

Расчёт показывает, что при расстоянии до реки  $R$  равном 400 м, и времени развития нестационарного режима  $t$  равном пяти минутам, что в пересчёте составляет 0,003472 сут, коэффициент пьезопроводности  $a$  будет равен  $2,0 \times 10^7$  м<sup>2</sup>/сут.

Известное значение коэффициента водопроницаемости позволяет оценить и величину упругой водоотдачи водовмещающих пород. Коэффициент пьезопроводности связан с коэффициентом водопроницаемости следующим соотношением:

$$a = \frac{kt}{\mu},$$

где:  $a$  – коэффициент пьезопроводности, м<sup>2</sup>/сут;

$kt$  – коэффициент водопроницаемости, м<sup>2</sup>/сут;

$\mu$  – упругая водоотдача водовмещающих пород, д.е.

Простой расчёт показывает, что при значении коэффициента водопроницаемости 8 м<sup>2</sup>/сут (эта величина определена на этапе восстановления уровня в скважине после откачки) расчётное значение упругой водоотдачи составит  $3,9 \times 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/сут.

Предложенную методику расчетов емкостных параметров водовмещающих пород можно использовать как расчетную схему для определения фильтрационных параметров по данным одиночных откачек в сложных гидрогеологических условиях. Практическая потребность в получении дополнительной гидрогеологической информации при проведении одиночных откачек имеется. В настоящее время на территории Богучанского района Красноярского края проводятся работы по подсчёту запасов подземных вод для хозяйственно-питьевого и технологического водоснабжения на действующих водозаборах, работающих на неутверждённых запасах.

### **Литература**

1. Б.В. Боревский, Б.Г. Самсонов, Л.С. Язвин / Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек / Москва «Недра» 1973 / 305 с.
2. Н.Н. Биндеман, Л.С. Язвин / Оценка эксплуатационных запасов подземных вод / Москва «Недра» 1970 / 217 с.
3. Ф.М. Бочевер, И.В. Гамронов, Л.В. Лебедев, В.М. Шестаков / Основы гидрогеологических расчетов / Москва «Недра» 1965 / 309 с.

## **ПРОГНОЗ ПОДТОПЛЕНИЯ НАБЕРЕЖНОЙ РЕКИ КАМА Г. ПЕРМЬ МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Д.В. Пургина

Научный руководитель профессор Л.А. Строкова

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск,  
Россия, E-mail: purgina\_darya@mail.ru**

**Аннотация.** В данной работе рассмотрена проблема подтопления г. Перми на набережной реки Кама. Решена обратная задача фильтрации методом численного моделирования. По полученным результатам построена карта опасности и риска по подтоплению участка.

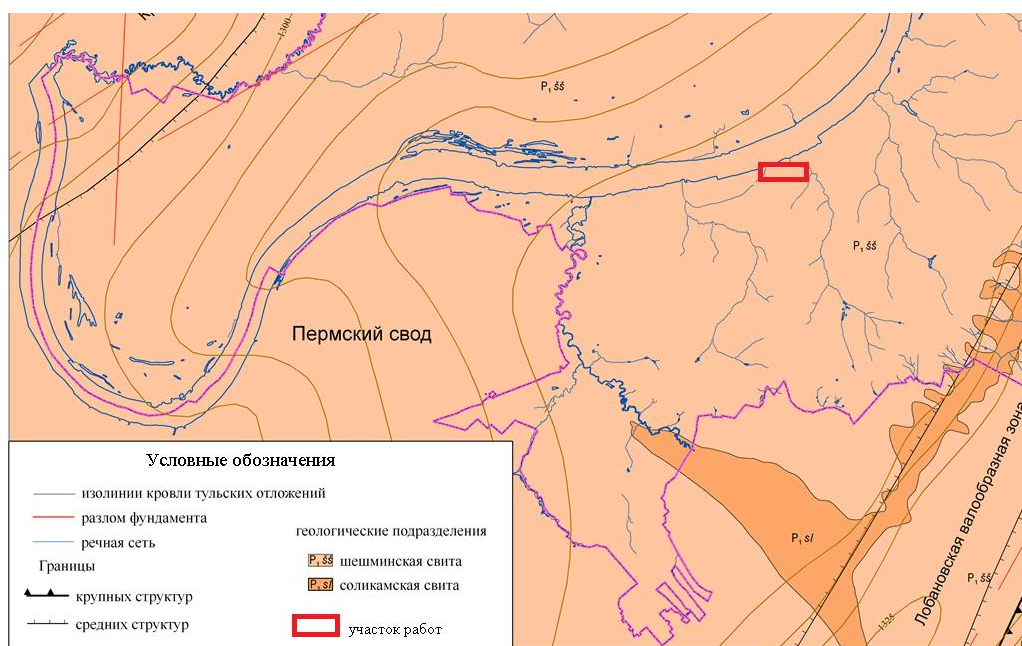
**Abstract.** In this paper, the problem of flooding in the city of Perm and Kama River Quay. We solve the inverse problem of filtration method of numerical simulation. In the result built map the dangers and risks of flooding on the area.

