

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.

In 2013, in the city of Perm company "Sibgiprotransput" carried out researches for construction of new and reconstruction of old retaining walls, in their study had found high levels of groundwater and the head of water in the basement of the existing walls. The main objective was to hydrogeologists to assess the current status and forecast changes in the level of groundwater in the construction of new retaining walls.

Городу Перми более 290 лет, в досоветский период его застройка шла хаотично и изыскания не проводились. Одно из старейших сооружений города построено в 1986 г. – путепровод, расположенный по линии Пермь I–Пермь II. При постройке путепровода была пройдена выемка во второй надпойменной террасе реки Кама (рис. 1).

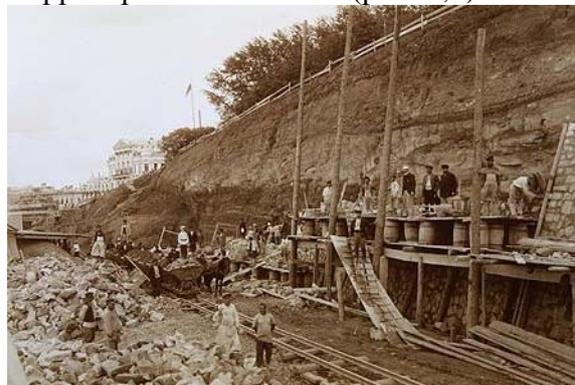


*Рис. 1. Выемка под путепровод*

Для предотвращения обрушения склонов были построены подпорные стенки укрепившие, как путепровод, так и срезанный террасированный склон (рис. 2,3)



*Рис. 2. Строительство путепровода 1885 г.*



*Рис. 3. Строительство подпорной стенки 1885 г.*

В настоящее время путепровод пришел в аварийное состояние, появилась необходимость в его реконструкции.

На период обследования (03.08 – 24.11.2013) были детально изучены инженерно-геологические, гидрогеологические условия территории.

По генезису на участке изысканий выделяются верхнеплейстоценовые аллювиальные отложения II надпойменной террасы р. Камы ( $aQ_{III}$ ) и отложения коры выветривания песчаников и аргиллитов ( $P_2sl+ss$ ), перекрытые с поверхности техногенными отложениями ( $tQ_{IV}$ ). По результатам полевых, лабораторных работ и последующей статистической обработки полученных данных на основе ГОСТ 20522-2012 в пределах глубины изучения разреза выделено 59 инженерно-геологических элементов (рис. 4).

