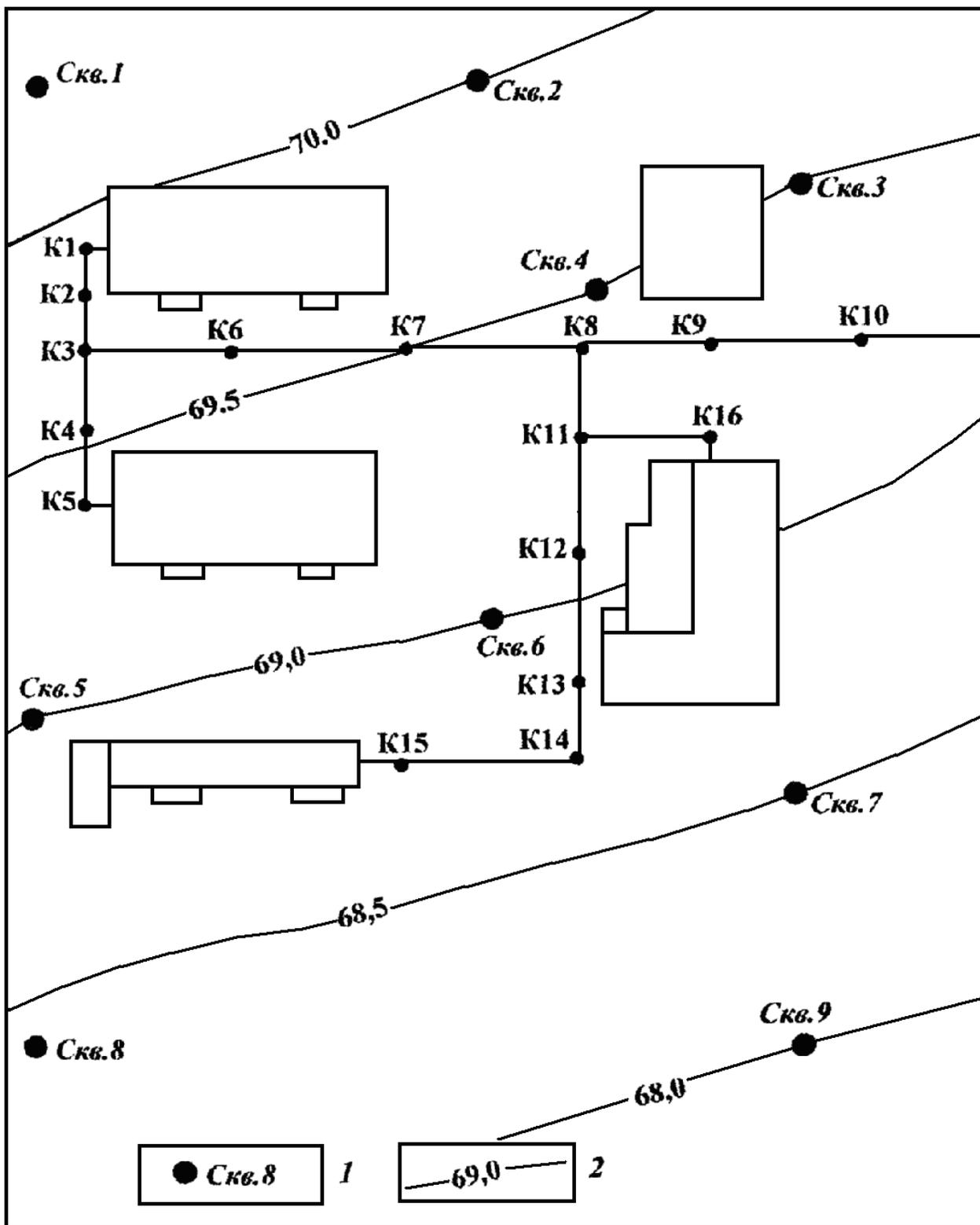


Рисунок 1 – Схема расположения скважин.
Масштаб 1:1000

1 – буровая скважина и ее номер; 2 – горизонталь поверхности земли

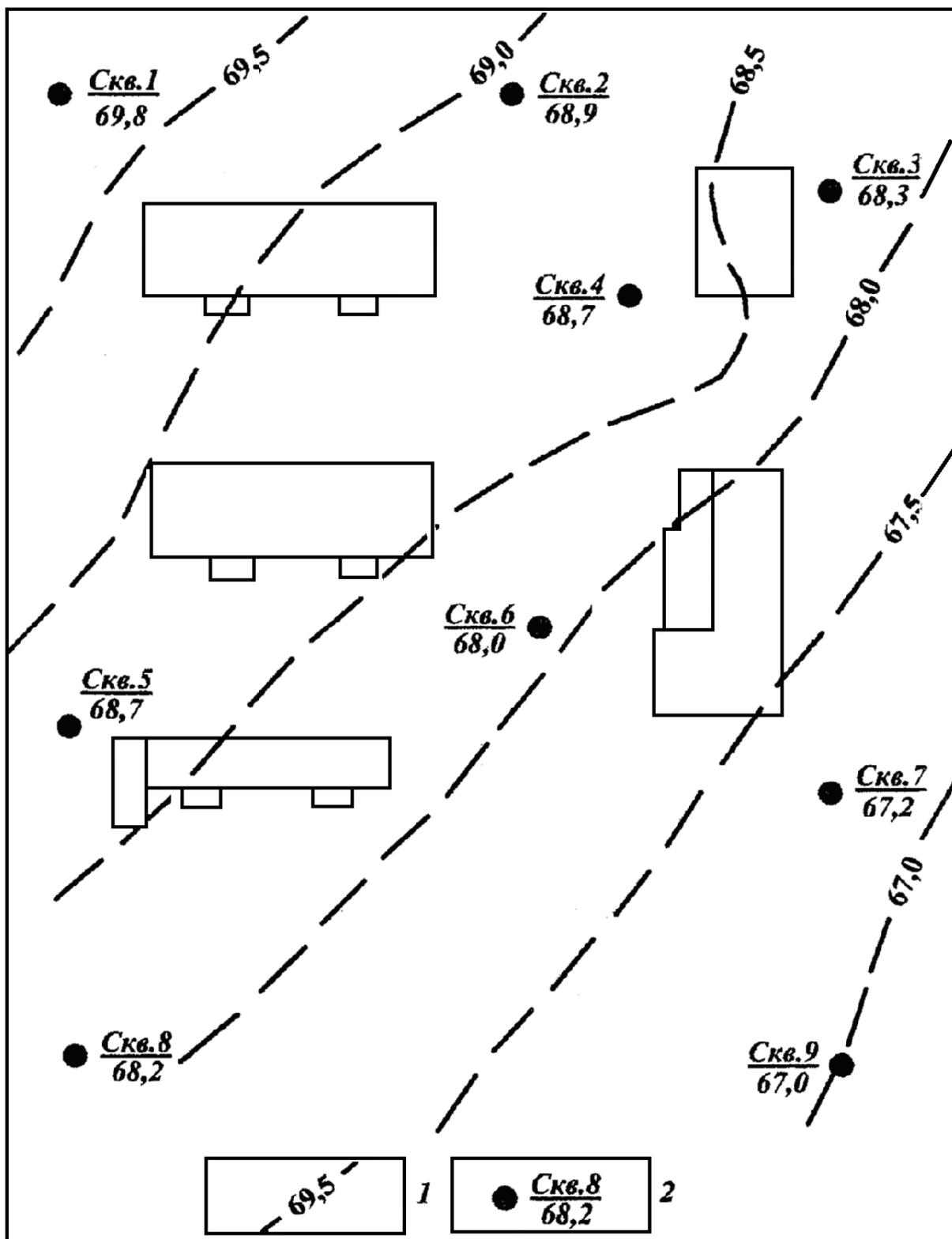


Рисунок 2 – Карта гидроизогипс.
Масштаб 1:1000

1 – гидроизогипса; 2 - буровая скважина и ее номер,
в знаменателе – абсолютная отметка уровня грунтовых вод, м