Подтопление – является одним из широко распространенных проблем урбанизированных территорий. Подтопление влечет за собой ряд вторичных

разрушающих явлений – крип, оползни, просадка почв, барражный эффект и др. Для оценки масштабов возникновения негативных процессов на подтопленной территории возникает необходимость решения важнейшего вопроса – изменение уровня подземных вод (УПВ). Для прогноза сегодня используются преимущественно 2 способа: аналитическое решение уравнения фильтрации и метод численного моделирования.

Подтопление является актуальным и для г. Перми. В геоморфологическом отношении район расположен на восточной окраине Русской равнины. Рельеф территории речного происхождения, сформировавшийся в результате речного морфогенеза: глубинной, боковой, регрессивной эрозии и аккумуляции. Рельефообразующими элементами являются река Кама, ее притоки и овраги. Основными формами рельефа являются пойма и аккумулятивно-эрозионные надпойменные террасы (абс. отм. 92–180 м).

В геологическом строении территории г. Перми участвуют породы пермской системы (Рисунок 1). К нижнему, приуральскому отделу, состоящему из пяти ярусов, и относится территория города. Отложения верхнего яруса (уфимского- $P_2sl+ss$ ) выходят на поверхность практически на всей территории города, они перекрыты отложениями четвертичной (Q) системы. Четвертичные отложения в районе г. Перми представлены в основном аллювиальными, элювиально-делювиальными и озерно-болотными образованиями (рис. 2). В связи со строительным освоением территории с поверхности часто залегают насыпные грунты различного состава, мощности, времени и способа отсыпки.



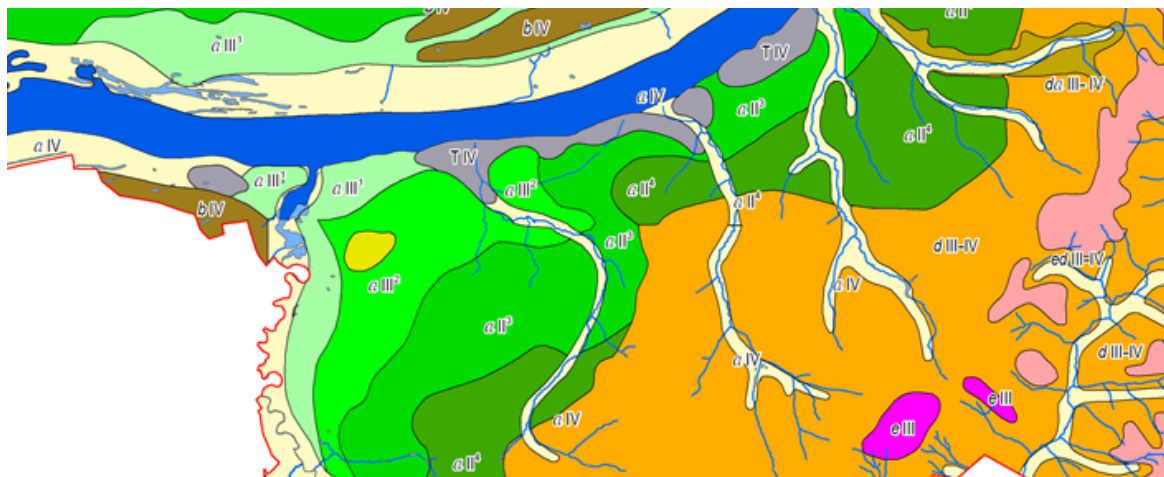
**Рис. 2. Фрагмент геологической карты г. Пермь**

