

Санкт-Петербургский государственный университет

БУТЫРИН Дмитрий Владимирович

Выпускная квалификационная работа

Особенности изучения гидрогеологических условий при строительстве гражданских зданий и сооружений (на примере КНС «Заречная», Казань, Республика Татарстан)

Уровень образования:

Направление 05.04.01. «Геология»

Основная образовательная программа ВМ.5515. 2017 «Геология»

Профиль: *Гидрогеология*

Научный руководитель:

доцент кафедры гидрогеологии,

канд. геол.-минерал. наук

Виноград Наталия Анатольевна

Рецензент:

канд. геол.-минерал. наук

Трофимов Владимир Иванович

Санкт-Петербург

2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	1
1.ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕРРИТОРИИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ КНС «ЗАРЕЧНАЯ» И ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА.....	3
1.1. Административное положение.....	3
1.2. Геоморфология.....	5
1.3. Климатические условия.....	5
1.4. Гидрологическая характеристика района.....	6
1.5. Техногенные условия площадки строительства КНС.....	7
2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ.....	8
2.1. Общие сведения о геологическом строение района работ.....	8
2.2. Детальное геологическое строение района расположения КНС «Заречная». Построение геологической модели.....	16
3. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ.....	22
3.1. Общие гидрогеологические характеристики территории.....	22
4. АНАЛИЗ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ КНС «ЗАРЕЧНАЯ».....	24
4.1. Проведенный комплекс гидрогеологических работ.....	24
4.2. Интерпретация опытно-фильтрационных работ. Обоснование полученных фильтрационных параметров водоносных горизонтов.....	27
4.2.1. Схематизация гидрогеологических условий.....	27
4.2.2. Интерпретация одиночных откачек.....	29
4.2.3. Интерпретация кустовых откачек.....	41
4.2.4. Полученные фильтрационные параметры по результатам ОФР.....	68
5. ОЦЕНКА ВОДОПРИТОКА И РАСЧЁТ ДРЕНАЖНОГО КОНТУРА.....	70
6. ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА СООРУЖЕНИЯ.....	76
6.1. Расчёт просадок земной поверхности вследствие работы дренажного контура.....	76
6.2. Оценка прогнозов проявлений возможных суффозионных процессов.....	77
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	82
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	84

ВВЕДЕНИЕ

При проектировании и строительстве гражданских зданий и сооружений в условиях плотной городской застройки, подземные воды рассматриваются как фактор, осложняющий ведение строительных работ. В связи с этим, изучению гидрогеологических условий должна отводиться значительная роль. Очень важно заранее идентифицировать степень сложности инженерно-гидрогеологических условий в которых находится площадка строительства, оценить потенциальные технические трудности, которые могут возникнуть по причине недооценке влияния подземных вод, а также своевременно запланировать мероприятия по их устранению.

Как правило, при проведении инженерно-геологических изысканий для строительства, детальному исследованию гидрогеологических условий отводится второстепенное значение. В частности, в программу изысканий редко включают бурение специализированных гидрогеологических скважин и проведение в них опытно-фильтрационных работ, так как строгой нормативной базы, регулирующей аспект изучения инженерно-гидрогеологических условий в рамках проведения строительных изысканий на данный момент нету.

Целью данной выпускной квалификационной работы (ВКР) является анализ гидрогеологических условий района строительства канализационной насосной станции «Заречная», расположенной в г. Казани, республике Татарстан. На одном из этапов строительства главный колодец канализационной насосной станции был стремительно затоплен подземными водами по причине недооценке гидрогеологических условий района работ.

Для достижения указанной цели с учетом всех сложностей гидрогеологических условий площадки строительства, в данной работе автором были поставлены следующие задачи:

- изучение физико-географических условий района;
- общая региональная оценка геолого-гидрогеологического строения;
- детальное изучение геологического строения области расположения КНС (канализационной насосной станции). Построение высокодискретной геологической модели, учитывающей высокую литологическую неоднородность отложений;
- качественная оценка гидрогеологических условий территории;
- количественная оценка геофильтрационных параметров выделенных водоносных горизонтов на площадке строительства по результатам ОФО;

- обосновать гидрогеодинамическую схематизации, оценить величину водопритока и произвести аналитический расчёт системы дренажа с целью осушения затопленного котлована;

- произвести прогнозную оценку проявления возможных опасных инженерно-геологических процессов на площадке.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕРРИТОРИИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ КНС «ЗАРЕЧНАЯ» И ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА

1.1 Административное положение.

В территориально-административном отношении объект изучения находится в Российской Федерации, Республике Татарстан, городе Казани, Кировском районе, на перекрестке улиц Несмелова и Кожевенная.

Схема расположения объекта показана на Рисунках 1.1.1-1.1.2.



Рис.1.1.1 Административная карта расположения КНС «Заречная».



Рис.1.1.2. Схема расположения объекта на спутниковом снимке в г. Казань.

1.2 Геоморфология.

Район работ находится в пределах долины реки Волга. Территория характеризуется аккумулятивным рельефом. В геоморфологическом отношении участок приурочен ко II надпойменной террасе левобережья реки Волга. Северо-восточная часть площадки расположена вдоль границы старого русла р. Казанка.

Протяжённость города с севера на юг — 29 км, с запада на восток — 31 км. Город в западной, центральной и юго-западной части выходит на реку Волгу на протяжении около 15 км. В Казани имеется один мост через Волгу — у крайней западной границы территории города. Река Казанка протекает с северо-востока на запад через середину города и делит Казань на две соизмеримые по территории части — историческую к югу от реки и более новую заречную к северу. Две части города связаны пятью дамбами и мостами, а также линией метрополитена.

Характер рельефа города — равнинно-холмистый. В центральной части города есть низменные равнины Забулачье, Предкабанье, Закабанье, возвышенная равнина Арское поле и выделяются отдельные холмы — Кремлёвский (Кремлёвско-Университетский), Марусовский, Федосеевский, Первые Горки, Вторые Горки, Аметьево, Ново-Татарская Слобода, и другие. В направлении на юго-восток и восток территория города в целом

плавно повышается, и крупные жилые массивы Горки, Азино, а также Нагорный, Дербышки расположены на изовысотах 20-40 метров и выше, чем часть исторического центра, юго-западные районы и Заречье. В Заречье выделяется Зилантова гора, а также холмы посёлков на севере города. В разных местах имеются овраги и подобные им локальные вытянутые понижения местности.

В результате возведения в 1957г. Нижнезареченской защитной дамбы в целях предохранения от затопления, старое русло р. Казанка было отделено от основного и превратилось в застойную старицу (Ермолаев, 2007).

1.3 Климатические условия.

Климат г.Казани, в пределах которого расположен участок строительства КНС «Заречная» — умеренно-континентальный, сильные морозы и палящая жара редки и не характерны для города. Наиболее частыми ветрами являются южный и западный, штиль бывает в среднем 13 дней в году. Снежный покров умеренный, достигает своей максимальной высоты в феврале и марте — 38 см. Количество ясных, облачных и пасмурных дней в году — 40, 169 и 149 соответственно. Наиболее облачным месяцем является ноябрь, наименее облачные — июль и август. Осенью и весной бывают туманы, всего 16 дней в году. Средняя температура летом +17...20 °С, зимой — -9...12 °С. Продолжительная жара побила рекорд по температуре в июле, а затем и в августе 2010 года: 1 августа температура достигла +39,0 °С в тени. Рекорд минимума был установлен 21 января 1942 года (-46,8 °С). Наибольшая возможная высота снежного покрова-150 сантиметров. Среднегодовая скорость ветра составляет 3,6 м/с, а влажность воздуха — 75 %. Погода с устойчивой положительной температурой устанавливается, в среднем, в конце марта — начале апреля, а с устойчивой средней температурой ниже нуля — в конце октября — начале ноября. Большая часть атмосферных осадков выпадает с июня по октябрь, максимум их приходится на июнь, а минимум — на март. В течение года среднее количество дней с осадками — около 197 (от 11 дней в мае до 24 дней в декабре). Самым дождливым месяцем был июнь 1978 года, когда выпало 217 мм осадков (при норме 70 мм). Самыми засушливыми месяцами были февраль 1984 года, август 1972 года и октябрь 19 года, когда в Казани не наблюдалось осадков вообще. Нижняя облачность составляет 4,1 балла, общая облачность — 6,7 балла. (электронный ресурс, <https://ru.wikipedia.org/wiki/Казань>).

Таблица 1.3.1.

Максимальная и минимальная среднемесячная температура в г.Казань.

Максимальная и минимальная среднемесячная температура												
Месяц	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек
Самый тёплый, °С	-3,2	-2,4	0,2	11,3	18,4	23,1	25,9	24,6	17,4	8,4	2,1	-2,4
Самый холодный, °С	-22,0	-21,6	-13,4	-2,0	6,4	12,9	15,2	13,4	6,5	-2,5	-10,8	-21,8

1.4 Гидрологическая характеристика района.