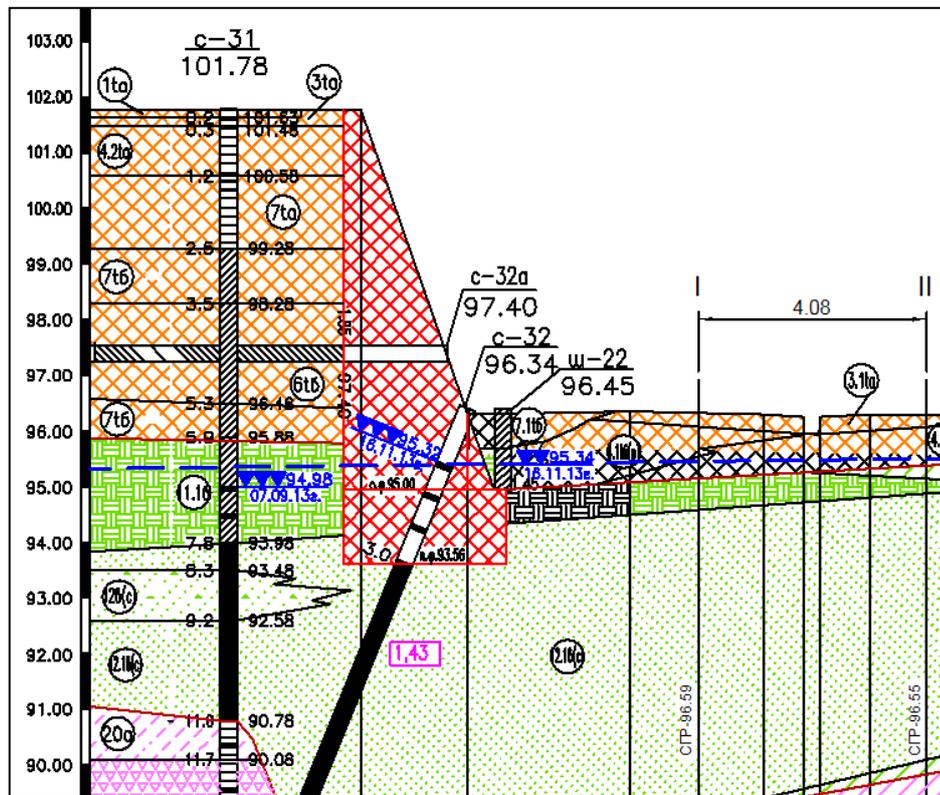


Рис. 4. Фрагмент инженерно-геологического разреза

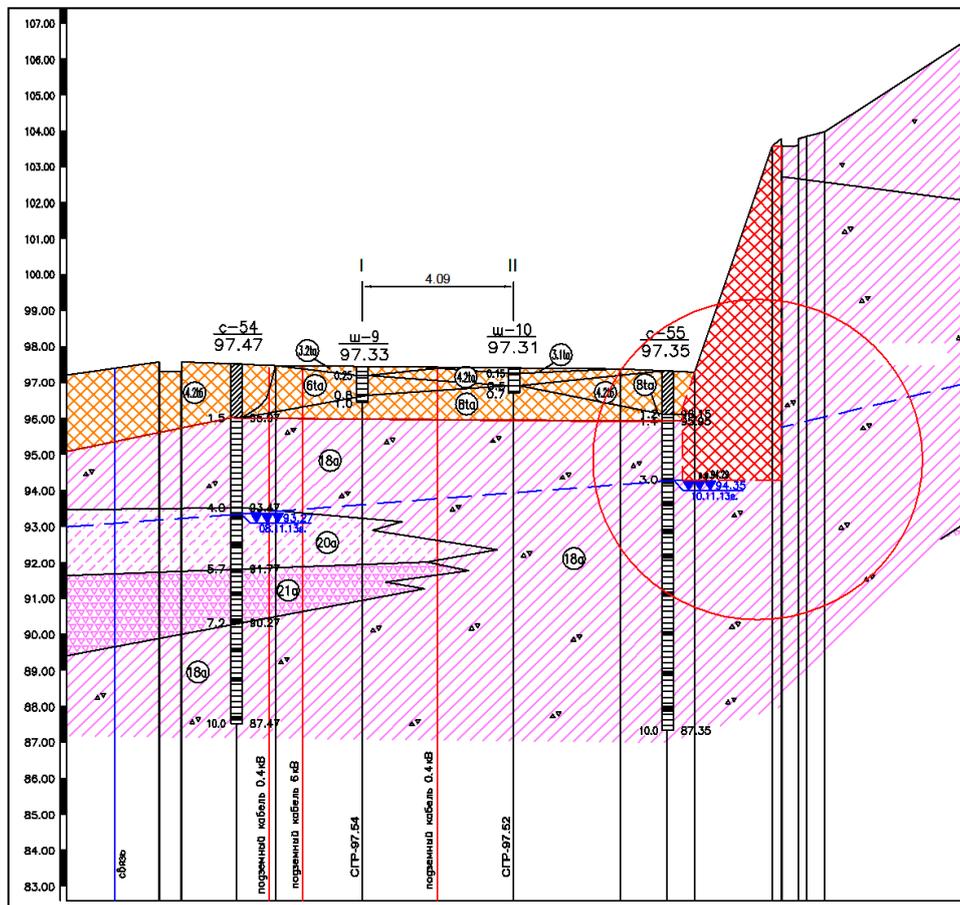
Гидрогеологические условия территории определяются следующими особенностями: резкой фациальной изменчивостью четвертичных отложений, обуславливающей незакономерное изменение их фильтрационных свойств, наличие в разрезе относительно водоупорных пород, разделяющих водоносные толщи, и существование песчаных окон, способствующих гидравлической взаимосвязи горизонтов; небольшой глубины 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.

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.