В тектоническом отношении г. Пермь располагается на севере одной из крупнейших тектонических форм – Пермско-Башкирском своде. По кровле артинского яруса определяется ряд более мелких структур, осложняющих Пермско-Башкирский свод [6].

Район г. Перми находится в восточной окраине Волго-Камского артезианского бассейна второго порядка [2] в Камской гидрогеологической области [3, 4], где широко

распространены порово-грунтовые воды аллювиальных отложений, трещинно-грунтовые и трещинно-пластовые воды шешминского терригенного горизонта. Подземные воды аллювиальных четвертичных отложений образуют первый от поверхности горизонт грунтовых вод.

Гидрогеологические условия территории определяются следующими особенностями: резкой фациальной изменчивостью четвертичных отложений, обуславливающей незакономерное изменение их фильтрационных свойств, наличие в разрезе относительно водоупорных пород, разделяющих водоносные толщи, и существование песчаных окон, способствующих гидравлической взаимосвязи горизонтов; небольшой глубиной вреза современной эрозионной сети, не всегда прорезающей водоупорные толщи, что определяет напорно-безнапорный режим вод четвертичных отложений; взаимосвязью вод четвертичных отложений между собой, а также с подземными водами дочетвертичных отложений и водами поверхностных водоемов и водотоков.



Условные обозначения

Современное звено	<b>b IV</b>	Болотные отложения. Торф, торфотуф, гумусированные глины
	<b>a IV</b>	Аллювиальные отложения. Пойма и русло. Галечники, гравий, пески, суглинки, глины.
	<b>d III-IV</b>	Делювиальные отложения. Глины и суглинки с дрсвой, щебнем и глыбами
	<b>ed III-IV</b>	Элювиально-делювиальные отложения. Глины и суглинки с дрсвой, щебнем и глыбами подстилающих пород
	<b>da III-IV</b>	Делювиально-аллювиальные отложения. Глины и суглинки с прослоями песка и гальки.
Верхнее звено	<b>e III</b>	Элювиальные отложения. Глины, суглинки, щебень, глыбы, галечник
	<b>a III<sup>1</sup></b>	Аллювиальные отложения. Первая надпойменная терраса. Галечник, гравий, пески, супеси, суглинки, глины
	<b>a III<sup>2</sup></b>	Аллювиальные отложения. Вторая надпойменная терраса. Галечник, гравий, пески, супеси, суглинки, глины
Среднее звено	<b>a II<sup>3</sup></b>	Аллювиальные отложения. Третья надпойменная терраса. Галечник, гравий, пески, супеси, суглинки, глины
	<b>a II<sup>4</sup></b>	Аллювиальные отложения. Четвертая надпойменная терраса. Пески, суглинки, глины, гравий, галечник
	<b>v IV</b>	Эоловые отложения. Пески.

Рис. 3. Фрагмент карты четвертичных отложений г. Пермь



В 1998 году Верхнекам- ТИСИзом была проведена большая работа по изучению подтопления. Итогом этих исследований явилась схематическая карта распространения опасных геологических процессов, в том числе процесса подтопления, на территории города Перми.