Территория города характеризуется очень значительной долей водных поверхностей. Полоса части акватории Волги шириной более 2 км (вдоль западной границы города), а также преимущественно мелководные окончание и новое устье реки Казанка шириной около 1 км (полностью внутри территории города) сформировались при появлении Куйбышевского водохранилища в середине XX века вместо в разы более узких природных ширин рек. Также в число водных поверхностей города входят: начинающаяся в центре города и идущая на юг система из трёх крупных озёр Кабан — Нижний (Ближний), Средний, Верхний (Дальний), меньшие озёра на периферии Лебяжье, Глубокое, Голубые и т. д., малые водоёмы в разных местах (в том числе необычные посреди кварталов многоэтажного массива Новое Савиново), рукотворные озёра Изумрудное, Комсомольское, канал Булак в центре города, небольшие реки Нокса, Сухая Река, и другие на периферии. От бывшего устья реки Казанка осталась небольшая старица. В акватории Волги имеются небольшие острова Маркиз и другие. В юго-восточной и восточной части Заречья у реки Казанка есть заболоченные незначительные нестабильные островки и заливные пойменные луга. Вдоль берегов Волги и Казанки в ряде мест имеются дамбы гидрозащиты. Уровни Волги и Казанки в городе временами колеблются до нескольких метров в зависимости от времени года и некоторых отдельных лет в целом и очень сильно зависят от деятельности Волжской ГЭС (фактически определяются ею). В частности, летом 2010 года рекордное понижение уровня воды

водохранилища от средних за полвека значений сильно обнажило берега Волги и временно сузило окончание и устье Казанки практически до природных ширин (География и экология Республики Татарстан, 2003).

1.5 Техногенные условия площадки строительства КНС.

Район работ испытывает высокую степень техногенной нагрузки и представляет собой город с развитой инфраструктурой. Объект расположен в промышленной зоне с технологическими сооружениями, путевыми линиями железных и автомобильных дорог, со специфической для промышленной зоны сетью инженерных коммуникаций, с негустой застройкой административными и производственными зданиями. Зоны плохой видимости присутствуют и представляют собой частный сектор с густой и неухоженной растительностью. Подъезд к объекту возможен в любое время года. В непосредственной близости от площадки строительства расположены: трехэтажное здание (ул. Кожевинная д 10), девятиэтажный жилой дом (ул. Широкая д 2), здание Речного колледжа (ул. Кожевинная д 7).

Поверхность площадки относительно ровная, и характеризуется абс. отметками в пределах 52,95 – 54,00 м БС.

В процессе строительства канализационной насосной станции для удобства работ, ландшафт территории работ был выровнен, поэтому является техногенным (селитебно-промышленный) (Технический отчёт по инженерно-геологическим изысканиям.... «СПЕЦСТРОЙПРОЕКТ» 2013).

2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

2.1 Общие сведения о геологическом строении района работ.

Территория города Казань расположена в пределах северо-западной части Государственной геологической карты Российской Федерации N-39-III. Область листа расположена в центральной части Волго – Уральской антеклизы и занимает южную часть Казанско-Кажимского прогиба и западный склон Северо-Татарского свода. В геологическом строении территории участвуют архейские и нижнепротерозойские метаморфические и магматические образования кристаллического фундамента, палеозойские (девонские, каменноугольные, пермские) и кайнозойские (неогеновые и почти повсеместно распространенные четвертичные) отложения осадочного чехла. Мощность чехла возрастает в западном и северо-западном направлениях от 1649 м на своде до 2064 м в прогибе. Отложения верхней перми и кайнозоя участками обнажены (Милановский Е.Е, 1996).

Непосредственно г.Казань и соответственно КНС «Заречная», находятся в северо-западной части геологической карты N-39-III, Рисунок 2.1.1.

Архей

Кристаллический фундамент в пределах г.Казань представлен сложным комплексом метаморфических и интрузивных пород архейского и раннепротерозойского возраста. Поверхность его залегает на глубинах до 2064 м. Абсолютные отметки поверхности от минус 1900 м, до минус 2054 м. По расчетам гравимагнитных аномалий (Н.Д.Алексеев, 1988 г., 1991 г., 1992 г.) поверхность фундамента погружается на юго-западе листа ниже абс. отметки минус 1950 м.

Породы архейского возраста подвергнуты региональному метаморфизму, проявившемуся в амфиболитовой и гранулитовой фациях. Эффузивно-осадочные толщи преобразованы в пироксеновые гнейсы и амфиболиты во временном интервале 3100–2500 млн. лет. По песчано-алевритово-глинистым породам сформировались биотит-плагиоклазовые и биотит-гранатовые гнейсы. Породы интенсивно дислоцированы. В архее неоднократно проявлялся интрузивный магматизм с формированием массивов ультраосновного и основного состава, а также многочисленных гранитоидов (плагиоклазовые граниты, гранодиориты, кварцевые диориты и др.). Приуроченность гранитоидов к зонам регио-нального диафтореза архейских гранулитовых комплексов и U-Pb датировки изотопного возраста плагиогранитов (2709–2593 млн. лет), позволяют считать возраст гранитоидов позднеархейским.

Кристаллические породы фундамента в верхней части выветрелые, участками с корой выветривания каолинитового и каолинит-гидрослюдистого состава, мощностью до 7 м (Кириков В.П, 2003 г).

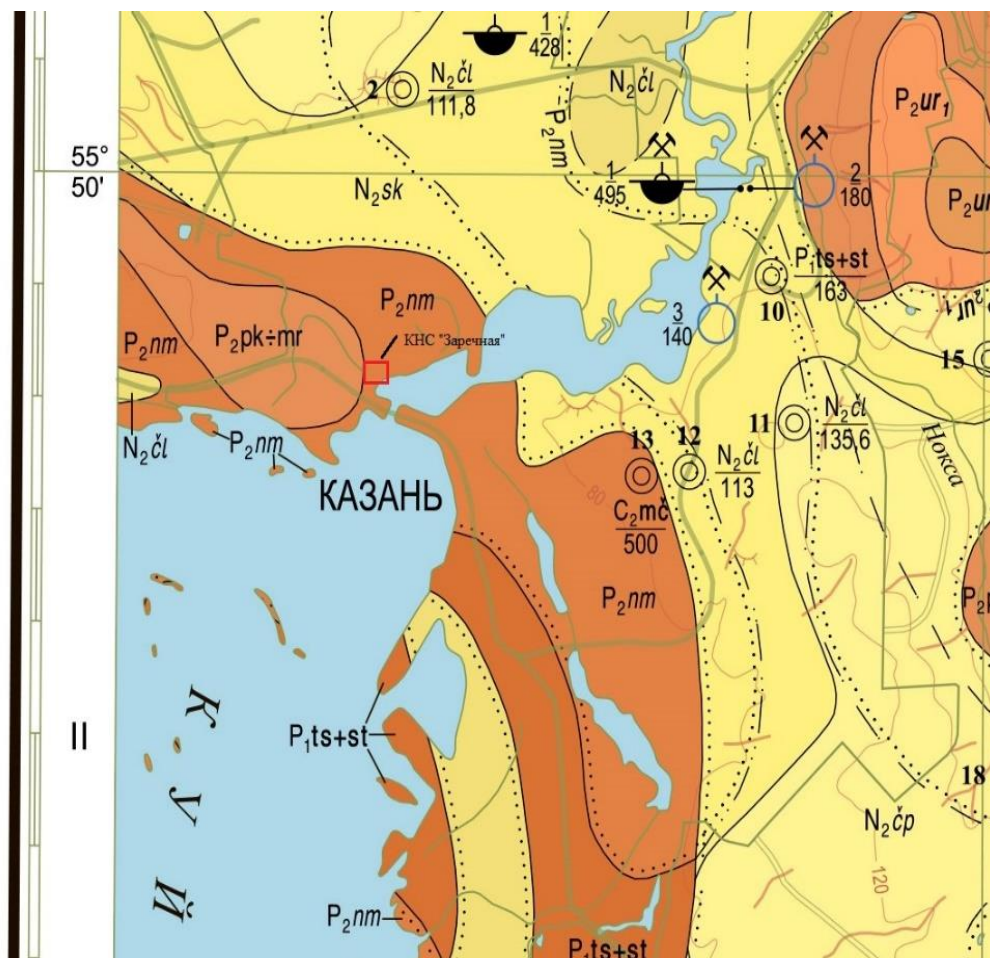


Рис.2.1.1. Фрагмент Государственной геологической карты Российской Федерации дочетвертичных образований N-39-II.

Девонская система

Девонские отложения развиты на территории повсеместно, залегают на породах архея и нижнего протерозоя со стратиграфическим и угловым несогласием и согласно перекрываются каменноугольными образованиями. Мощность девонского разреза в пределах северо-западной части области карты 900-950 м.

Средний отдел (D₂).

Среднедевонские отложения относятся к эйфельскому и живетскому ярусам. Наиболее полные разрезы среднего девона встречаются в пределах Южно-Татарского свода и восточной части Северо-Татарского свода.

Эйфельский ярус (D_{2ef}). Отложения сложены в нижней части разнозернистыми кварцевыми песчаниками и алевролитами, в верхней – глинистыми и органогенно-обломочными известняками и доломитами. В терригенной пачке определен комплекс спор, в карбонатных прослоях встречаются раковины остракод. Мощность яруса достигает 38 м.

Живетский ярус (D_{2žv}). Сложены песчаниками кварцевыми слабосцементированными с прослоями аргиллитов, глинистых известняков и доломитов; иногда встречаются угли, стяжения сидеритов, фосфоритов. В карбонатах присутствуют брахиоподы, табуляты, остракоды, в терригенных отложениях – споры. Мощность яруса до 170 м.

Верхний отдел (D₃).

Верхнедевонские отложения развиты на территории повсеместно; включают франский и фаменский ярусы.

Франский ярус (D_{3f}) залегает с небольшим размывом на среднедевонских отложениях. В нижней части встречаются песчаники светло-серые мелкозернистые кварцевые, глины темно-серые, алевролиты, прослои известняков с брахиоподами. Вверху преобладают известняки темно-серые глинистые битуминозные и окремнелые, мергели глинистые и горючие сланцы с гониатитами, брахиоподами, конодонтами, остракодами, пелециподами, тентакулитами, гастроподами, водорослями. Мощность яруса до 300 м.