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. При построении гидроизогипс на гидрогеологической карте и инженерно-геологических разрезов отмечен **подпор подземных вод** вследствие перекрытия фильтрационного потока существующими подпорными стенками и

сооружениями зданий с глубоким заложением фундамента без дренажных канав. Так отмечен подпор воды у здания вокзала с резким снижением уровня воды за зданием – в подвале отмечено стояние воды). Подпор подземных вод наблюдается у существующих подпорных стенках, расположенных южнее земляного полотна и севернее земляного полотна и у стены путепровода (рис. 5). Сгущение изолиний на подходе к подпорной стенке, расположенной южнее земляного полотна, достигает 2-3 м с уклоном 0,5, и резким снижением уровня воды за ней. Подпора воды не зафиксировано в местах, где состояние кладки подпорных стенок нарушено и вода циркулирует в них (рис. 4).

Для количественной оценки величины подъема уровня подземных вод при строительстве подпорных стенок (подпор грунтовых вод) необходимы фильтрационные показатели всех разновидностей техногенных грунтов. В лабораторных условиях определены коэффициенты фильтрации песчаных и глинистых грунтов, которые в период бурения скважин находились выше уровня подземных вод.



**Рис. 5. Фрагмент инженерно-геологического разреза. Проявление барражного эффекта в существующей стенке**

В связи с тем, что при сооружении подпорных стенок будет происходить уплотнение грунтов, залегающих в окружении их, коэффициенты фильтрации получены: для песчаных грунтов методом стандартного уплотнения при максимальной плотности и оптимальной влажности; для глинистых грунтов при выполнении консолидационных испытаний (ГОСТ 12248-2010 п.5.4.5) через установленные характеристики фильтрационной консолидации методом расчета.

Для получения достоверных прогнозных оценок изменений гидрогеологических условий при проектировании сооружений выполнен комплекс опытно-фильтрационных работ для определения фильтрационных параметров водоносных горизонтов.

В связи с освоением подземного пространства при строительстве подпорных стенок возникает опасность подтопления их фундаментов подземными водами и возможности возникновения барражного эффекта при заложении подошвы свайного ростверка ниже естественного уровня подземных вод.

Чтобы исключить возможность барражного эффекта необходимо рассчитать глубину заложения подошвы свайного ростверка подпорных стенок. Количественная оценка водопритоков подземных вод выполнена методом численного моделирования.

Усредненная абсолютная отметка залегания уровня подземных вод вблизи проектируемых подпорных стен принимается 94,50 м.

Модельные расчеты водопритоков к проектируемым горизонтальным подпорным стенкам производились для двух ориентировочных вариантов отметки заложения подошвы свайного ростверка: абсолютная отметка 92,0 м и абсолютная отметка 94,5 м.

Для получения возможного превышения напоров относительно естественных были реализованы следующие условия:

- подпорные стенки принимались непроницаемыми, а сами строения полностью гидроизолированными. Численная реализация данного условия заключалась во введении в модель внутренних границ II рода ( $Q=\text{const}=0$ ), пространственно совпадающих с местами расположения стенок;

- отсутствие дренажных систем любого типа (в том числе и нагорной канавы). Данное условие закладывалось для создания повышенного запаса надежности, поскольку за основу брались напоры, отвечающие ненарушенному режиму подземных вод;

- повышенное инфильтрационное питание подземных вод (период весеннего половодья).

Вариант 1. Оценивались величина возможного превышения напоров относительно естественных при заглублении подошвы свайного ростверка до абсолютной отметки 92,0 м – заглубление в водоносный комплекс в среднем на 2,5 м, в отложения аллювия и элювия. Данный вариант строительства приводит к некоторому изменению картины фильтрационного потока, что выражается в подъеме уровней подземных вод возле сооружений. Так вблизи подпорной стенки №1 наблюдается повышение уровней с юго-восточной стороны до 4 м и подтоплению основной площадке земляного полотна (рис. 6). Препяды фильтрационному потоку также создают и остальные рассматриваемые подпорные стенки, что приводит к повышению уровней вблизи них до 0,6-1,2 м.

Для предотвращения подобного рода эффектов, необходимо организовать возможность прохождения подземных вод под подошвой свайного ростверка, не перекрывая аллювиальных и элювиальных отложения, которые обладают более высокими фильтрационными свойствами. Этого возможно достичь, изменив заглубление подошвы свайного ростверка.