При этом большая часть площадей изученных жилых районов была отнесена к территориям благоприятным и условно благоприятным для строительства, однако выделяются и неблагоприятные участки. С момента выхода отчета (прошло около 20 лет) появились новые данные по подтопляемости, на некоторых площадях степень подтопляемости изменилась не в лучшую сторону. Частичное подтопление подвалов зданий и сооружений (рисунок 3) требует проведения дополнительных исследований, так прогноз изменения уровня подземных вод вдоль набережной реки Кама был вызван реконструкцией и частичным переносом железнодорожной линии Пермь-I – Пермь-II.



Рис. 3. Вода в подвале здания вокзала на ноябрь 2013 г.

В гидрогеологическом разрезе участка работ, в соответствии с её геологическим строением, выделены следующие водоносные комплексы (соответственно вошедшие в фильтрационную модель): четвертичный (порово-грунтовый) и шешминский (трещинно-поровый) водоносные комплексы, а также воды, вскрытые в техногенных отложениях. Все воды взаимосвязаны между собой и имеют спорадическое распространение (Рисунок 4).

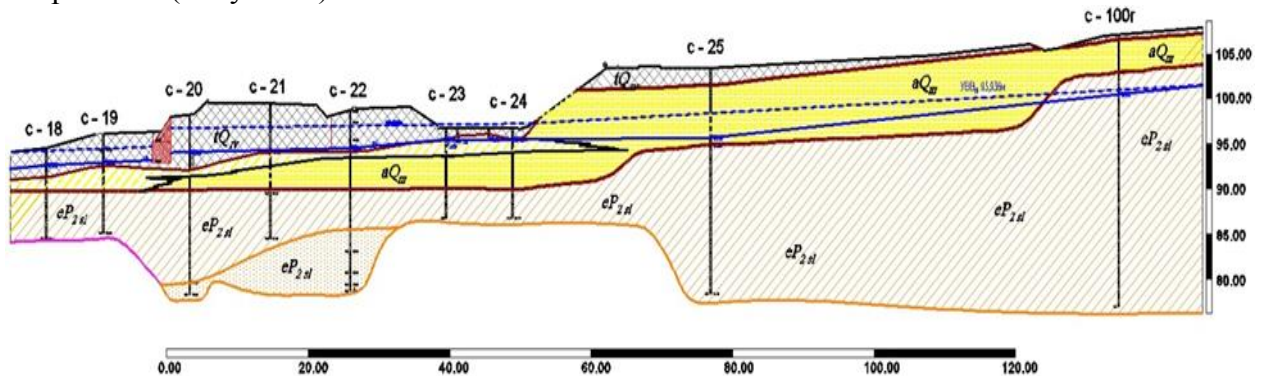
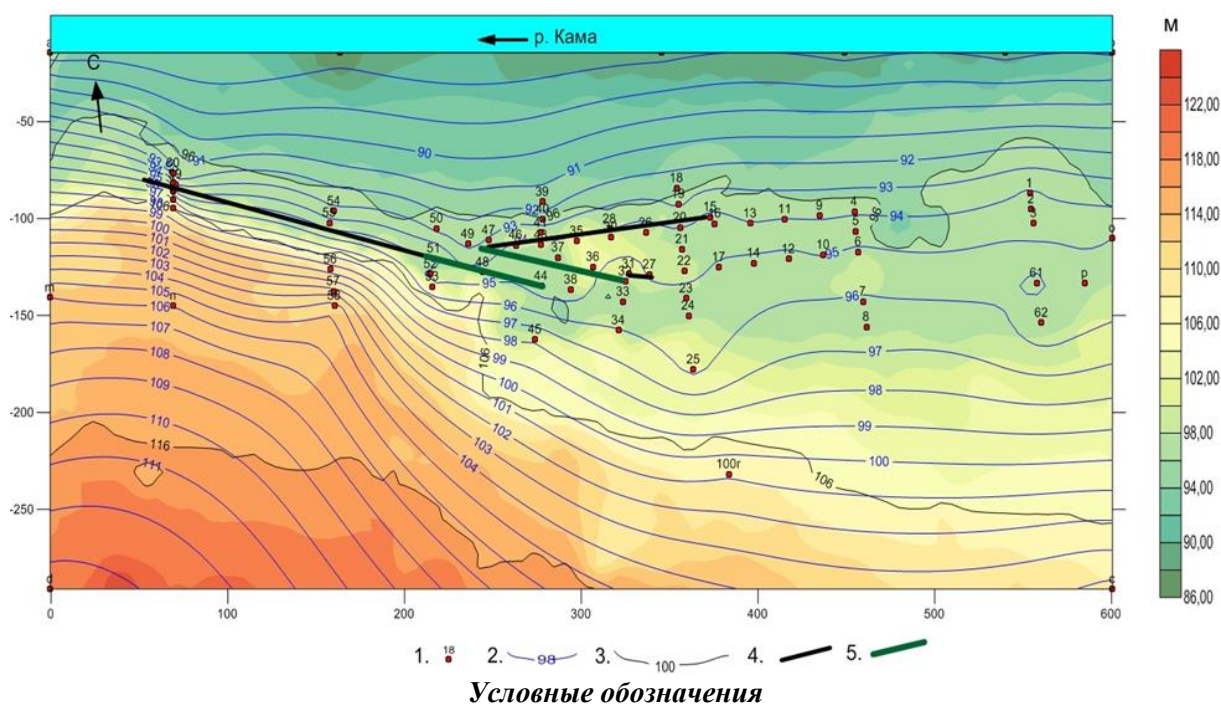