Фаменский ярус (D_{3fm}). Фаменские отложения залегают с размывом на породах франского яруса и представлены темно-серыми глинистыми известняками с прослоями доломитов, битуминозных сланцев, мергелей, местами встречаются гнезда и включения ангидритов. Органические остатки: фораминиферы, брахиоподы, конодонты, кораллы, остракоды, водоросли. Глубина до кровли яруса составляет около 1250 м (Кириков В.П., 2003 г).

Каменноугольная система

Каменноугольные отложения распространены на территории повсеместно, залегают на девонских с стратиграфическим несогласием и согласно перекрываются пермскими образованиями. Каменноугольный разрез, в пределах г. Казань, имеет общую мощность около 1000 м. Система в Республике Татарстан относительно детально изучена скважинами нефтяного, структурного и картировочного бурения. По палеофаунистическим и литолого-фациальным характеристикам подразделяется на три отдела. Характерной особенностью каменноугольных отложений является преобладание карбонатных пород.

Нижний отдел (C1):

Нижний отдел включает турнейский, визейский и серпуховский ярусы.

Турнейский ярус (C1t) залегает согласно на фаменских отложениях. Отложения яруса распространены повсеместно и сложены известняками серыми или темно-серыми битуминозными глинистыми с прослоями доломитов, аргиллитов, глин. Фауна представлена фораминиферами, брахиоподами, остракодами, водорослями. Мощность яруса достигает 200 м.

Визейский ярус (C1v). Отложения яруса известны на всей территории Республики Татарстан, они залегают согласно на образованиях турнейского яруса. В нижней части яруса преобладают терригенные породы: аргиллиты темно-серые плитчатые, алевролиты, песчаники кварцевые, глины с прослоями углей и углистых сланцев. В верхней части яруса доминируют карбонатные породы: известняки темные глинистые с прослоями мергелей, доломитов, глин. В аргиллитах найдены гониатиты, остракоды, обломки раковин брахиопод, остатки рыб, спикулы губок, споры; в карбонатных прослоях определены фораминиферы и брахиоподы, встречаются кораллы. Мощность визейских отложений достигает 300 м.

Серпуховский ярус (C1s). Основание яруса фиксируется несколькими прослоями брекчий с широким развитием кавернозности, наличием трещиноватости, включениями гипса и ангидрита. Серпуховские отложения представлены доломитами, известняками серыми глинистыми органогенными с кораллами, брахиоподами, криноидеями, конодонтами, в верхней части яруса – доломитами и известняками светло-серыми сахаровидными. Для отложений серпуховского яруса характерно развитие стилолитовых поверхностей, выполненных зелеными глинами, закарстованности и трещиноватости. Мощность яруса достигает 135 м.

Глубина залегания кровли отдела около 850 м.

Средний отдел (C2):

Среднекаменноугольные отложения представлены башкирским и московским ярусами.

Башкирский ярус (C2 b). В пределах северо-западной части карты башкирские отложения пользуются широким распространением. Они несогласно залегают на закарстованной поверхности сахаровидных доломитов и известняков серпуховского яруса, повсеместно в основании яруса наблюдается присутствие известняковых конгломератов. Отложения яруса представлены известняками светло-серыми, иногда оолитовыми, с прослоями доломитов. Палеонтологические остатки представлены фораминиферами, брахиоподами, конодонтами, кораллами, водорослями, криноидеями, изредка встречаются

отпечатки наземных растений. По геофизическим данным отложения яруса фиксируются повышенными сопротивлениями с отрицательной аномалией на кривых спонтанной поляризации (репер Rp–C₂–a). Мощность до 60 м.

Московский ярус (C_{2m}) распространен на территории повсеместно, залегая на размытой поверхности образований башкирского яруса. В основании яруса наблюдаются базальные конгломераты из гальки карбонатных пород и обломков крупных брахиопод. В нижней части яруса развиты красно-бурые и зеленовато-серые песчаники, алевролиты и глины с прослоями обломочных и органогенных известняков. Вверху – светло-серые известняки и известковистые доломиты, участками оолитовые с линзами гипса и ангидрита. Органические остатки разнообразны и представлены фораминиферами, брахиоподами, конодонтами, кораллами, криноидеями. Мощность до 400 м.

Средняя глубина до кровли среднего отдела составляет около 400 м.

Верхний отдел (C₃):

Верхний отдел представлен касимовским и гжельским ярусами.

Касимовский ярус (C_{3k}) согласно залегает на породах среднего карбона и сложен известняками, доломитами с редкими прослоями известковистых мергелей и глин. К нижней границе приурочен прослой глин, который фиксируется на электрокаротажных диаграммах низкими сопротивлениями. Органические остатки представлены фораминиферами, брахиоподами, конодонтами, кораллами, криноидеями. Мощность до 120 м.

Гжельский ярус (C_{3g}). Гжельские отложения повсеместно распространены на территории Республики Татарстан. Нижняя граница проводится в толще карбонатных пород и устанавливается по изменению фауны фораминифер. В геолого-разведочной практике в основном используются электрокаротажные данные и границу проводят условно по реперу Rp–C₃–a, характеризующемуся пониженными значениями сопротивлений. Слагают гжельский ярус известняки и доломиты светло-серые, часто загипсованные, прослоями органогенные, с редкими промазками зеленоватых глин. Комплекс органических остатков представлен фораминиферами, конодонтами, криноидеями; реже встречаются брахиоподы и кораллы. Мощность яруса изменяется от 30 до 150 м (Кириков В.П., 2003 г).

Глубина залегания кровли каменноугольной системы около 230 м.

Пермская система

Пермская система в районе западной части города Казань представлена двумя отделами – Приуральским (P₁), в который входит ассельский, сакмарский ярусы, и

Биармийским отделом (P_2), представленным казанским ярусом – немдинским горизонтом (P_{2nm}).

Приуральский отдел (P_1):

Ассельский ярус (P_{1a}). Отложения согласно залегают на верхнекаменноугольных породах. В пределах положительных тектонических структур на границе гжельского и ассельского ярусов наблюдаются признаки размыва: закарстованность, линзы, прослой конгломератов и брекчий. Ассельские отложения на поверхность не выходят в пределах Республики Татарстан. Мощность на исследуемой территории составляет около 80. Ярус сложен доломитами и известняками с прослоями ангидритов и гипсов. В нижней части яруса доломиты прослоями глинистые и алевритистые, тонкослоистые. Мощность пластов доломитов до 20 м. Известняки характерны для нижней части разреза. Гипсы и ангидриты прослоями до 1-3 м, редко до 5-8 м, встречаются в основном, в верхней половине разреза яруса. Фауна в ассельских отложениях представлена фораминиферами, брахиоподами, кораллами, криноидеями, водорослями. Повышение радиоактивности (до 8-10 мкР/ч) в верхней части разреза ассельского яруса, при сравнительно низких значениях КС, осложненных четко выраженным максимумом и резкое увеличение удельных сопротивлений в вышелегающих сакмарских отложениях позволяет использовать границу ассельского и сакмарского ярусов в качестве основного маркирующего горизонта (ОМГ) при структурно-поисковом бурении. Глубина залегания кровли яруса около 140 м.

Сакмарский ярус (P_{1s}) на территории г. Казань распространен повсеместно. Отложения яруса залегают согласно на ассельских отложениях. В некоторых местах долины рек Волги, Камы, Вятки сакмарские породы залегают под неогеновыми и четвертичными напластованиями. Сакмарский ярус представлен доломитами, ангидритами и гипсами. Мощность прослоев сульфатов достигает 8 м. В восточном направлении роль доломитов возрастает; здесь появляются прослой и пласты известняков. На востоке республики ярус практически полностью сложен карбонатными породами, причем верхняя часть его разреза представлена, преимущественно, известняками. Органические остатки в карбонатах представлены фораминиферами, брахиоподами, кораллами, пелециподами, гастроподами. Мощность яруса в пределах исследуемой области около 80 м. Глубина до кровли 70-90 м.

Биармийский отдел P_2 , казанский ярус:

Казанский ярус (P_{2kz}). Отложения яруса наиболее широко представлены в современном эрозионном срезе. Нижняя граница казанского яруса проводится по изменению состава пород, фауны и флоры. Морские терригенно-карбонатные и карбонатные отложения казанского яруса залегают с размывом на закарстованной

поверхности карбонатных и карбонатно-сульфатных образований ассельского, сакмарского ярусов. Казанский ярус на западе представлен в основном морскими образованиями и характеризуется разнообразной фауной фораминифер, брахиопод, наутилоидей, конодонтов, кораллов, пеллеципод, гастропод, мшанок. Мощность, глубина залегания в пределах г. Казань изменяется в относительно широких пределах, планово связанными с эрозионными врезами неогеновых и четвертичных отложений. На исследуемой территории казанский ярус представлен немдинским горизонтом, который детально будет описан в последующих главах (Кириков В.П., 2003 г).

Неогеновая система

Неогеновые отложения в пределах города представлены образованиями аллювиального, реже - аллювиально-озерного и озерно-болотного происхождения, которые формировались в позднем неогене (плиоцене). Отложения неогеновой системы представлены только образованиями верхнего отдела (плиоценом), хотя не исключено присутствие раннеогеновых (миоценовых) образований, относящихся к понтскому региоярису (N₁-2p). Неогеновые отложения пользуются весьма широким распространением. В западной части переуглубления палеодолин сложены песками и гравийно-галечными отложениями с прослоями глин, в восточной части – преимущественно глинами с прослоями алевролитов и песков. Стратиграфическое расчленение неогеновых отложений базируется на палеомагнитных, палинологических, макро- и микрофаунистических, палеокарпологических и других данных (Кириков В.П., 2003 г).