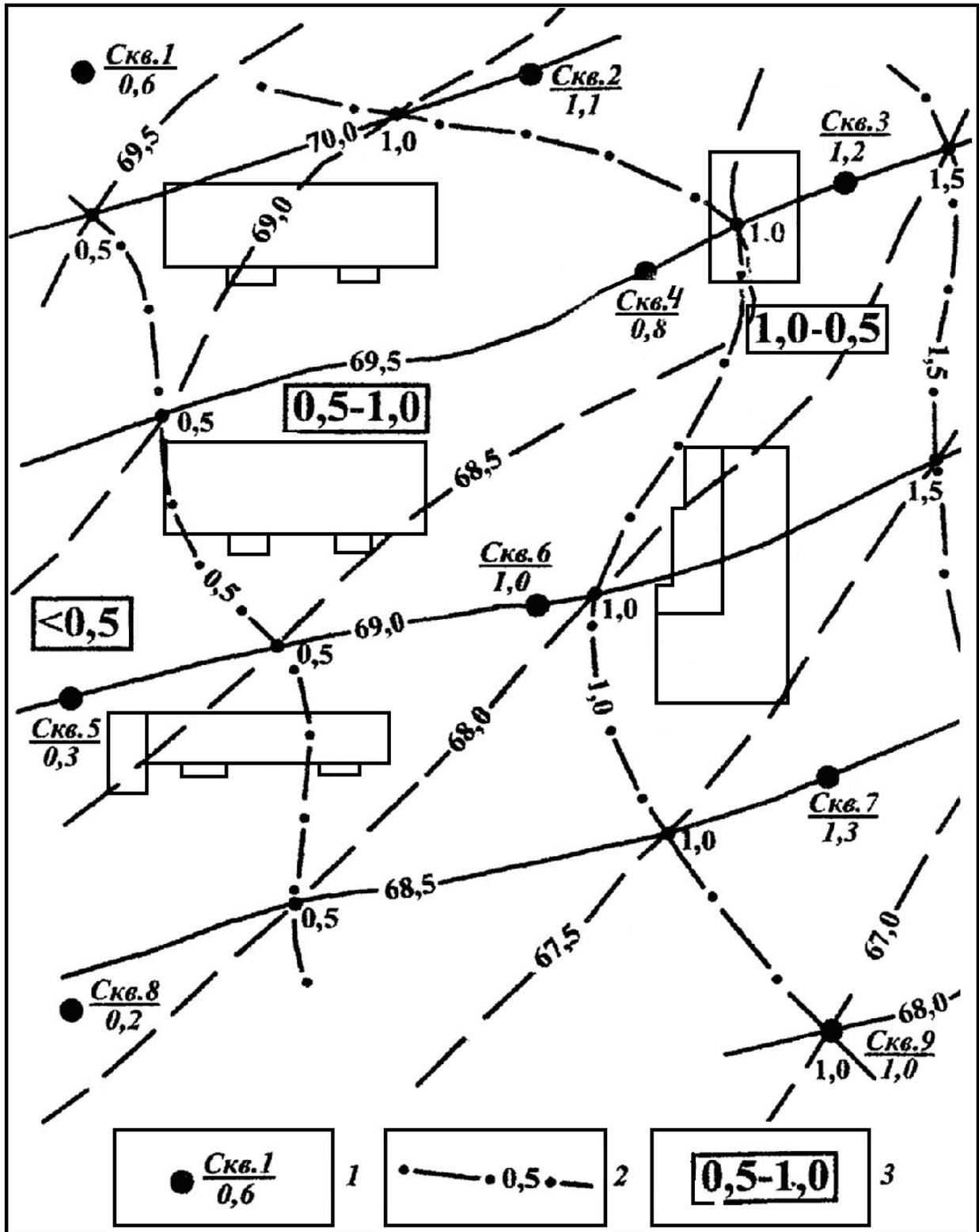


Рисунок 3 – Карта глубин залегания уровней грунтовых вод.
Масштаб 1:1000

1 – буровая скважина: в числителе – номер скважины, в знаменателе – глубина до воды, м;
2 – изолинии глубин до воды, м; 3 – глубина до воды на участке, м

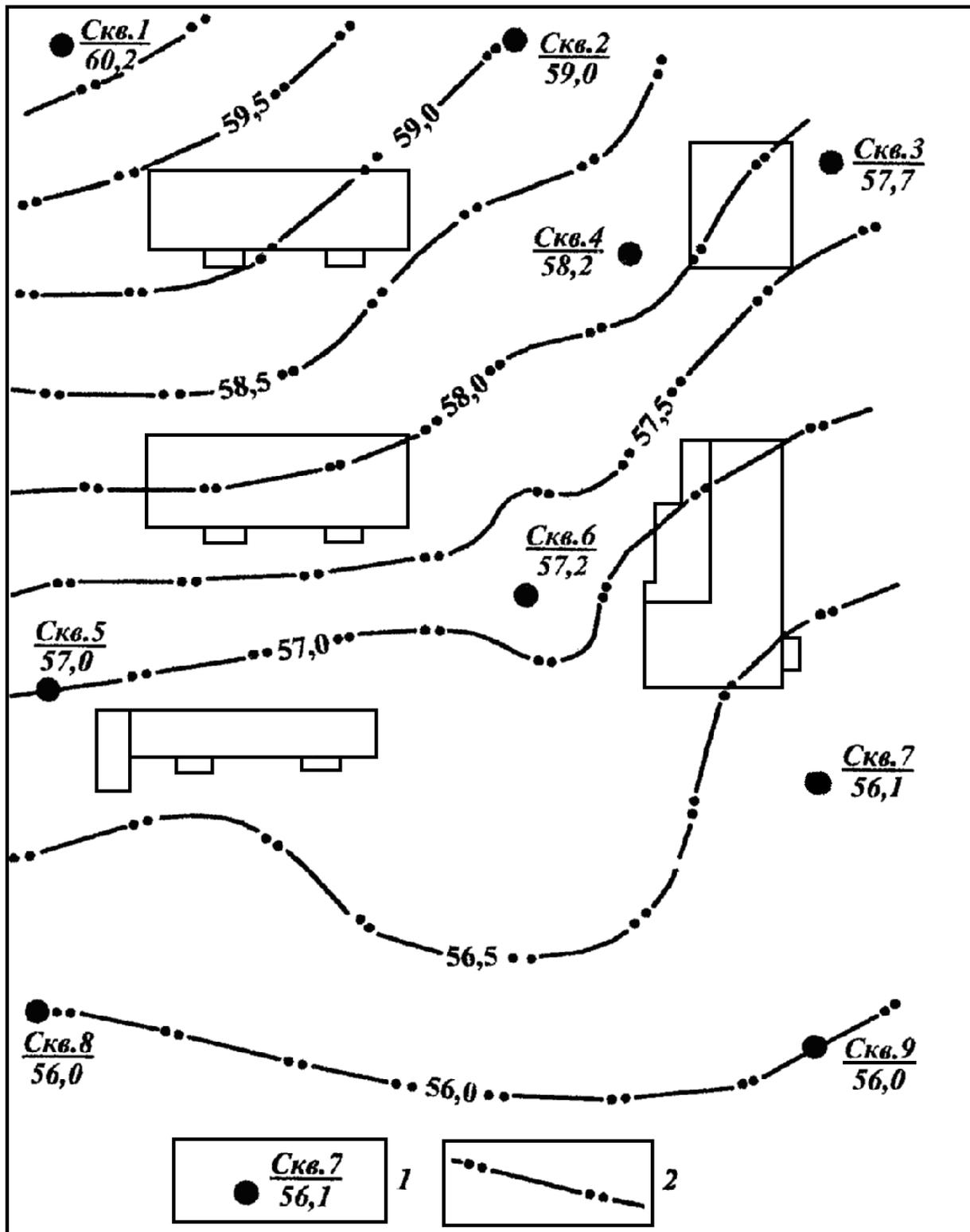


Рисунок 4 – Карта кровли водоупорных пород.
Масштаб 1:1000

1 – буровая скважина: в числителе – номер скважины, в знаменателе – абсолютная отметка кровли водоупорных пород, м; 2 – горизонтали поверхности водоупорных пород, м

Таблица 2 Зависимость амплитуды колебания уровней грунтовых вод от глубины их залегания

Глубина до воды, м (межень)	Годовая амплитуда колебания уровня грунтовых вод, м
0,5	Весной уровень грунтовых вод достигает поверхности земли. Грунтовый сток переходит в поверхностный.
До 4	0,8 – 1,5
4 – 20	0,5
До 23 – 26	Сезонные колебания уровней слабо выражены

Анализ карт глубин залегания уровня грунтовых вод (рис. 3) позволяет установить следующее:

1. Уровень грунтовых вод на всей площадке располагается достаточно высоко. Наименьшие глубины до 1,5 м наблюдаются в восточной части площадки, наименьшие – до 0,5 м – в западной. Таким образом, и на период зимней межени вся территория площадки оказывается подтопленной.