Рис. 4. Гидрогеологический разрез участка

На период обследования (03.08 – 24.11.2013) подземные воды вскрыты на глубине 0,5-12,2 м (абсолютная отметка 91,50-104,76 м). Положение зеркала вод на изучаемом участке находится на абсолютной отметке 91,50-104,76 м, уровень воды в р. Кама в данный период составлял 87,69-87,72 м. Перепад абсолютных отметок составляет 13,26 м. Уклон потока направлен к р. Кама и составляет 0,0608 (разрез). По результатам опытно-фильтрационных работ, выполненных ОАО «Сибгипротранспуть» при участии автора, режимных наблюдений в опытных скважинах и установившихся уровней в разведочных скважинах построена гидрогеологическая карта (Рисунок 5) на момент 16.11.2013.



**Условные обозначения**

**1 – скважина и ее номер; 2 – гидроизогипсы; 3 – изолинии рельефа; 4 – подпорные стенки;**

**Рис. 5. Схематическая карта гидроизогипс участка**

Ввиду сложных гидрогеологических условий территории, оценка подъема уровня подземных вод вследствие подъема уровня воды в р. Каме до 93,936м (в системе высот г. Пермь) с обеспеченностью 1%, производилась методом численного моделирования на базе программы Processing Modflow, входящей в пакет программ РМ 5.3 [1].

При определении внешнего контура фильтрационной модели учитывались следующие обстоятельства:

- модельная область должна включать площадь проектируемых сооружений со всеми существующими инженерными сооружениями и прилегающей территорией, а также область потенциального воздействия сооружений на подземные воды;
- влияние внешних границ на изменение структуры фильтрационного потока в связи с дренированием водоносных горизонтов должно быть минимальным;
- плановая ориентировка модели должна быть скорректирована в соответствии с естественным направлением потока подземных вод.

В связи с вышеизложенным была выбрана область моделирования, представляющая собой прямоугольник, площадью 0,18 км<sup>2</sup>, длина сторон которого 600 м и 300 м (рисунок 6). Расчетная область фильтрации была разбита на квадратные



блоки одинакового размера со стороной квадрата 6 м. Количество блоков по оси X – 100, по оси Y – 50, по оси Z – 3. Общее количество блоков в модели –  $100 \cdot 50 \cdot 3 = 150000$  (Рисунок 6).