Четвертичная система

Образования четвертичного периода (квартера) повсеместно распространены на территории Республики Татарстан, отсутствуя лишь на обрывистых склонах речных долин. Они покрывают пермские, мезозойские, неогеновые отложения и характеризуются значительным разнообразием, сложностью строения, большой пестротой фациального и литологического состава, изменчивостью мощностей. Формирование четвертичных образований определялось строением рельефа, составом подстилающих пород, характером новейших тектонических движений, а также климатическими особенностями. Четвертичные отложения представлены исключительно континентальными образованиями. Высказывавшиеся ранее предположения о былом распространении на территории древнего оледенения большинством исследователей не подтверждаются.

Четвертичные образования относятся к аллювиальному, озерно-аллювиальному, элювиально-делювиальному, эоловому, болотному и техногенному генетическим типам, занимая значительные площади на левобережье р. Волга, правобережье р. Кама и в долинах

рек Казанка, Меша. Образования квартера имеют мощность от первых сантиметров до 120 м. Наиболее широким возрастным диапазоном и самыми значительными мощностями обладают аллювиальные отложения. Почти повсеместно распространены маломощные почвенно-элювиальные образования, широко развиты склоновые делювиальные, пролювиальные и солифлюкционные отложения, локально развиты эоловые, озерные и болотные осадки (Кириков В.П, 2003 г).

Детальное описание четвертичных отложений в пределах площадки строительства КНС «Заречная» присутствует в последующих главах.

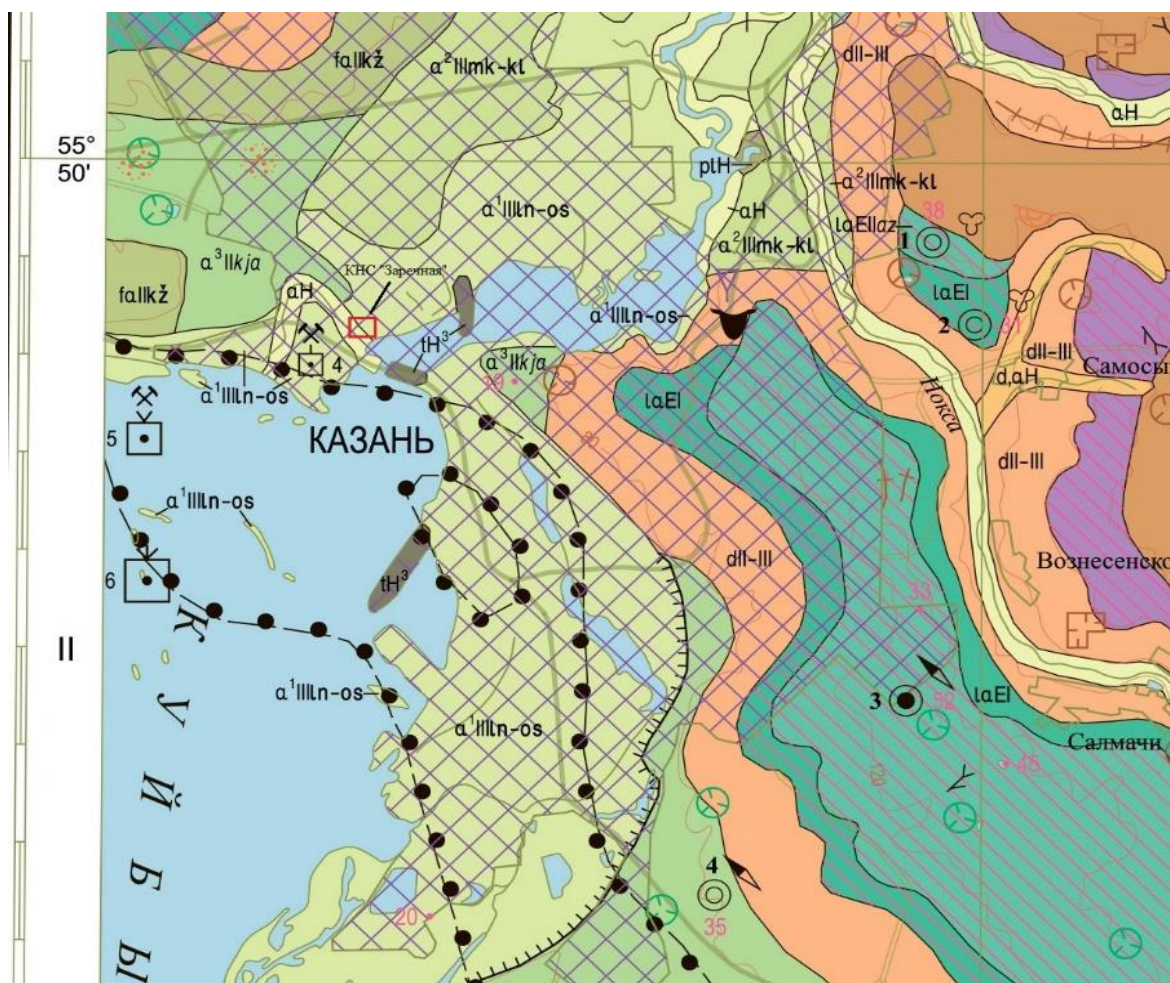


Рис.2.1.2. Фрагмент Государственной геологической карты Российской Федерации четвертичных образований N-39-П.

2.2 Детальное геологическое строение района расположения КНС «Заречная». Построение геологической модели.

Изученность инженерно-геологических условий.

Инженерно-геологические изыскания были проведены с целью получения детальной информации о геологическом строении территории строительства канализационной насосной станции. При проведении инженерно-геологических изысканий были пробурены инженерно-геологические скважины, исследованы отложения четвертичной системы, и верхняя часть коренных отложений, представленные немдинским горизонтом Казанского яруса (P_2kz). Бурение сопровождалось отбором образцов выделенных инженерно-геологических элементов с различных глубин (Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий..... ООО «ПРОГЕО» 2017).

Наибольшая глубина бурения составила 63,3 м. Отложения четвертичного возраста представлены голоценовыми аллювиальными отложениями (аН), которые перекрывают коренные породы немдинского горизонта на глубинах от 62,7 до 28,5 м. Широкая вариация глубин границы аН и P_2nm (немдинский горизонт) на относительно небольшой площади, а так же построение геологического разреза по результатам бурения на исследуемой территории, указывает на наличие долины р.Казанка в пределах площадки строительства КНС «Заречная». Данное предположение подтверждается расположением в непосредственной близости (около 100 м) старицы старого русла р.Казанка. При наложении территориально-административных карт, построенных в начале - середине 20 века (на которых отсутствовало водохранилище в пределах города) на современные спутниковые снимки территории работ, также подтверждается факт расположения в этой области старого русла реки.

По результатам изысканий в четвертичных отложениях были выделены 8 инженерно-геологических элементов на основе физических и физико-механических характеристик. При менее детальном расчленении этих отложений, можно выделить 5 литологические разности:

- насыпной грунт, суглинки (средняя мощность 5-6 м);
- супеси с прослоями песка пылеватого, иногда суглинков (мощность 7,5-22,5 м);
- пески пылеватые, мелкозернистые (мощность 12,0-14,5 м);
- пески средней крупности (мощность 4,1-20,4 м);
- пески крупнозернистые (мощность 0,5-5,4 м).

В целом, четвертичные отложения характеризуются высокой литологической неоднородностью, но можно выделить некоторые закономерности в скважинах: сосредоточение супесей, суглинков, пылеватых и мелких песков до глубин с абс. отметками

30,5-35,0 (13,0) м; увеличение гранулометрического состава песков в нижней части разреза вплоть до контакта с породами немдинского горизонта; наличие прослоя суглинка мощностью 0,4-2,0 (9,4) м между этими двумя фациальными зависимостями.

При анализе образцов пород немдинского горизонта, была выделена зона палеовыветривания, которая представлена щебнистом грунтом песчаника тонкозернистого с карбонатно-глинистым заполнителем (мощность зоны от 7-15 м). Под корой выветривания залегают трещиноватые скальные породы – алевриты, песчаники. Подошва вскрыта не была, максимальная мощность коренных отложений в пределах бурения скважин данных изысканий составила 18,5 м (Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий..... ООО «ПРОГЕО» 2017).

По результатам инженерно-геологических изысканий, проведенных на территории, можно сделать вывод, что по инженерно-геологическим условиям, согласно СП 11-105-97 часть I, территория работ относится к III категории сложности (сложные условия). Данное условное деление по «сложности» можно рассматривать как качественная оценка условий, учитывающая комплекс различных факторов. Наиболее важный анализ территории строительства КНС «Заречная» должен быть сделан учитывая сложные инженерно-гидрогеологические характеристики геолого-гидрогеологической структуры, и геотехнические особенности взаимодействия самого инженерного сооружения с сложной гидрогеологической средой.

Высокую неоднородность литологического состава аллювиального водоносного горизонта, изменчивую мощность отложений на относительно небольшой площади исследования, а также разную глубину залегания кровли немдинского водоносного горизонта в пределах площадки строительства, целесообразно отразить в виде трехмерной геологической модели.