2. В период весеннего снеготаяния часть территории, оконтуренная изолинией глубин 0,5 м, будет затоплена, так как грунтовый поток перейдет в поверхностный. Это явление, в соответствии с особенностями режима, будет наблюдаться вплоть до начала весеннего спада уровней грунтовых вод (обычно до первой декады июня).

Карта кровли водоупорных пород

Карта кровли водоупорных пород построена по той же методике, как и предыдущие. Базовыми точками интерполяции являются буровые скважины, с данными об абсолютных отметках кровли водоупорного слоя. Плавные кривые линии, соединяющие равные отметки, являются горизонталями поверхности водоупорных пород.

Пример построения карты кровли водоупорных пород приведен на рис. 4. Абсолютные отметки кровли водоупорных пород (глины и мергели верхнепермского возраста) плавно снижаются с северо-запада на юго-восток с отметки 60,2 м до отметки 56,0 м. Поверхность водоупорных отложений ровная, уклон составляет:

$$i = \frac{60,2 - 56,0}{20,4} = \frac{4,2}{20,4} = 0,2$$

Общее направление уклона поверхности водоупора соответствует характеру рельефа поверхности земли.

Карта мощности водоносного горизонта (Н)

В соответствии с данными инженерно-геологических изысканий, основной водоносный горизонт грунтовых вод, вызывающий подтопление площадки, заключен в верхнечетвертичных аллювиальных песках (аQ_{III}).

Карта мощности водоносного горизонта построена в результате совмещения карты гидроизогипс и карты кровли водоупорных отложений.

Известно, что уровни грунтовых вод в течение года испытывают сезонные колебания. Поэтому при составлении карты необходимо четко определить дату, на которую она составляется. Так как основной задачей исследования является выявление искусственного источника водопотерь, целесообразно составить карту на период независимого режима, т.е. на период зимней межени, когда исключено влияние атмосферных осадков.

Ту часть питания водоносного горизонта, которая формируется за счет атмосферных осадков и притока грунтовых вод со стороны водораздела, можно рассчитать для смежного с подтапливаемым участка, где заведомо отсутствуют техногенное влияние на водоносный горизонт, но гидрогеологические условия сходные.

Построение карты для участка, не испытывающего подтопление, выполняются на период весеннего снеготаяния, когда происходит усиленная инфильтрация атмосферной влаги, и водоносный горизонт грунтовых вод получает большую часть годового питания.

При построении карты мощности водоносного горизонта (рис.5) базовые точки получают графическим методом в местах пересечения гидроизогипс и горизонталей рельефа поверхности водоупора (разность отметок равна мощности водоносного горизонта). Значение мощности водоносного горизонта в базовых точках, а также в местах расположения буровых скважин, интерполируется. Через точки с одинаковыми значениями мощности проводятся изолинии. Изолинии оконтуривают участки с граничными значениями, разность между которыми в данном случае равна 0,5 м. Необходимые для гидрогеологических расчетов средние мощности водоносного горизонта (H_{cp}) не выделяемых участках, определяются как полусумма значений, соответствующих граничным изолиниям.

Например, для участка, ограниченного изолиниями 11,0 и 10,5 м средняя мощность водоносного горизонта равна

$$H_{cp} = \frac{11,0 + 10,5}{2} = 10,75 \text{ м}$$

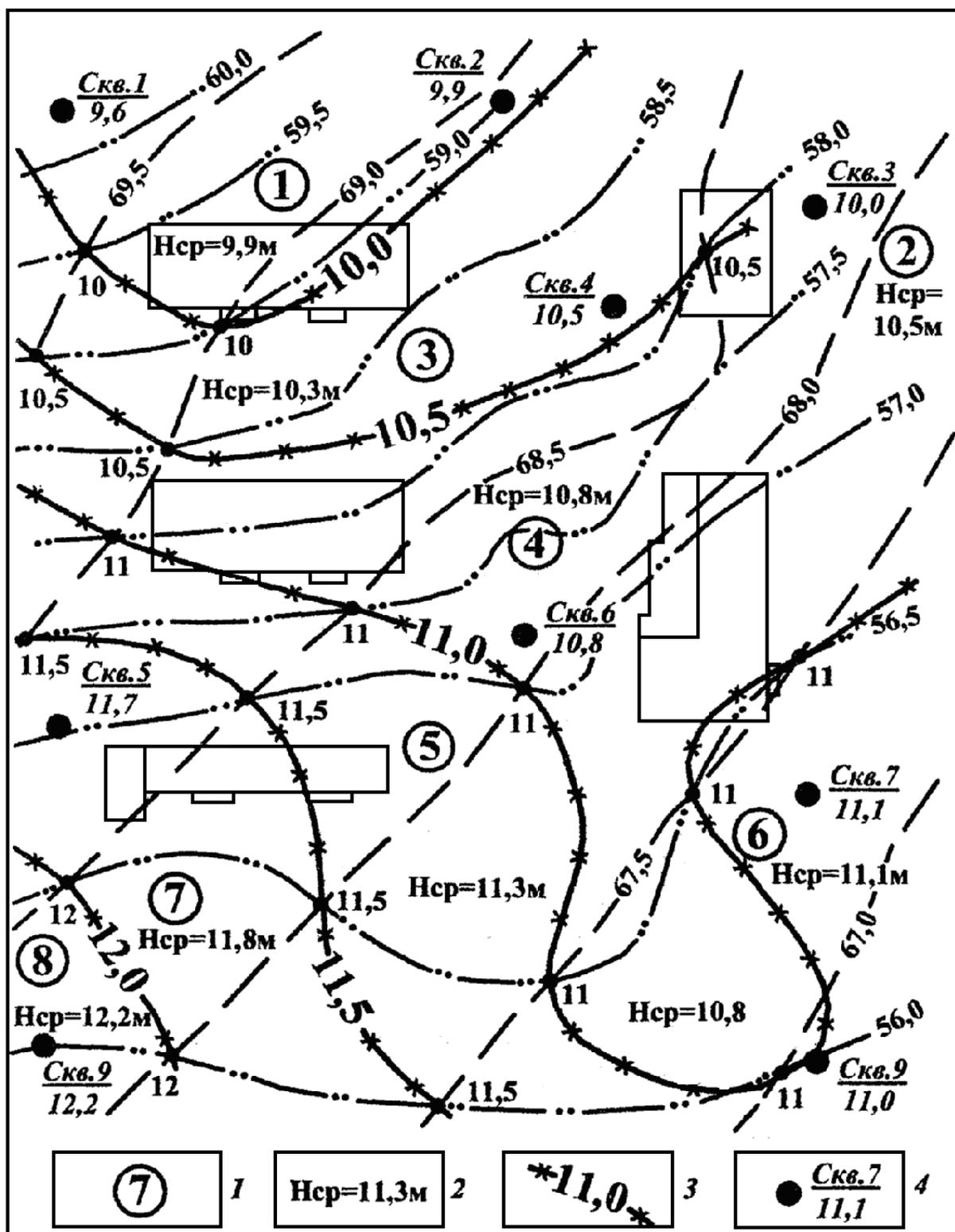


Рисунок 5 – Карта мощности водоносного горизонта.