Внешние гидродинамические границы модели и их физико-математическое представление в численной схеме выбирались исходя из общей гидродинамической ситуации, имеющихся карт гидроизогипс, а также руководствуясь общими принципами по схематизации гидрогеологических условий.

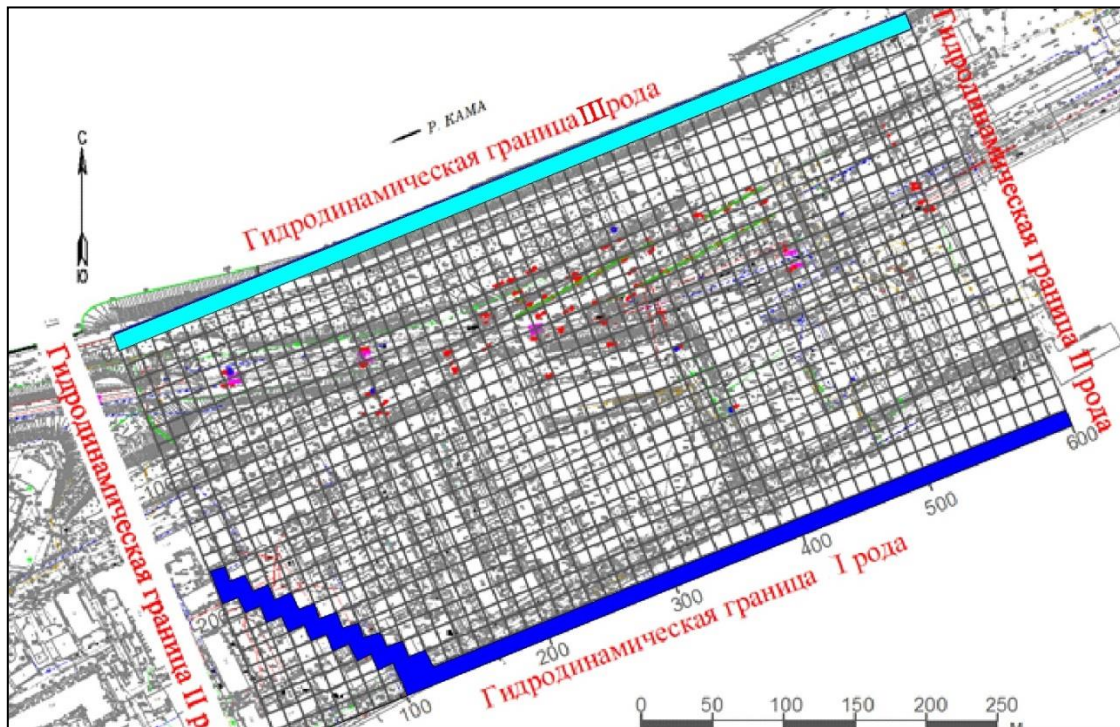


Рис. 6. Схематизация граничных условий моделируемого участка

Внешняя южная граница модели проведена по наиболее приподнятому участку рельефа, являющимся водоразделом поверхностных и подземных вод. Эта граница вводилась как питающая, т.е. расход потока через них ( $Q$ ) постоянен (ГУ I рода). Западная и восточная границы модели в плане примерно отвечают линиям тока, что позволило отнести их к непроницаемым – на них было реализовано граничное условие II рода ( $Q = \text{const} = 0$ ) (ГУ II рода). Для северной границы модели (р. Кама) было реализовано граничное условие III рода (Рисунок 6).

Профильные границы водоносных комплексов и горизонтов задавались через абсолютные отметки подошвы и кровли каждого из них, полученные по результатам буровых работ. Модель в разрезе состоит из трех слоев. Для построения матриц кровли и подошвы соответствующего слоя использовались материалы литологического описания керна скважин, пробуренных осенью 2013 года.

Первый (верхний) модельный слой: соответствует объединенной толще техногенных отложений ( $t_{QIV}$ ) коэффициент фильтрации по вертикали ( $Kz$ ) составляет 6,501 м/сут, параметр перетекания ( $B_1$ ) – 0,26 м; подошва слоя – подошва аллювиальных отложений.