По результатам моделирования были построены геологические разрезы с указанием литологии, а также была создана высокодискретная трехмерная геологическая модель. Интерполяции плановой и профильной пространственной неоднородности различных литологических разностей была выполнена методом геостатистики – «Lateral Blending» (рисунки 2.2.1- 2.2.7) (Геостатистика: теория и практика, 2010).

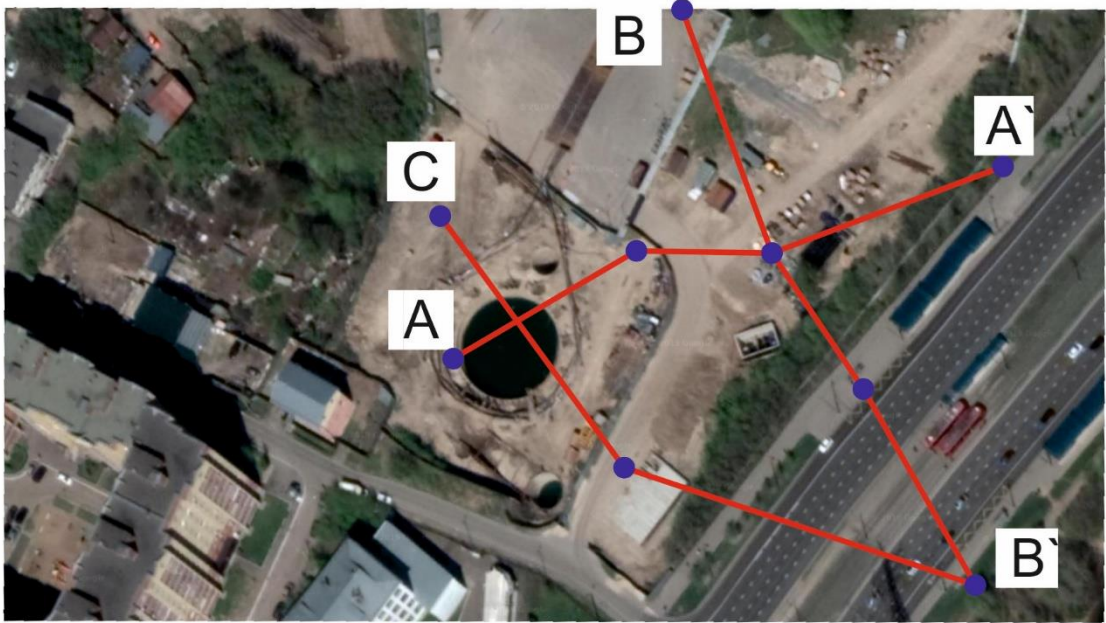


Рис. 2.2.1. Линии разрезов.

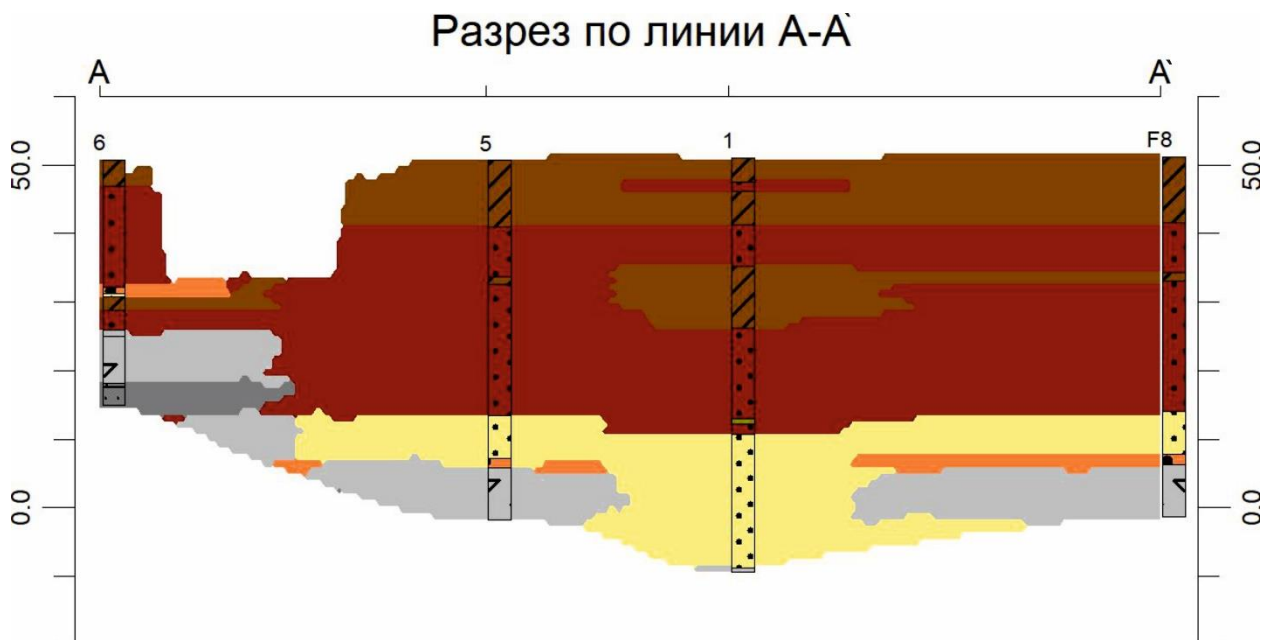


Рисунок 2.2.2. Разрез по линии A-A'.

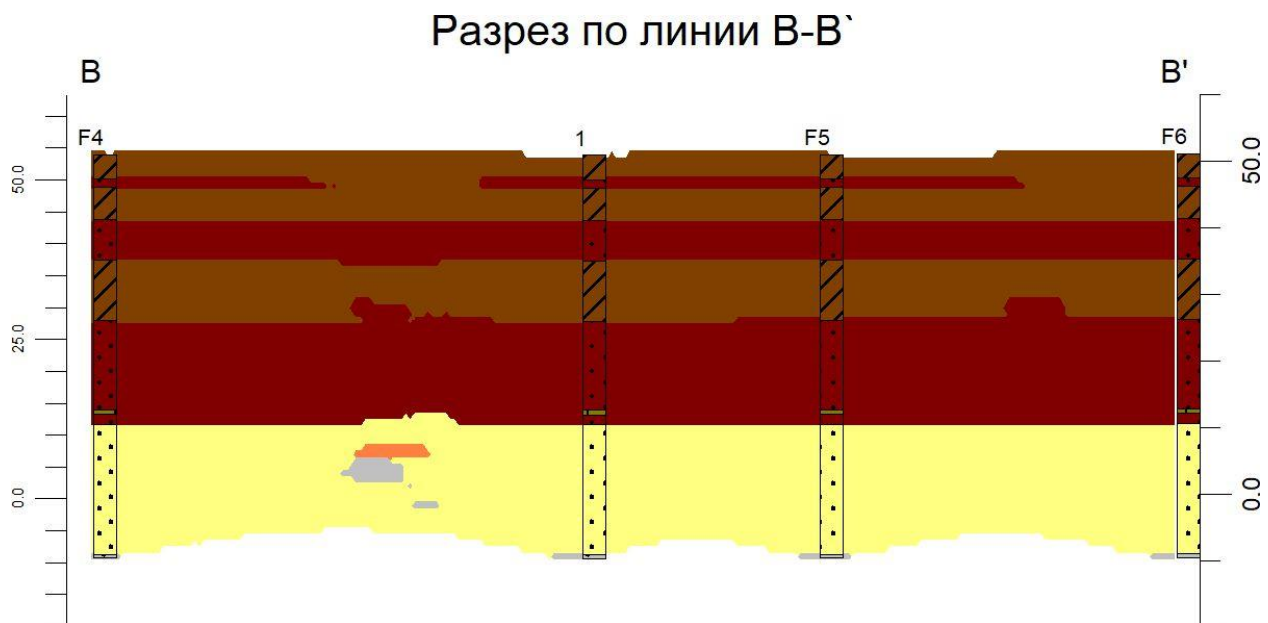


Рисунок 2.2.3. Разрез по линии В-В`.

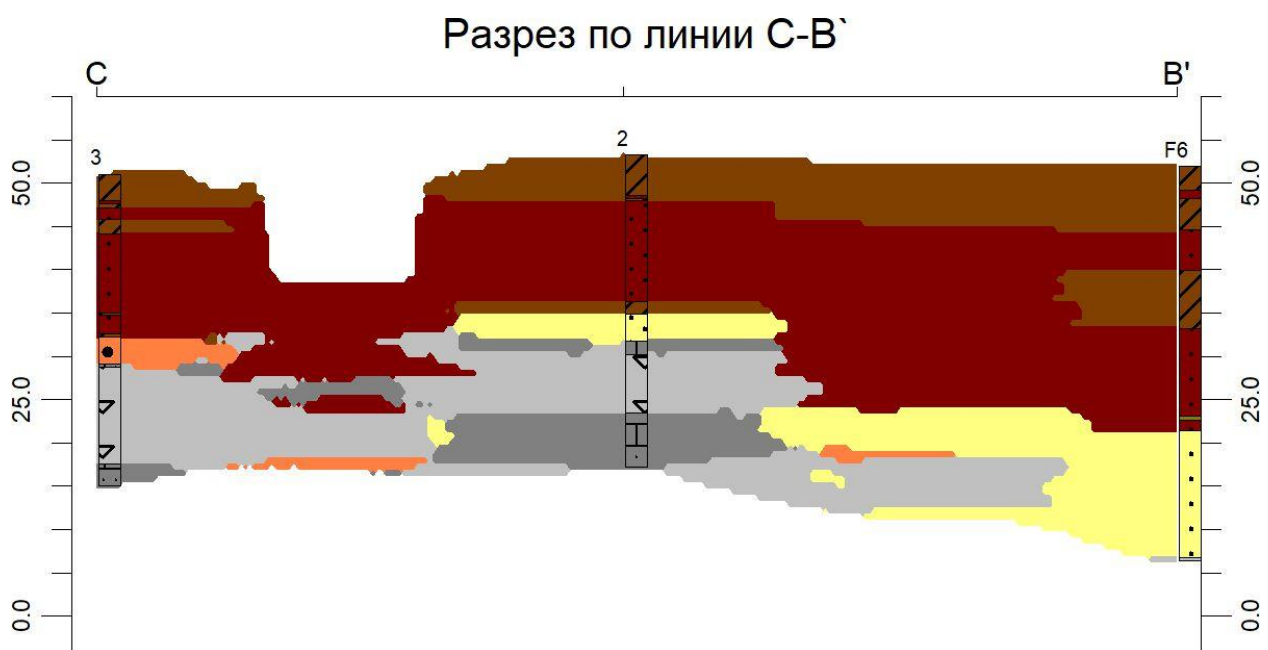


Рисунок 2.2.3. Разрез по линии С-В`.