Масштаб 1:1000

1 – номер района; 2 – средняя мощность водоносного горизонта, м; 3 – изолинии мощности водоносного горизонта; 4 – буровая скважина: в числителе – номер скважины, в знаменателе – мощность водоносного горизонта, м

Карта водопроницаемости водоносного горизонта (КН)

Проанализировав данные инженерно-геологических изысканий (табл.1), можно прийти к выводу, что в фильтрационном отношении водоносная толща рассматриваемого участка достаточно однородна. Коэффициент фильтрации пород (K , м/сут) изменяется незначительно от 8,0 до 9,6 м/сут. Это позволяет упростить задачу построения карты водопроницаемости, приняв среднее значение коэффициента фильтрации для всей толщи равным

$$K_{cp} = \frac{8,6 + 8,6 + 9,3 + 9,3 + 8,3 + 9,4 + 9,6 + 8,0 + 8,0}{9} = 8,8 \text{ м/сут}$$

Расчетами определено значение КН для каждого выделено района (табл.2).

Таблица 2

№ района	КН, м ² /сут.	№ района	КН, м ² /сут.
1	87,1	5	99,4
2	92,4	6	97,7
3	90,6	7	103,8
4	95,0	8	107,4

Т.к. для всего участка принято одинаковое значение коэффициента фильтрации, границы районов с различными значениями КН совпадают с границами районов, выделенных по величине мощности водоносного горизонта (рис.7). На рис. 6 представлена карта КН, являющаяся основой для балансовых расчетов.

Балансовые расчеты величины водопотерь на подтапливаемых площадках

Методика балансовых расчетов основана на достаточно несложных вычислениях. Разность расходов подземного стока на контурах питания и разгрузки (на границах участка) равна суммарной величине питания (разгрузки) в пределах рассматриваемого участка.

Источники питания (разгрузки) могут быть определены на основании анализа природной и техногенной обстановки. Величина питания (расхода) водоносного горизонта может быть определена по изменению расхода подземного стока при условии однородности геологического строения.

Известно, что расход грунтового потока в однородном пласте в условиях установившегося движения подземных вод определяется по формуле:

$$Q = K \cdot H_{cp} \cdot B \cdot J, \quad (5)$$

где

Q – расход грунтового потока, м³/сут;

K – коэффициент фильтрации, м/сут;

H_{cp} – средняя мощность водоносного горизонта, м;
 B – ширина потока, м
 J – уклон потока.

Основой для определения расхода грунтового потока в условиях подтопления является карта водопроницаемости КН, составленная на период независимого режима с тем, чтобы исключить влияние атмосферных осадков.

При сложных гидрогеологических условиях (резко изменяющиеся значения КН, B , J) фильтрационное поле водоносного горизонта разбивается на систему относительно однородных по гидродинамическим условиям блоков и подблоков.

Характерные линии токов служат боковыми границами блоков и подблоков, а верхней и нижней границами являются гидроизогипсы.

Для каждого блока и подблока верхняя гидроизогипса является контуром питания, нижняя – контуром разгрузки. Блоки нумеруются.

При постоянном расходе в i – ом блоке

$$Q_{pi} = Q_{ni}, \quad (6)$$

где

Q_{pi} – расход потока через контур разгрузки i – того блока;

Q_{ni} – расход потока через контур питания этого же блока.

При наличии в этом блоке питания (разгрузки)

$$Q_{pi} > Q_{ni}, \text{ т.е. } Q_{ni} = Q_{pi} - \Delta Q, \quad (7)$$

где

ΔQ - изменение расхода потока за счет дополнительного питания ($-\Delta Q_i$), либо за счет разгрузки ($+\Delta Q_i$):

$$\Delta Q_i = W_i \cdot F_i, \quad (8)$$

где

W_i – модуль балансового питания (разгрузки),

F_i – площадь блока.

$$W_i = \frac{\Delta Q_i}{F_i}, \quad (9)$$

По данным расчетов W_i строится карта балансового питания, на которой четко оконтуривается источник водопотерь.

Проиллюстрируем методику балансовых расчетов на конкретном примере – строительной площадке, находящейся в условиях интенсивного подтопления.

Вначале на основе карты гидроизогипс (рис.2) и карты водопроницаемости (рис.6) выполняется специальное гидрогеологическое районирование площадки. Для этого проводится линии токов (рис.7), в результате чего выделяется 16 блоков. При рассмотрении значений КН в каждом блоке установлено, что они достаточно близки по величине, что в первую очередь дает возможность рассчитать среднее значение К Нср по блоку. Это позволяет значительно упростить и ускорить расчеты.

Ниже приведены расчеты, выполненные для выделенных блоков.

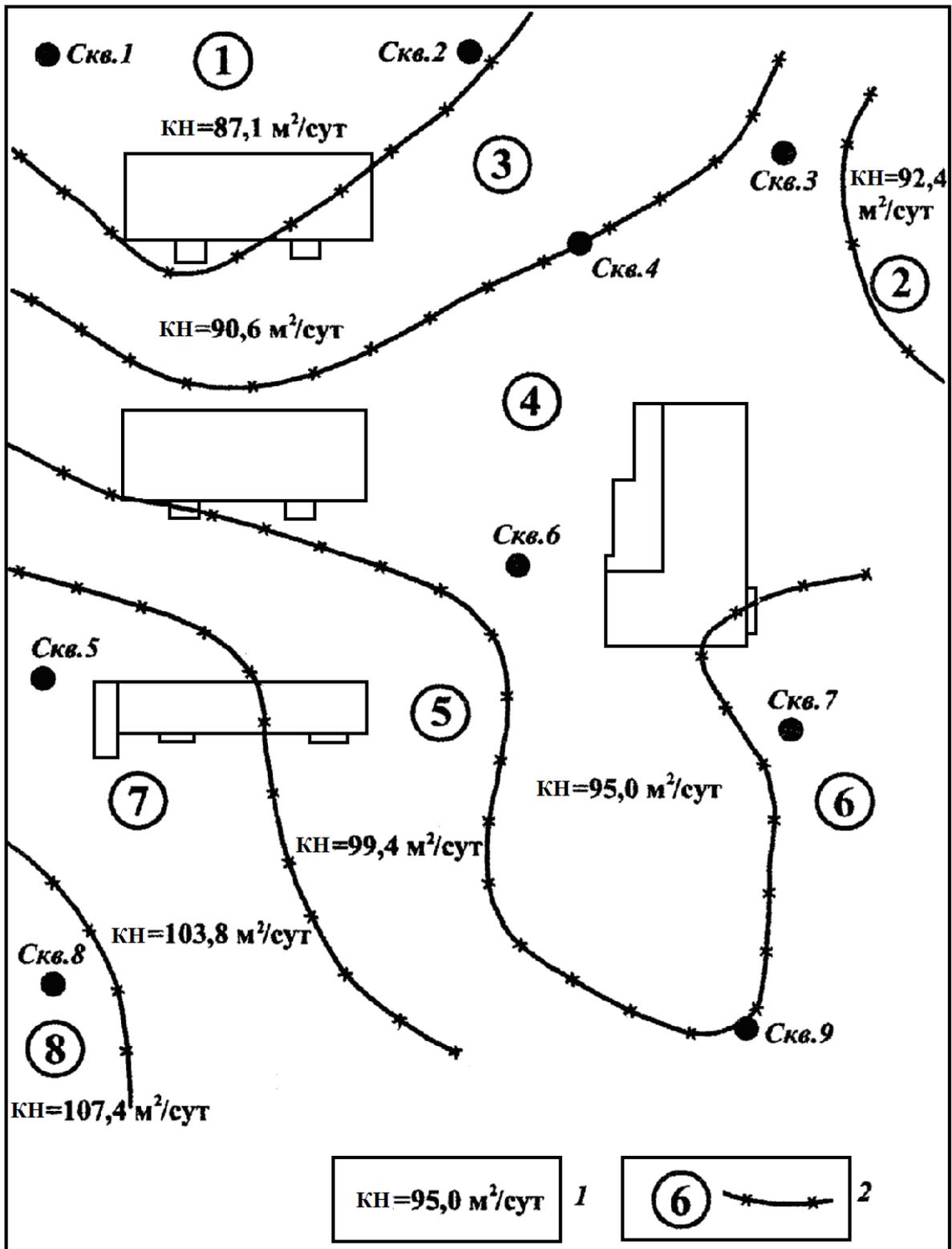


Рисунок 6 – Карта гидрогеологического районирования.
Масштаб 1:1000

- 1 – среднее значение водопроницаемости (KH) в районе;
- 2 – номер и граница гидрогеологического района