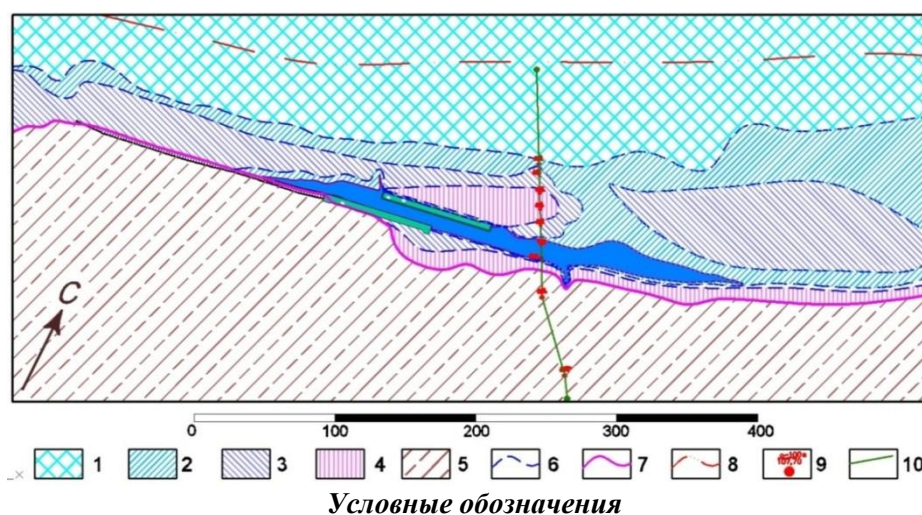
Второй модельный слой: отождествляется с аллювиальными отложениями коэффициент фильтрации по вертикали ( $Kz$ ) составляет 12,354 м/сут, параметр перетекания ( $B_1$ ) – 1,8 м; подошва слоя на отметке 85,77 м.

*Третий модельный слой:* имитирует зону активного водообмена коэффициент фильтрации по вертикали ( $Kz$ ) составляет 23.125 м/сут, параметр перетекания ( $B_1$ ) – 3,2 м; подошва слоя на отметке 85,77 м.

Инфильтрационное питание задавалось на модели виде однородной матрицы. Для оценки величины питания первого от поверхности водоносного горизонта привлечены среднегодовая сумма атмосферных осадков.

Калибровка фильтрационной модели по превышению уровня воды в р.Кама заключалась в уточнении значений проводимости подрусловых отложений и коэффициентов фильтрации аллювиальных отложений в прилегающих к водотоку областям.

В результате калибровки модели по основным критериям соответствия реальных и модельных значений (напоров в скважинах), была решена обратная фильтрационная задача – на модели было получено поле распределения естественных напоров, по результатам которых была построена карта опасности и риска подтопления изучаемого участка (Рисунок 7).



**Условные обозначения**  
 1-подзона непосредственного затопления; мощность зоны аэрации составляет для 2 зоны – 0,0-0,5 м; 3 зоны – 0,5-2,0; 4 зоны – 2,0 – 4,0; 5 зона медленного повышения уровня подземных вод; 6 – границы зон подтопления; 7 – граница между зонами сезонно (ежегодно) подтопляемыми и медленного повышения уровня подземных вод; 8 – граница р. Кама на 26.10.2013; 9 – скв; 10 – линия разреза.

**Рис. 7. Схематическая карта опасности и риска изучаемого участка**

Вся территория была разделена на 2 основных зоны: сезонно (ежегодно) подтопляемая и зона медленного повышения уровня подземных вод. В свою очередь в первой зоне были выделены 4 подзоны в которых прогнозируется положение УПВ в соответствии с максимално возможным положением уреза реки Кама. Первая – непосредственного затопления (вода выходит на поверхность), вторая – мощность зоны аэрации составляет 0,0 - 0,5 м, третья – 0,5-2.0 м и четвертая – переходная 2,0 – 4,0 м.