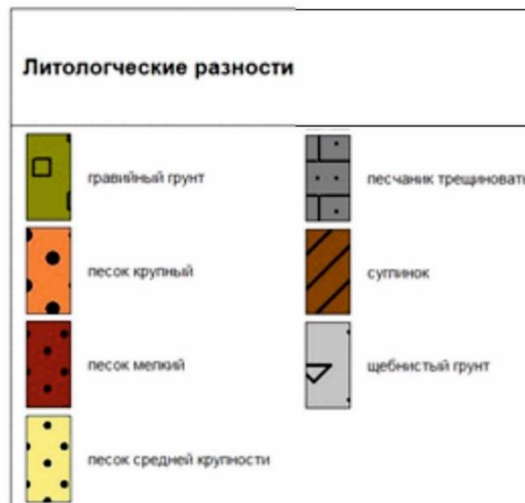


Рисунок 2.2.4. Литологические различия представленные на разрезах.

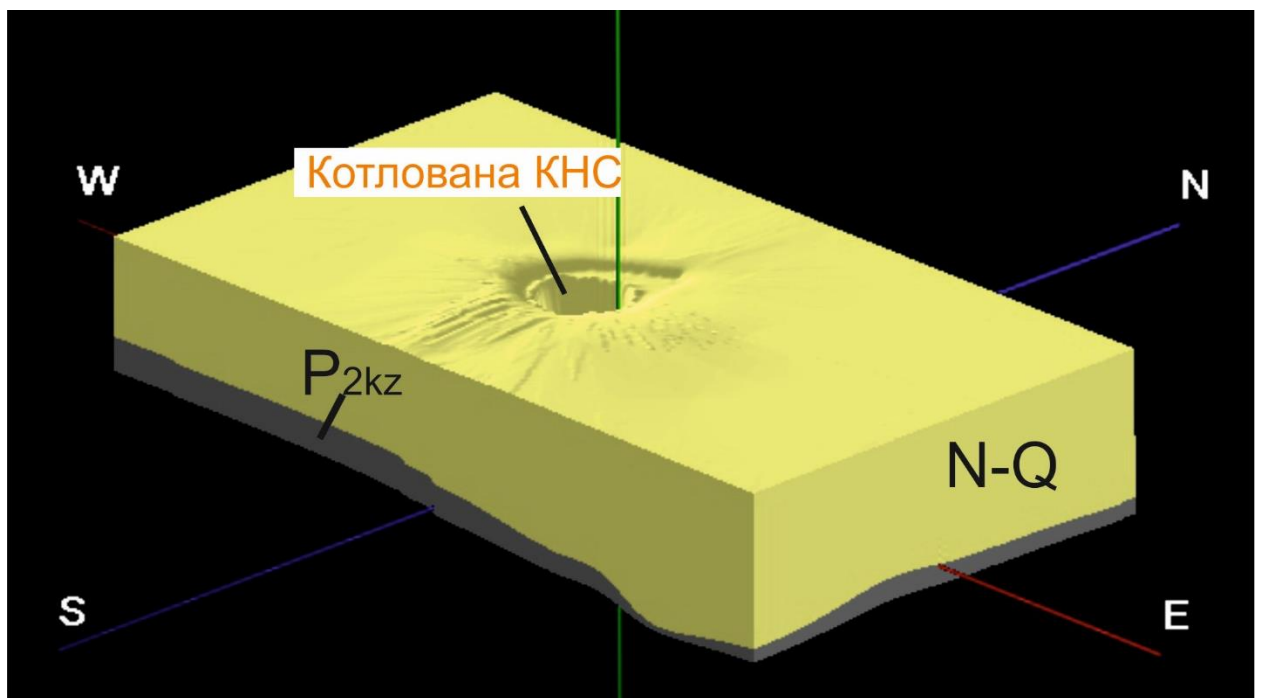


Рисунок 2.2.5. Геологическая модель. Разбивка по стратиграфическим границам. Серым показаны коренные отложения (трещиноватый песчаник, щебнистый грунт).

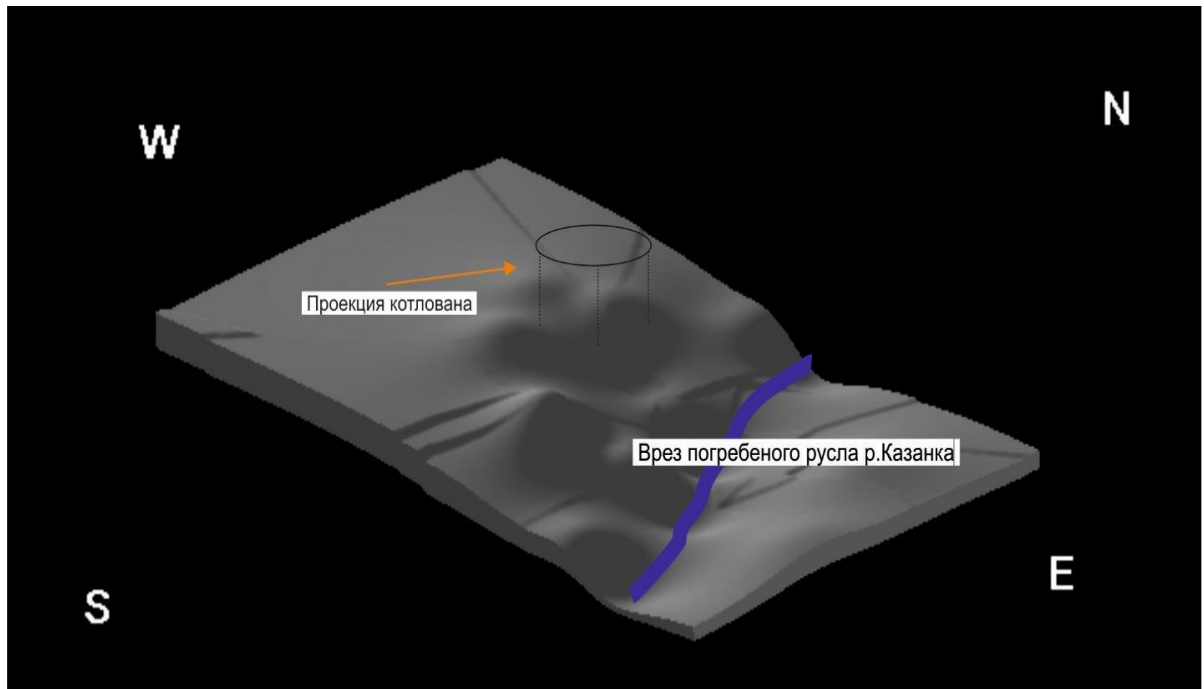


Рисунок 2.2.6. Геологическая модель. Трехмерная поверхность кровли казанского терригенно-карбонатного комплекса (P_2 kz).

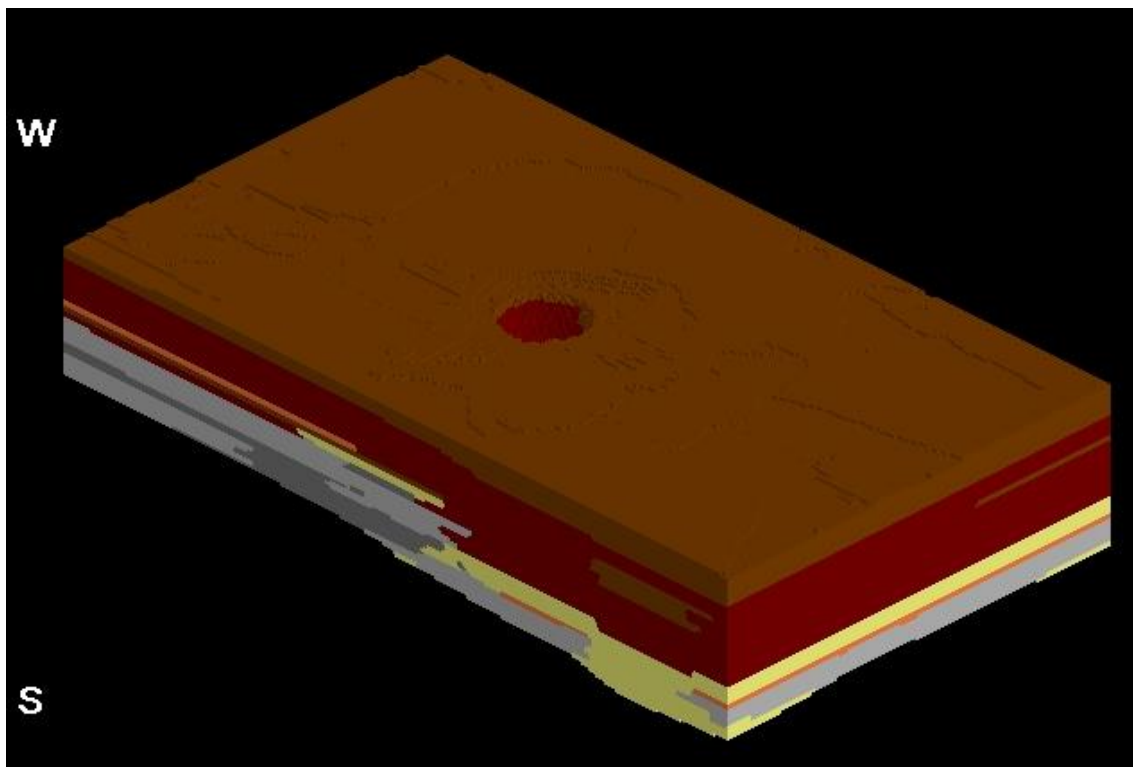


Рисунок 2.2.7. Геологическая модель. Трехмерная изображение литологической неоднородности.

3. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ

3.1 Общие гидрогеологические характеристики территории.

Город Казань, согласно гидрогеологическому районированию РФ, входит в область Волго-Сурского артезианского бассейна платформенного типа. Под артезианскими бассейнами платформенного типа следует понимать бассейны, связанные с отрицательными структурами платформ (плиты, синеклизы), предгорными прогибами и краевыми синеклизами. Выделение в качестве единого типа бассейнов, связанных в данном случае со структурами различного типа, оправдано рядом общих закономерностей строения геологического разреза, определяющих основные условия залегания и региональную динамику подземных вод. Внутренний структурный план артезианский бассейнов определяется положением и развитием более мелких форм, к которым в пределах древних платформ могут быть отнесены своды, валы (мегавалы), локальные поднятия, купола, а также разделяющие их депрессии (впадины, прогибы и др.).

Особенностью строения разреза артезианского бассейна является наличие слоистых толщ слабодислоцированных, преимущественно осадочных (реже вулканогенно-осадочных и вулканогенных) пород различного генезиса и состава. В связи с этим разрез бассейна всегда представляет собой многократное чередование стратифицированных гидрогеологических элементов, в качестве которых рассматриваются водоносные слои, горизонты, комплексы, реже водоносные серии, а также относительно слабопроницаемые водоупорные слои, пласты и толщи горных пород. Кроме выделения собственно водоносных элементов (горизонт, комплекс и др.) при расчленении разреза бассейна во многих случаях наиболее важным является определение положения регионально распространенных и относительно выдержанных слабопроницаемых (водоупорных) разделов, изолирующих смежные элементы гидрогеологического разреза. Именно наличие таких разделов является причиной, а фиксируемые различия пьезометрических напоров, состава и минерализации подземных вод и т.д. — следствием гидродинамической разобщенности смежных водоносных элементов гидрогеологического разреза (Всеволожский В.А, 2007).

Закономерности формирования подземных вод в артезианских бассейнах платформенного типа определяются многими факторами, среди которых важнейшими являются форма и размеры бассейна, внутренний структурный план, строение и мощность разреза, типы водовмещающих пород и др. Однако в общем случае основные закономерности формирования региональной динамики подземных вод, их химического

состава и минерализации прежде всего связаны с тем, к какому гидрогеологическому этажу разреза бассейна относится данный водоносный горизонт (комплекс).

Как правило в артезианских бассейнах платформенного типа, выделяется 3 гидрогеологических этажа, каждый из которых характеризуется своими гидродинамическими, гидрогеохимическими особенностями.

Волго-Сурский артезианский бассейн, в пределах которого расположена зона исследования, распространен в юго-восточной части литоводосборного бассейна р. Клязьма. Строение палеозойского чехла близко по строению с Московским артезианским бассейном, отличаясь только мощностью. Эрозия размыла мезозойские и кайнозойские отложения и вмещающие в них водоносные комплексы. Четвертичный флювиогляциальный и аллювиальный водоносный комплекс – это сравнительно маломощная размытая морена, содержит в толще слабопроницаемых валунных суглинков водопроницаемые линзы и прослойки разнозернистых песков и супесей. Глубина отложений 10-20 м. Воды пресные, гидрокарбонатные кальциевые минерализацией до 1 г/л. Пермский водоносный комплекс характеризуется водоносными горизонтами в верхней части пермских отложений (татарского, казанского ярусов). Татарский ярус – дебиты небольшие от 0,5 до 1 л/с, воды пресные, гидрокарбонатные кальциевые. Мощность горизонта от 50 до 200 м. Казанский ярус водообилен, дебиты достигают 5 л/с. Воды пресные, с глубиной минерализация повышается до 5 г/л. Мощность горизонта достигает 100 м. Среднекаменноугольный-нижнепермский водоносный комплекс сложен толщей органогенно-обломочных известняков и доломитов. Мощность измеряется сотнями метров. Воды напорные, дебиты достигают 70 л/с, минерализованные до 7 г/л. При всех различиях Московского и Волго-Сурского артезианских бассейнов, обусловленные строением верхних геологических напластований, параметры водоносных комплексов палеозоя каждого из них совпадают и имеют повсеместное распространение (Региональная гидрогеология, 1987).

Согласно гидрогеологической карты Республики Татарстан масштаба 1:500000, в пределах северо-западной части г.Казань распространены:

- водоносный локально водоупорный неоген-четвертичный аллювиальный водоносный комплекс (N-aQ);
- водоносный нижнеказанский терригенно-карбонатный комплекс (P₂kz₁).

4. АНАЛИЗ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ КНС «ЗАРЕЧНАЯ»

4.1 Проведенный комплекс гидрогеологических работ.

Для оценки инженерно-гидрогеологических условий исследуемой территории в пределах площадки строительства были пробурены 12 специализированных гидрогеологических скважин, которые структурированы в 3 куста скважин, и 2 одиночные скважины. Фильтры скважин установлены на различные интервалы неоген-четвертичного водоносного комплекса, и в верхней части немдинского водоносного горизонта. Схема расположения скважин указана на рисунке 4.1.1.



Рис.4.1.1. Схема расположения гидрогеологических на площадке строительства.

Данные гидрогеологические скважины были запроектированы и пробурены с целью проведения в них опытно-фильтрационных работ. Главная цель ОФР – получение достоверных фильтрационных, емкостных параметров водоносных горизонтов, с их количественной оценкой. В последующем, полученные гидрогеологические параметры

будут учтены в расчёте и обосновании системы дренажного контура вокруг затопленного котлована.

Для получение достоверных фильтрационных параметров неоген-четвертичного аллювиального водоносного комплекса (N-aQ), и нижеказанского водоносного горизонта (P₂kz) были проведены 12 одиночных откачек (включая одно экспресс опробование), и 5 кустовых откачек.

Таблица 4.1.1.

Каталог гидрогеологических скважин на территории площадки

№ п/п	Номер скважины	Интервал установки фильтра	Абс. отметка устья
1	1ГГ/1	Аллювиальный (а III–IV): верхняя и средняя часть	53,00
2	1ГГ/2	Аллювиальный (а III–IV): нижняя часть	53,02
3	1ГГ/3	Аллювиальный (а III–IV): верхняя часть	52,90
4	1ГГ/4	Горизонт немдинской свиты (P ₂ nm)	53,03
5	2ГГ/1	Аллювиальный (а III–IV): верхняя и средняя часть	53,67
6	2ГГ/4	Горизонт немдинской свиты (P ₂ nm): «базальный» горизонт	53,51
7	2ГГ/5	Аллювиальный (а III–IV): нижняя часть (погребенная долина р. Казанки)	53,59
8	3ГГ/1	Аллювиальный (а III–IV): верхняя и средняя часть	56,12
9	3ГГ/2	Аллювиальный (а III–IV): нижняя часть	56,07
10	3ГГ/4	Горизонт немдинской свиты (P ₂ nm)	56,03
11	4ГГ/5	Аллювиальный (а III–IV): нижняя часть	53,95
12	5ГГ/4	Горизонт немдинской свиты (P ₂ nm): «базальный» горизонт	53,64

Таблица 4.1.2.

Информация о проведенных одиночных откачках

Номер скважины	Характеристика опыта	Продолжительность, час	Расход, м ³ /сут
1ГГ/1	одиночная откачка	31,33	25,03
1ГГ/2	одиночная откачка	15,83	308,64
1ГГ/3	экспресс откачка	-	-
1ГГ/4	одиночная откачка	1,5	1199,28
2ГГ/1	одиночная откачка	12	107,52
2ГГ/4	одиночная откачка	4,46	1570,8
2ГГ/5	одиночная откачка	22,67	1179,6
3ГГ/1	одиночная откачка	3,5	124,32
3ГГ/2	одиночная откачка	7,33	23,28
3ГГ/4	одиночная откачка	18,23	2425,25
4ГГ/5	одиночная откачка	19,33	1243,3
5ГГ/4	одиночная откачка	35,33	79,92

Таблица 4.1.3

Информация о проведенных кустовых откачках

Номер центральной скважины	Характеристика опыта	Продолжительность, час	Расход, м ³ /сут	Наблюдательные скважины
1ГГ/4	Кустовая откачка	73,58	1624,8	все
2ГГ/4	Кустовая откачка	36,5	2709,84	все
2ГГ/5	Кустовая откачка	73,17	1595,52	все
3ГГ/1	Кустовая откачка	26,5	344,4	все
4ГГ/5	Кустовая откачка	95,67	1300,8	все

4.2 Интерпретация опытно-фильтрационных рыбот. Обоснование полученных фильтрационных параметров водоносных горизонтов.