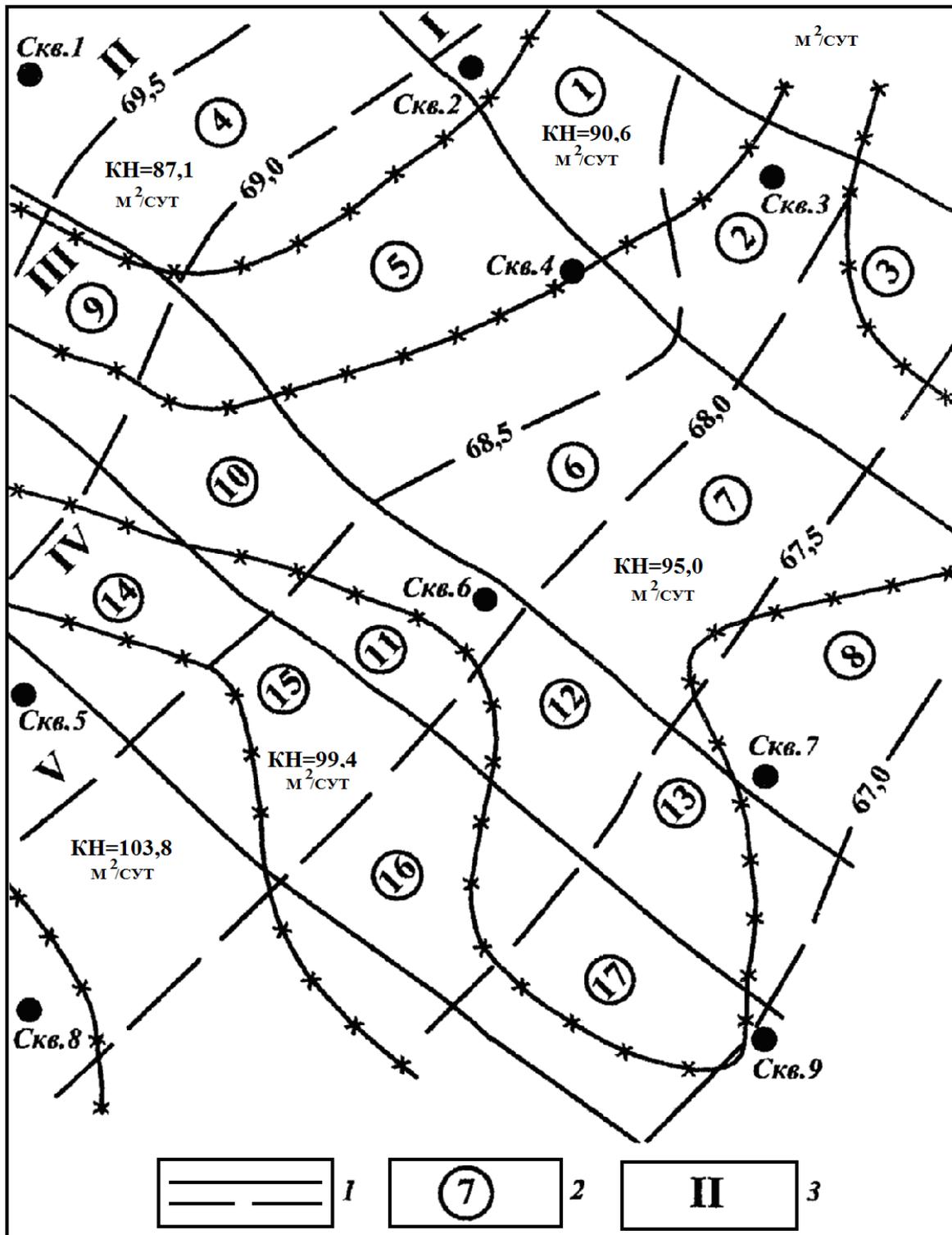


Рисунок 7 – Карта специального гидрогеологического районирования.
Масштаб 1:1000

1 – граница блоков; 2 – номер блока; 3 – номер района

БЛОК 1.

$K \cdot H'_1 = 87,1 \text{ м}^2/\text{сут}$; $K \cdot H''_2 = 90,6 \text{ м}^2/\text{сут}$; $H'_1 = 69,0 \text{ м}$; $H''_2 = 68,5 \text{ м}$; $l = 47,0 \text{ м}$ (среднее значение длины пути фильтрации); $B = 39 \text{ м}$ (ширина потока в контуре разгрузки); $F_1 = 1833 \text{ м}^2$.

В первом блоке расход потока на контуре питания не определяется, т.к. блок является граничным. В этом случае определяется лишь расход потока на контуре его разгрузки.

$$Q_{p1} = K \cdot H_{cp} \cdot J_1 \cdot B_1; \quad KH_{p1} = \frac{87,1 + 90,6}{2} = 88,9 \text{ м}^2/\text{сут};$$

$$J_1 = \frac{69,0 - 68,5}{47} = 0,01; \quad Q_{pi} = 88,9 \cdot 0,01 \cdot 39 = 34,7 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Таким образом, расход грунтового потока в блоке 1 на контуре расхода составляет $34,7 \text{ м}^3/\text{сут}$. Определить дополнительное питание (расход) потока не представляется возможным, т.к. неизвестен расход потока на контуре его питания (Q_{n1}).

БЛОК 2.

Здесь $Q_{n2} = Q_{p1}$, так как контур расхода в блоке 1 является одновременно контуром питания блока 2.

$Q_{n2} = 34,7 \text{ м}^3/\text{сут}$; $KH'_1 = 90,6 \text{ м}^2/\text{сут}$; $KH''_2 = 95,0 \text{ м}^2/\text{сут}$; $H'_2 = 68,5 \text{ м}$; $H''_2 = 68,0 \text{ м}$; $l_2 = 30,0 \text{ м}$ (берется среднее значение, так как верхняя граница блока имеет сложное очертание); $B_2 = 40 \text{ м}$; $F_2 = 1200 \text{ м}^2$ ($F_2 = B_2 \cdot l_2$).

$$Q_{p2} = K \cdot H_{cp2} \cdot J_2 \cdot B_2; \quad Q_{p2} = 92,8 \cdot 0,017 \cdot 30 = 47,3 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$J_2 = \frac{68,5 - 68,0}{30} = 0,017; \quad KH_{p2} = \frac{90,6 + 95,0}{2} = 92,8 \text{ м}^2/\text{сут};$$

Величина питания грунтовых вод в блоке 2 равна:

$$Q_{p2} - Q_{n1} = 47,3 - 34,7 = 12,6 \text{ м}^3/\text{сут}; \quad \Delta Q = 12,6 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Модуль питания грунтовых вод в блоке 2:

$$W_2 = \frac{\Delta Q_2}{F_2} = \frac{12,6}{1200} = 0,0105 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot \text{м}^2$$

БЛОК 3.

$Q_{n3} = Q_{p2} = 47,3 \text{ м}^3/\text{сут}$; $KH'_3 = 95 \text{ м}^2/\text{сут}$; $KH''_3 = 92,4 \text{ м}^2/\text{сут}$; $H'_3 = 68,0 \text{ м}$; $H''_3 = 67,5 \text{ м}$; $l_3 = 28,0 \text{ м}$; $B_3 = 30 \text{ м}$; $F_3 = 840 \text{ м}^2$

$$J_3 = \frac{68,0 - 67,5}{28} = 0,018; \quad KH_{p3} = \frac{95,0 + 92,4}{2} = 93,7 \text{ м}^2/\text{сут};$$

$$Q_{p3} = 93,7 \cdot 0,018 \cdot 30 = 50,6 \text{ м}^3/\text{сут}; \quad \Delta Q = 50,6 - 47,3 = 3,3 \text{ м}^3/\text{сут}; \quad W_2 = \frac{3,3}{840} = 0,004 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot \text{м}^2$$

БЛОК 4.

$KH'_4 = 87,1 \text{ м}^2/\text{сут}$; $H'_4 = 69,5 \text{ м}$; $H''_4 = 69,0 \text{ м}$; $l_4 = 25,0 \text{ м}$; $B_4 = 53 \text{ м}$; $F_4 = 1500 \text{ м}^2$

$$J_4 = \frac{69,5 - 69,0}{25} = 0,02; \quad Q_{p4} = 87,1 \cdot 0,02 \cdot 53 = 92,3 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Величина Q_{n4} неизвестна, т.к. блок 4 граничный.