### Выводы

1. В работе представлена гидродинамическая модель территории реконструкции путепровода и прилегающих территорий, созданная с помощью средств трехмерного гидродинамического моделирования (PMWin), используемая для прогноза опасности подтопления изучаемого участка.

2. Дан прогноз изменения уровня подземных вод с учетом максимально возможного изменения уреза воды в реке Кама. Прогноз подъема уровня подземных вод исходил из подъема уровня воды в р. Каме до отметки 93,936 м (в системе высот г. Пермь) с обеспеченностью 1% с помощью подбора поверхностного питания участка.

3. На участке было пробурено 66 скважин, пройдено 22 шурфа, что позволило максимально детализировать как гидрогеологические, так и геологические данные. В результате интеграции полевых работ построена карта гидроизогипс масштаба 1:200.

4. В соответствии с СП 11-105-97 (часть 2) построена карта опасности и риска подтопления изучаемого участка. Вся территория была разделена на 2 основных зоны: сезонно (ежегодно) подтопляемые и зона медленного повышения уровня подземных вод. В свою очередь в первой зоне были выделены 4 подзоны в которых прогнозируется положение УПВ в соответствии с максимально возможным положением уреза реки Кама. Первая – непосредственного затопления (вода выходит на поверхность), вторая – зона аэрации составляет 0,0 - 0,5 м, третья – зона 0,5-2,0 м и четвертая – переходная 2,0 – 4,0 м.

### **Литература**

1. Wen-Hsing Chaing, Wolfgang Kinzelbach. 3D – Groundwater Modeling with PMWIN. Springer. ISBN 3-540-67744-5. Printed in Germany. 346 p
2. Гидрогеология СССР том XIV Урал. Главный редактор А. В. Сидоренко. Издательство «Недра», М, 1972 (648 с.)
3. Иконников Е.А. Гидрогеология/Е.А. Иконников, ЮА. Яковлев, и.Н. Шестов// Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края: Энциклопедия. Пермь. 2006. С. 111-123
4. Мошковский В.И, Е. А. Бобров, Е. А. Иконников, В. А. Поповцев, А. В. Ревин, В. П. Куликов и др . Гидрогеологическая карта//горная энциклопедия. М., 1986. Т.2. С.41
5. Синдаловский Л.Н. Справочник аналитических решений для интерпретации опытно-фильтрационных опробований. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2006. – 769 с.
6. Софроницкий П.А., Проворов В.М. Локальные узловые поднятия в осадочном чехле Пермского Прикамья. - Труды ВНИГНИ. Пермь, 1970, вып. 72, с. 22-32

## **ОЦЕНКА БАРРАЖНОГО ЭФФЕКТА В ГОРОДСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПОСРЕДСТВОМ СОЗДАНИЯ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ЛИНИИ ПЕРМЬ I - ПЕРМЬ II СВЕРДЛОВСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

Д.В. Пургина

Научный руководитель профессор Л.А. Строкова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия,  
E-mail: [purgina\\_darya@mail.ru](mailto:purgina_darya@mail.ru)

**Аннотация.** Барражный эффект – подъем уровня грунтовых вод на пути фильтрационного потока перед преградой по потоку и снижением за ней, вследствие перекрытия фильтрационного потока подземных вод. В 2013 году в городе Пермь компанией ОАО «Сибгипротранспуть» проводились изыскания под строительство новых и реконструкцию старых подпорных стенок, при их изучении был обнаружен высокий уровень подземных вод и подпор воды в фундаменте уже имеющихся стенок. Основной задачей для гидрогеологов стало оценка текущего состояния и прогноз изменения уровня подземных вод при строительстве новых подпорных стенок.

**Abstract.** Barrage effect - the rise of the groundwater level on the way to the seepage barrier for the flow and the reduction of it, due to the overlapping of seepage of groundwater.