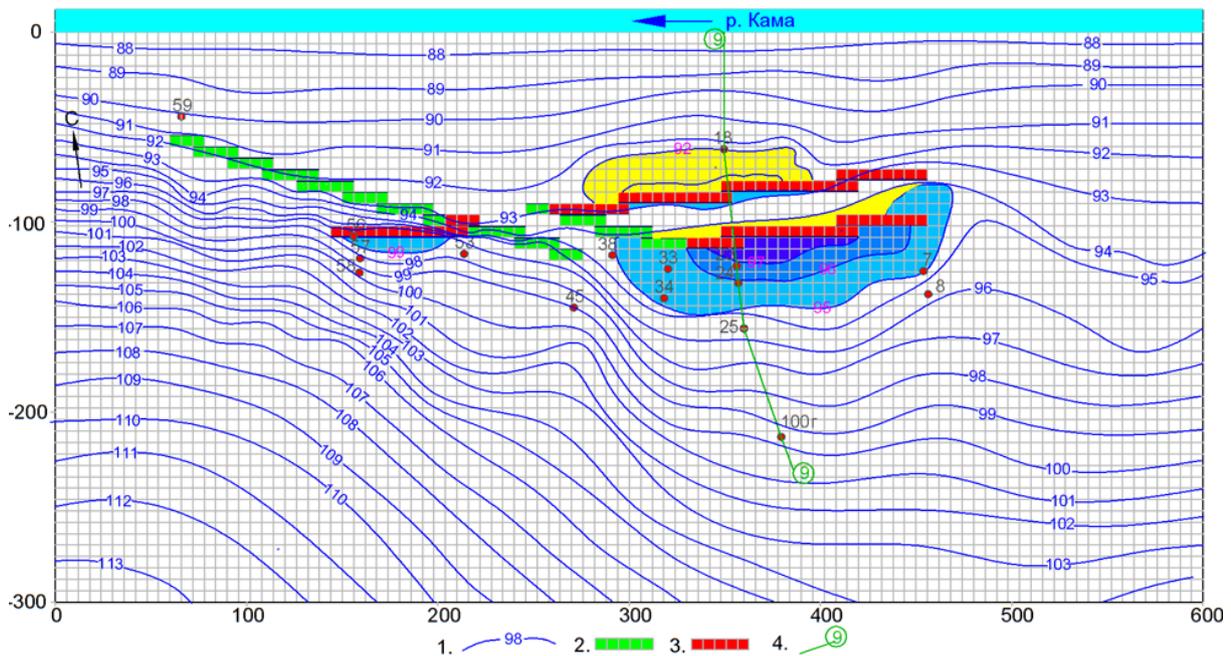


Рис. 6. Прогнозная модель изменения уровня подземных вод при заглублении фундамента проектных подпорных стенок до отметки 92,0 абс м. 1-линии равных напоров; 2-существующие подпорные стенки; 3-проектные подпорные стенки; 4- линия разреза