БЛОК 5.

$Q_{n5}=Q_{p4}=92,3 \text{ м}^3/\text{сут}$; $KH'_5=87,1 \text{ м}^2/\text{сут}$; $KH''_5=90,6 \text{ м}^2/\text{сут}$; $KH'''_5=95,0 \text{ м}^2/\text{сут}$; $H'_5=69,0 \text{ м}$; $H''_5=68,5 \text{ м}$; $l_5=60,0 \text{ м}$; $B_5=56 \text{ м}$; $F_5=3360 \text{ м}^2$

$$KH_{p5} = \frac{87,1 + 90,6 + 95,0}{3} = 90,9 \text{ м}^2/\text{сут}; J_5 = \frac{69,0 - 68,5}{60} = 0,008;$$

$$Q_{p5} = 90,9 \cdot 0,008 \cdot 56 = 40,7 \text{ м}^3/\text{сут}; \Delta Q = 40,7 - 92,3 = -51,6 \text{ м}^3/\text{сут};$$

Отрицательное значение Q_{p5} указывает на уменьшение расхода грунтового потока.

$$W_5 = \frac{\Delta Q_5}{F_5} = \frac{-51,6}{3360} = -0,015 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot \text{м}^2$$

БЛОК 6.

$Q_{n6}=40,7 \text{ м}^3/\text{сут}$; $KH_6=95 \text{ м}^2/\text{сут}$; $H'_6=68,5 \text{ м}$; $H''_6=68,0 \text{ м}$; $l_6=25 \text{ м}$; $B_6=52 \text{ м}$; $F_6=1300 \text{ м}^2$

$$J_6 = \frac{68,5 - 68,0}{25} = 0,02; Q_{p6} = 95 \cdot 0,02 \cdot 52 = 98,8 \text{ м}^3/\text{сут}; \Delta Q_6 = 98,8 - 40,7 = 58,1 \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$W_6 = \frac{58,1}{1300} = 0,044 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot \text{м}^2$$

БЛОК 7.

$Q_{n7}=Q_{p6}=98,8 \text{ м}^3/\text{сут}$; $KH_7=95,0 \text{ м}^2/\text{сут}$; $H'_7=68,0 \text{ м}$; $H''_7=67,5 \text{ м}$; $l_7=27 \text{ м}$; $B_7=54 \text{ м}$; $F_7=1512 \text{ м}^2$

$$J_7 = \frac{68,0 - 67,5}{27} = 0,019; Q_{p7} = 95 \cdot 0,019 \cdot 54 = 97,5 \text{ м}^3/\text{сут}; \Delta Q_7 = 97,5 - 98,8 = -1,3 \text{ м}^3/\text{сут};$$

$$W_7 = \frac{-1,3}{1512} = -0,001 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot \text{м}^2$$

БЛОК 8.

$Q_{n8}=Q_{p7}=97,5 \text{ м}^3/\text{сут}$; $KH'_8=95,0 \text{ м}^2/\text{сут}$; $KH''_8=99,4 \text{ м}^2/\text{сут}$; $l_8=33 \text{ м}$; $B_8=52 \text{ м}$; $F_8=1716 \text{ м}^2$; $H'_8=67,5 \text{ м}$; $H''_8=67,0 \text{ м}$

$$J_8 = \frac{67,5 - 67,0}{33} = 0,015; KH_{p8} = \frac{95 + 99,4}{2} = 97,2 \text{ м}^2/\text{сут}; Q_{p8} = 97,2 \cdot 0,015 \cdot 52 = 75,8 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$\Delta Q_8 = 75,8 - 97,5 = -21,3 \text{ м}^3/\text{сут}; W_8 = \frac{-21,3}{1716} = -0,013 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot \text{м}^2$$

БЛОК 9.

$KH'_9=90,6 \text{ м}^2/\text{сут}$; $KH''_9=95,0 \text{ м}^2/\text{сут}$; $l_9=26 \text{ м}$; $B_9=30 \text{ м}$; $F_9=780 \text{ м}^2$; $H'_9=69,5 \text{ м}$; $H''_9=69,0 \text{ м}$.

$$KH_{p9} = \frac{90,6 + 95,0}{2} = 92,8 \text{ м}^2/\text{сут}; Q_{p9} = 92,8 \cdot 0,019 \cdot 30 = 52,9 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Величина Q_{n9} неизвестна, т.к. блок граничный.

БЛОК 10.

$Q_{n10}=Q_{p9}=52,9 \text{ м}^3/\text{сут}$; $KH'_{10}=90,6 \text{ м}^2/\text{сут}$; $KH''_{10}=95,0 \text{ м}^2/\text{сут}$; $KH'''_{10}=99,4 \text{ м}^2/\text{сут}$; $l_{10}=42 \text{ м}$; $B_{10}=25 \text{ м}$; $F_{10}=1050 \text{ м}^2$; $H'_{10}=69,0 \text{ м}$; $H''_{10}=68,5 \text{ м}$

$$J_{10} = \frac{69,0 - 68,5}{42} = 0,012;$$

$$KH_{p10} = \frac{90,6 + 95,0 + 99,4}{3} = 95,0 \text{ м}^2/\text{сут}; \quad Q_{p10} = 95 \cdot 0,012 \cdot 25 = 28,5 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$\Delta Q_{10} = 28,5 - 52,9 = -23,6 \text{ м}^3/\text{сут}; \quad W_{10} = \frac{-23,6}{1050} = -0,022 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot \text{м}^2$$

БЛОК 11.

$$Q_{n11} = Q_{p10} = 28,5 \text{ м}^3/\text{сут}; \quad KH'_{11} = 99,4 \text{ м}^2/\text{сут}; \quad KH''_{11} = 95,0 \text{ м}^2/\text{сут}; \quad l_{11} = 33 \text{ м}; \quad B_{11} = 36 \text{ м}; \\ F_{11} = 1188 \text{ м}^2; \quad H'_{11} = 68,5 \text{ м}; \quad H''_{11} = 68,0 \text{ м}$$

$$J_{11} = \frac{68,5 - 68,0}{33} = 0,015;$$

$$KH_{p11} = \frac{99,4 + 95,0}{2} = 97,2 \text{ м}^2/\text{сут}; \quad Q_{p11} = 97,2 \cdot 0,015 \cdot 36 = 52,5 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$\Delta Q_{11} = 52,5 - 28,5 = 24,0 \text{ м}^3/\text{сут}; \quad W_{11} = \frac{24,0}{1188} = 0,02 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot \text{м}^2$$

БЛОК 12.

$$Q_{n12} = Q_{p11} = 52,5 \text{ м}^3/\text{сут}; \quad KH'_{12} = 99,4 \text{ м}^2/\text{сут}; \quad KH''_{12} = 95,0 \text{ м}^2/\text{сут}; \quad l_{12} = 34 \text{ м}; \quad B_{12} = 26 \text{ м}; \\ F_{12} = 884 \text{ м}^2; \quad H'_{12} = 68,0 \text{ м}; \quad H''_{12} = 67,5 \text{ м}$$

$$J_{12} = \frac{68,0 - 67,5}{34} = 0,015;$$

$$KH_{p12} = \frac{99,4 + 95,0}{2} = 97,2 \text{ м}^2/\text{сут}; \quad Q_{p12} = 97,2 \cdot 0,015 \cdot 26 = 37,9 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$\Delta Q_{12} = 37,9 - 52,5 = -14,6 \text{ м}^3/\text{сут}; \quad W_{12} = \frac{-14,6}{884} = -0,017 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot \text{м}^2$$

БЛОК 13.