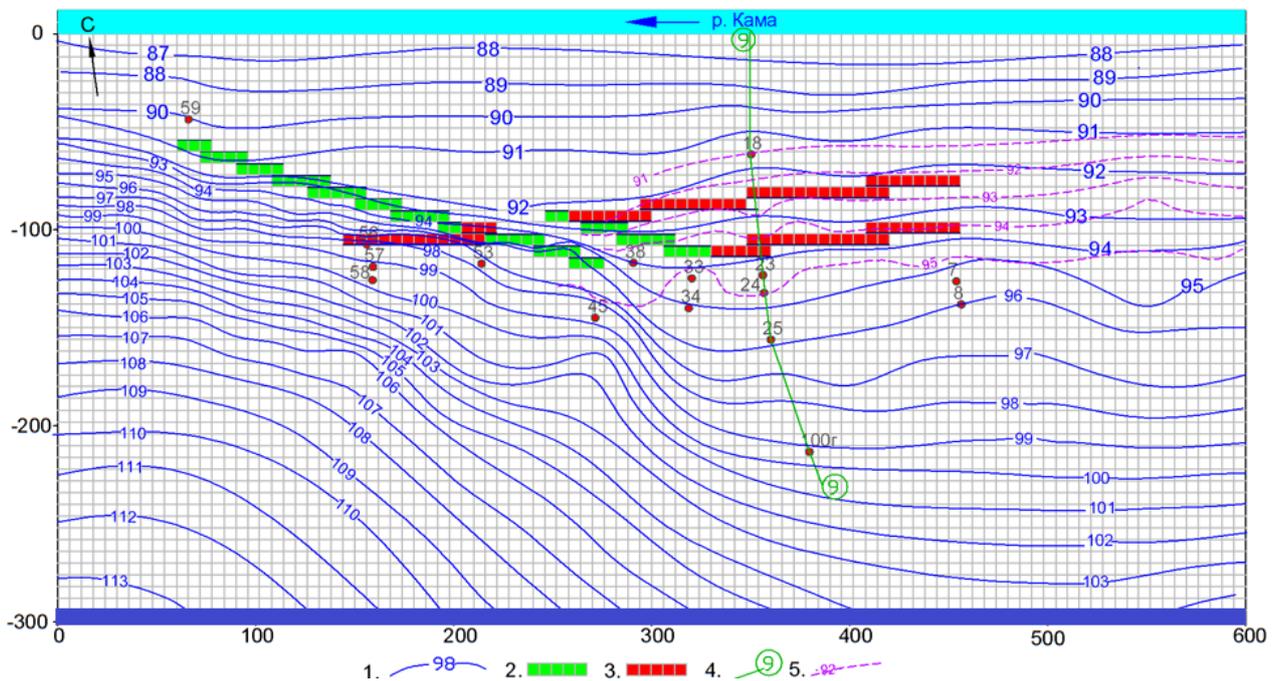


Рис. 7. Прогнозная модель изменения уровня подземных вод при заглублении фундамента проектных подпорных стенок до отметки 94,5 абс м. 1-линии равных напоров; 2-существующие подпорные стенки; 3-проектные подпорные стенки; 4- линия разреза; 5-изолинии естественного потока

Вариант 2. Продолжая модельные исследования зависимости величины подъема уровней подземных вод возле подпорных стенок от различного заглубления подошвы свайного ростверка, в данном расчетном варианте оценивается величина возможного превышения напоров относительно естественных при заглублении подошвы ростверка

до абсолютной отметки 94,5 м – усредненная абсолютная отметка залегания уровня подземных вод вблизи проектируемых подпорных стенок (рис. 7).

При заглублении подошвы свайного ростверка до абсолютной отметки 94,5 м происходит незначительное изменение картины фильтрационного потока. Подъем уровней подземных вод возле подпорных стенок не превышает 0,3-0,5 м относительно естественных уровней, рассчитанных при создании модели для построения гидроизогипс на гидрогеологической карте.

#### **Выводы**

1. На участке изысканий было пройдено 66 скважин, 20 шурфов, 43 точек статического зондирования, в результате смоделирована геология участка. Выделены генетические комплексы: верхнеплейстоценовые аллювиальные отложения II надпойменной террасы р. Камы ( $aQ_{III}$ ) и отложения коры выветривания песчаников и аргиллитов ( $P_2sl+ss$ ), с поверхности перекрытые техногенными отложениями ( $tQ_{IV}$ ).

2. В процессе исследования гидрогеологических условий территории (при проведении ОФР) были получены параметры коэффициенты фильтрации, проводимость пород и пьезопроводность.

3. При изучении существующих подпорных стенок был выявлен подпор воды в фундаменте одной из стенок, что может вызывать изменения свойств грунтового массива. В тех стенках где кладка фундамента нарушена вода циркулирует свободно не создавая дополнительного подъема уровня

4. В работе представлена гидродинамическая модель построенная в программном комплексе PMWin, используемая для реализации прогноза изменения уровня подземных вод при строительстве дополнительных подпорных стенок.

5. Дан прогноз изменения уровней подземных вод методом численного моделирования, при двух возможных сценариях. Первый вариант строительства (при заглублении фундамента до глубины 92,0 абс. м) приводит к некоторому изменению картины фильтрационного потока, что выражается в подъеме уровней подземных вод возле сооружений. Во втором случае (при заглублении фундамента до глубины 94,5 абс. м) подъем уровней подземных вод возле подпорных стенок не превышает 0,3-0,5 м относительно естественных уровней.

6. В результате прогноза рекомендуется при строительных расчетах использовать второй вариант так как, при заглублении подошвы свайного ростверка проектируемых подпорных стенок до уровня подземных вод, не перекрывая песчано-гравийные отложения аллювия (абсолютной отметке 94,5 м) действие барражного эффекта практически не наблюдается и отсутствует подтопление основной площадки земляного полотна.

#### **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.-Петерб. 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