$$Q_{n13} = Q_{p12} = 37,9 \text{ м}^3/\text{сут}; \quad KH'_{13} = 95,0 \text{ м}^2/\text{сут}; \quad KH''_{13} = 99,4 \text{ м}^2/\text{сут}; \quad l_{13} = 36 \text{ м}; \quad B_{13} = 26 \text{ м}; \\ F_{13} = 936 \text{ м}^2; \quad H'_{13} = 67,5 \text{ м}; \quad H''_{13} = 67,0 \text{ м}$$

$$J_{13} = \frac{67,5 - 67,0}{36} = 0,014;$$

$$KH_{p13} = \frac{95,0 + 99,4}{2} = 97,2 \text{ м}^2/\text{сут}; \quad Q_{p13} = 97,2 \cdot 0,014 \cdot 26 = 35,4 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$\Delta Q_{13} = 35,4 - 37,9 = -2,5 \text{ м}^3/\text{сут}; \quad W_{13} = \frac{-2,5}{936} = -0,003 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot \text{м}^2$$

БЛОК 14.

$$\text{Величина } Q_{n14} \text{ неизвестна. } KH'_{14} = 95,0 \text{ м}^2/\text{сут}; \quad KH''_{14} = 99,4 \text{ м}^2/\text{сут}; \quad KH'''_{14} = 103,8 \\ \text{ м}^2/\text{сут}; \quad l_{14} = 36 \text{ м}; \quad B_{14} = 32 \text{ м}; \quad F_{14} = 1152 \text{ м}^2; \quad H'_{14} = 69,0 \text{ м}; \quad H''_{14} = 68,5 \text{ м}$$

$$J_{14} = \frac{69,0 - 68,5}{36} = 0,014;$$

$$KH_{p14} = \frac{95,0 + 99,4 + 103,8}{3} = 99,4 \text{ м}^2/\text{сут}; \quad Q_{p14} = 99,4 \cdot 0,014 \cdot 32 = 44,5 \text{ м}^3/\text{сут}$$

Блок граничный. Величина изменения расхода неизвестна.

БЛОК 15.

$Q_{n15}=Q_{p14}=44,5 \text{ м}^3/\text{сут}$; $KH'_{15}=103,8 \text{ м}^2/\text{сут}$; $KH''_{15}=99,4 \text{ м}^2/\text{сут}$; $l_{15}=36 \text{ м}$; $B_{15}=33 \text{ м}$;
 $F_{15}=1188 \text{ м}^2$; $H'_{15}=68,5 \text{ м}$; $H''_{15}=68,0 \text{ м}$

$$J_{15} = \frac{68,5 - 68,0}{36} = 0,014;$$

$$KH_{p15} = \frac{99,4 + 103,8}{2} = 101,6 \text{ м}^2/\text{сут}; \quad Q_{p15} = 101,6 \cdot 0,014 \cdot 33 = 46,9 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$\Delta Q_{15} = 46,9 - 44,5 = 1,1 \text{ м}^3/\text{сут}; \quad W_{15} = \frac{1,1}{1188} = 0,001 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot \text{м}^2$$

БЛОК 16.

$Q_{n16}=Q_{p15}=46,9 \text{ м}^3/\text{сут}$; $KH'_{16}=99,4 \text{ м}^2/\text{сут}$; $KH''_{16}=95,0 \text{ м}^2/\text{сут}$; $l_{16}=35 \text{ м}$; $B_{16}=33 \text{ м}$;
 $F_{16}=1155 \text{ м}^2$; $H'_{16}=68,0 \text{ м}$; $H''_{16}=67,5 \text{ м}$

$$J_{16} = \frac{68,0 - 67,5}{35} = 0,014;$$

$$KH_{p16} = \frac{99,4 + 95,0}{2} = 97,2 \text{ м}^2/\text{сут}; \quad Q_{p16} = 97,2 \cdot 0,014 \cdot 33 = 44,9 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$\Delta Q_{16} = 44,9 - 46,9 = -2,0 \text{ м}^3/\text{сут}; \quad W_{16} = \frac{-2,0}{1155} = -0,002 \text{ м}^3/\text{сут} \cdot \text{м}^2$$

Результаты выполненных расчетов приведены в таблице 7.

Таблица 7 Балансовые расчеты питания (разгрузки) подземных вод

№ блока	Расход на контуре питания, Q_n $\text{м}^3/\text{сут}$	Расход на контуре разгрузки, Q_p $\text{м}^3/\text{сут}$	Питание (разгрузка) в пределах блока $\Delta Q \text{ м}^3/\text{сут}$	Площадь блока F , м^2	Модуль питания (разгрузки) W , м
1	Н.с.	34,7	Н.с.	1833	Н.с.
2	34,7	47,3	12,6	1200	0,01
3	47,3	50,6	3,3	840	0,04
4	Н.с.	92,3	Н.с.	1500	Н.с.
5	92,3	40,7	-51,6	3360	-0,015
6	40,7	98,8	58,1	1300	0,044
7	98,8	97,5	-1,3	1512	-0,001
8	97,5	75,8	-21,3	1716	-0,013
9	Н.с.	52,9	Н.с.	780	Н.с.
10	52,9	28,5	-23,6	1050	-0,022
11	28,5	52,5	24,0	1188	0,02
12	52,5	37,9	-14,6	884	-0,017
13	37,9	35,7	-2,5	936	-0,003
14	Н.с.	99,4	Н.с.	1152	Н.с.
15	44,5	46,9	1,1	1188	0,001
16	46,9	44,9	-2,0	1155	-0,002

Н.с. – нет сведений

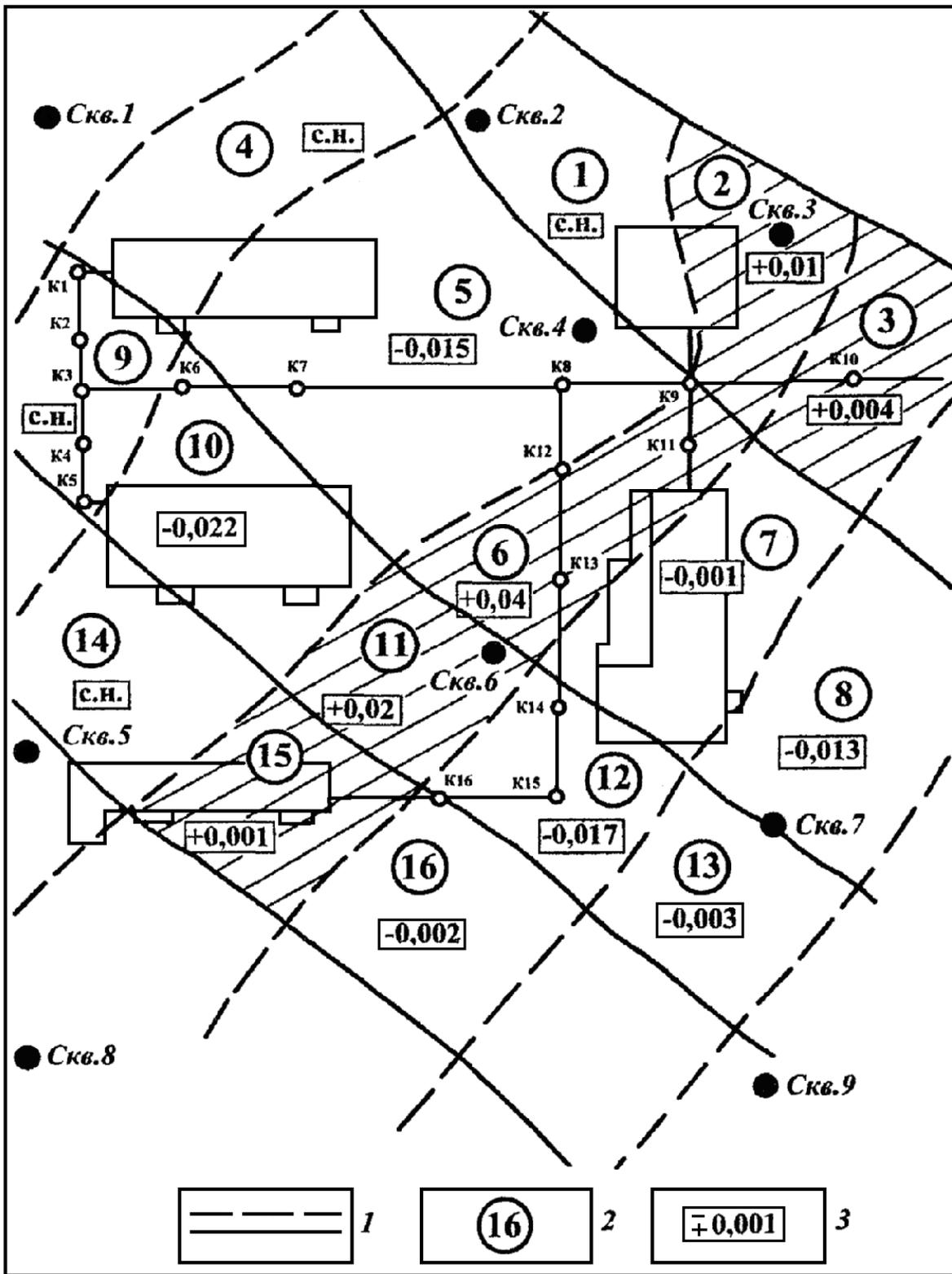


Рисунок 8 – Карта определения источника водопотерь.
 Масштаб 1:1000

1 – граница расчетных блоков; 2- номер расчетного блока;
 3 – модуль питания (+) и разгрузки (-) в блоке

Анализ полученных результатов показывает, что в различных гидродинамических блоках расход грунтового потока различаются не только по величине, но и по знаку, т.е. в одних блоках происходит питание подземных вод, несмотря на отсутствие инфильтрации атмосферных осадков, в других – разгрузка, что естественно для периода независимого режима, когда нет питания, а имеется лишь отток по пласту и испарение воды с поверхности зеркала.

Для выявления источника водопотерь на карту специального гидрогеологического районирования (рис.7) необходимо нанести контуры жилой застройки, водонесущие коммуникации, гидрографию и т.п., а также значения модулей питания (разгрузки) подземных вод для каждого гидродинамического блока.

На карте, составленной для конкретного населенного пункта (рис.8), очень четко прорисовываются участки водопотерь (блоки 2, 6, 11 и 15), на которых отмечается увеличение расхода грунтового потока. Эти участки совпадают с трассой водонесущих коммуникаций, где в результате утечек воды происходит питание грунтовых вод.

Величину водопотерь ($Q_{вод}$) несложно определить, просуммировав увеличение расхода потока в этих блоках:

$$Q_{вод} = \Delta Q_2 + \Delta Q_6 + \Delta Q_{11} + \Delta Q_{15} = 12,6 + 58,1 + 24 + 11 = 95,8 \text{ м}^3/\text{сут} = 1,1 \text{ л/сек.}$$

Таким образом, объем водопотерь составляет около 96 м³/сут. Наибольшие водопотери происходят в коммуникациях, происходящих по участку в районе блоков 6 и 11, которые и являются основной причиной подтопления рассматриваемого населенного пункта. Основным способом борьбы с подтоплением территории поселка – ремонт водонесущих коммуникаций.

Заключение

Методологические основы прогнозирования процессов подтопления, разработанные авторами для урбанизированных территорий Среднего Поволжья, имеют высокую степень репрезентативности для территории России. Не требующий применения специальных гидрогеологических исследований, основанный на анализе фондовых материалов предыдущих работ и определения современного положения зеркала грунтовых вод, балансовый метод установления причин и источника подтопления является весьма перспективным при решении важнейших гидрогеологических задач.

Помимо установления причин и динамики подтопления, балансовый метод может быть широко применен при исследовании взаимосвязи водоносных горизонтов и комплексов на закарстованных территориях, при изучении распространения подпора в глубоких водоносных горизонтах в зоне влияния крупных равнинных водохранилищ.

Библиографический список

1. **Веригин, Н. Н.** Методы расчета подпора грунтовых вод, подтопления земель и потерь воды на фильтрацию на трассах перераспределения стока / Н.Н. Веригин, П.П. Брага // Вод. Ресурсы. – 1980. - №2. – С.20-34
2. Взаимодействие поверхностных и подземных вод: тр. IV Всесоюз. гидрол. съезда. – М.: Гидрометеиздат, 1973. – 393 с.
3. **Гармонов, И.В.** Определение баланса грунтовых вод на подтапливаемых промышленных площадках / И. В. Гармонов, И. Н. Гришина, Г. И. Домрачев // Разведка и охрана недр. – М., 1979. – С. 40-43.
4. **Копосов, Е.В.** Геоэкологическая оценка состояния подземных вод Нижегородской области с учетом техногенной нагрузки и анализ использования их в качестве централизованных источников питьевого водоснабжения / Е. В. Копосов, С. Д. Казнов // Изв. жилищ.-комму. акад. Сер. «Городское хозяйство и экология». – 1996. - №4. – С. 37-42.
5. **Копосов, Е.В.** Оценка масштабов загрязнения подземных вод на закарстованных территориях крупных промышленных центров / Е.В. Копосов, С. Д. Казнов, С. Е. Копосов // Великие реки-2004: тез. докл. междунар. пром. форума / ННГАСУ. – Н.Новгород, 2004. – С. 287-288.
6. **Копосов, Е.В.** Опыт разработки метода осушения промышленной площадки в условиях постоянного техногенного подтопления / Е.В. Копосов, И.Н. Гришина, Т.С. Хромова // Великие реки-2004: тез. докл. междунар. пром. форума / ННГАСУ. – Н.Новгород, 2005. – Т.1. – С. 123-124.
7. **Копосов, Е.В.** Формирование грунтовых вод Среднего Поволжья в условиях техногенного воздействия (на примере заречной части г. Н.Новгорода) / Е.В. Копосов, И.Н. Гришина, Л.В. Потехина // Великие реки-2005: тез. докл. междунар. пром. форума / ННГАСУ. – Н.Новгород, 2005. – Т.1. – С. 122-123.
8. **Копосов, Е.В.** Геологическая среда в условиях техногенного геологического воздействия / Е.В. Копосов, И.Н. Гришина // Исследование актуальных геоэкологических проблем Приволжья: сб. науч. тр. / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т; отв. ред. Е.В. Копосов. – Н.Новгород, ННГАСУ, 2009.
9. **Копосов, Е.В.** Основные закономерности развития процесса подтопления в сложных инженерно-геологических условиях / Е.В. Копосов, И.Н. Гришина // Исследование актуальных геоэкологических проблем Приволжья: сб. науч. тр. / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т; отв. ред. Е.В. Копосов. – Н.Новгород, ННГАСУ, 2009.
10. **Минкин, Е.Л.** Взаимосвязь подземных и поверхностных вод и ее значение при решении некоторых гидрогеологических и водохозяйственных задач / Е.Л. Минкин. – М.: Стройиздат, 1973. – 102 с.
11. Основы гидрогеологических расчетов / Ф.М. Бочеввер, И.В. Гармонов, А.В. Лебедев, В.М. Шестаков. – М.: Недра, 1965. – 296 с.
12. **Шестаков, В.М.** Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа / В.М. Шестаков. – М.: Изд-во МГУ, 1965. – 233 с.

13. **Шестаков В. М.** Динамика подземных вод / В. М. Шестаков. – М. : Изд-во МГУ, 1979. – 368 с.

14. **Мироненко, В.А., Мольский Е.В., Румынин В.Г.** Изучение загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах / В.А. Мироненко, Е.В. Мольский, В.Г. Румынин. – Л.: Недра, 1988. – 279 с.

15. **Мироненко, В. А., Румынин В. Г.** Проблемы гидрогеологии. В 3-х томах. Т. 3 – М. : Издательство Моск. гос. горного ун-та, 2002. – 312 с.

Евгений Васильевич Копосов
Ираида Николаевна Гришина
Юлия Вячеславовна Ронжина

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭФФЕКТИВНОГО ОСВОЕНИЯ
ПОДТАПЛИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО И
ГРАЖДАНСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Методические указания к самостоятельной работе
для студентов очного и заочного отделений

Направление (бакалавриат): 270100.62 – «Строительство»

Специальности:

270102.65 – «Промышленное и гражданское строительство»

270104.65 – «Гидротехническое строительство»

Подписано в печать. Бумага газетная. Формат 60×90 1/16

Печать трафаретная. Уч.изд.л. 1,6 Усл.печ.л. 2,0 Тираж 200 экз. Заказ №

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

603950 Н.Новгород, ул. Ильинская, 65

Полиграфический центр ННГАСУ. 603950 Н.Новгород, ул. Ильинская, 65