4.2.1 Схематизация гидрогеологических условий.

По результатам построения геологической модели в гидрогеологическом разрезе в пределах проектного интервала глубин были выделены следующие водоносные горизонты:

– *локальный техногенный водоносный горизонт (t IV)* представлен насыпными грунтами: суглинками темно-коричневыми, иногда серыми с включениями строительного мусора. Мощность горизонта меняется от 3,8 м до 6,5 м. На территории площадки строительства горизонт сдренирован.

– *водоносный локально водоупорный неогеново-четвертичный терригенный комплекс (N-Q)* на площадке строительства представлен водоносным горизонтом аллювиальных отложений (а III–IV). Горизонт представлен двумя подгоризонтами:

а) первый подгоризонт на большей части площадки сложен супесями коричневыми с отдельными с самостоятельными прослоями песка пылеватого, серого, желтовато-серого и (или) суглинков с примесью органических веществ. Водовмещающие породы первого подгоризонта в интервале опробования гидрогеологическими скважинами обводнены. Отметки установившегося уровня составляют +51,11—+51,19 абс. м. (скв. 1ГГ/3). Таким образом, первый подгоризонт в пределах площадки строительства является слабонапорным.

б) второй подгоризонт, приуроченный к пескам средне- и крупнозернистым, залегающим в разрезе ниже суглинков, супесей, песка пылеватого и мелкого первого подгоризонта.

В основании аллювиального водоносного горизонта залегает гидравлически связанный с ним водоносный горизонт терригенных отложений немдинской свиты.

– *казанский терригенно-карбонатный комплекс (P₂ kz)*, представленный водоносным горизонтом терригенных отложений немдинской свиты (P₂ nm). Водовмещающие породы представлены терригенными отложениями: песчаниками кварцевыми. В верхней части горизонта во всех скважинах вскрыт «базальный» горизонт, представленный щебнем коренных пород. В верхней части горизонта встречаются прослой известняковой и доломитовой муки.. Водоносный горизонт является напорным, отметки установившегося уровня соответствуют +53,69-53,88 м. В некоторых гидрогеологических скважинах после бурения наблюдался самоизлив (2ГГ/4, 1ГГ/4).

Предварительный качественный анализ гидрогеологических условий площадки строительства КНС «Заречная» и принятая схематизация, позволяют сделать следующие выводы:

- территория характеризуется потенциально высокой водообильностью вмещающих отложений на всей части выделенного разреза;

- в целом, аллювиальный водоносный горизонт по режиму можно рассматривать как напорно-безнапорный, немдинский-напорный;

- отсутствие явного водоупора между выделенными гидрогеологическими единицами разрешает рассматривать их как тесно гидрогеодинамически взаимодействующую двухслойную толщу;

- информация по пьезометрическим уровням позволяет сделать вывод о наличии восходящей фильтрации подземных вод немдинского водоносного горизонта в аллювиальный водоносный горизонт;

- возможное присутствие гидродинамической связи аллювиального водоносного горизонта с палеодолиной р.Казанка;

- более высокие пьезометрические отметки немдинского водоносного горизонта, в сравнении с аллювиальным водоносным горизонтом, могут говорить о присутствии зоны разгрузки гидрогеологической среды в пределах рассматриваемой территории;

- фигурирование двух граничных условий третьего рода (ГУ III рода) в пределах рассматриваемой зоны схематизации (старица р.Казанка, водохранилище);

- высокая неоднородность гранулометрического состава четвертичных отложений, в совокупности с увеличением градиента напора, может являться одной из потенциальных причин возможного проявления процессов суффозии при изменении направления потока под действием техногенного влияния.

Принципы и методы интерпретации ОФР включают в себя два взаимосвязанных этапа:

1. Диагностику процесса с обоснованием использованной расчётной схемы;
2. Количественную обработку данных по принятой схеме.

Так как диагностика, в основе которой лежит качественный анализ процесса, обычно требует привлечения количественных оценок, то правильнее будет интерпретировать опытно-фильтрационные опробования комплексной методикой, учитывая все геологические, гидрогеологические, технические особенности проведения эксперимента, а также параллельное диагностирование полученных графиков. Исходя из этого, для первоначального качественного диагностического анализа, перед выбором аналитической схемы, необходимо учесть геолого-гидрогеологические условия, в которых происходит опробования (Мироненко В.А., 2001).

Принятая схематизация условий указывает что, (см. раздел 4.2.1), вероятнее всего, геофильтрационный поток при откачке будет характеризоваться взаимодействием двух

водоносных пластов гидравлически связанных между собой, ввиду отсутствия явного слабопроницаемого слоя между ними. Также, к естественным гидрогеодинамическим факторам при возмущении среды могут отнестись возможное проявление влияния плановых/профильных границ, и фильтрационную анизотропию водоносных пластов. Помимо этого, стоит учесть несовершенство опытных скважин по степени вскрытия пласта и наличие скин-эффекта в центральных скважинах.

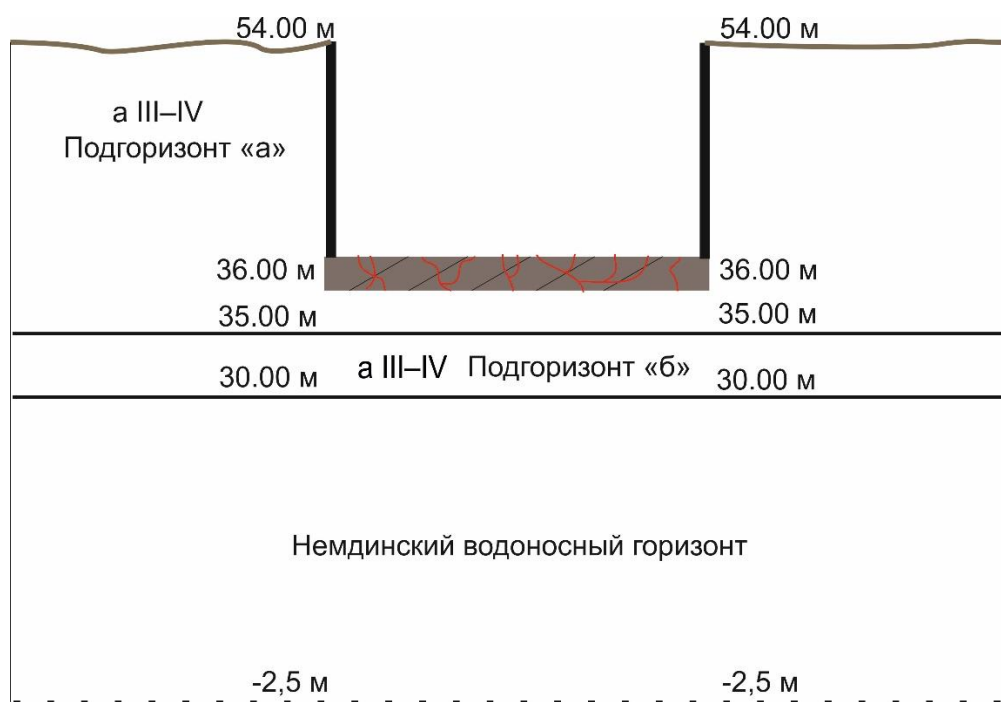


Рисунок 4.2.1.1. Условная схематизация гидрогеологических условий.

Мощность горизонтов на площадке может изменяться ввиду высокой литологической неоднородности и наличия погребенной долины р.Казанка.

4.2.2. Интерпретация одиночных откачек.

Учитывая сложность гидрогеологических условий, в которых проводились данные опробования, а также непосредственно технические особенности самих одиночных откачек, наиболее целесообразно использовать полученные результаты в основном для сравнительной характеристики водоносных слоев и их ориентировочной оценки величины водопроводимости на изучаемом участке. Главными причинами тому являются комплекс технических факторов, возникающих в центральной скважине, которые усложняют интерпретацию полученных результатов. С другой стороны, в целом, все одиночные опробования проводились в однотипных скважинах, что вероятно позволит ожидать

идентичных проявлений скин-эффекта, гидравлических турбулентных процессов и тд, в прискважинных зонах.

На территории площадки были проведены 12 одиночных откачек (включая 1 экспресс опробование) из разных интервалов изучаемой гидрогеологической среды (см. таблица 4.1.2). Продолжительность откачек составляла от 3,5ч – 35,33ч. Дебит для каждого одиночного опробования подбирался в соответствии с результатами пробных откачек эрлифтом, проведенных непосредственно после бурения. Производительность опробований указана в таблице 4.1.2.

Все одиночные опробования интерпретировались в программном комплексе ANSDIMAT.

Одиночная откачка из 3Гг/4

Продолжительность откачки составила 18,23 часов, дебит-2425,25 м³/сут. Максимальное понижение 3,49 м. Удельный дебит составил 8,09 л/с/м. Опробуемые интервал – верхняя часть немдинского горизонта. Форма графика временного прослеживания S-Ig(t) указывает на проявление явного скин-эффекта. Это показывает результат первого замера (1 минута), где понижение равно 3,35 м. Данное явление создает практически полный перепад напором, относительно общего перепада (97,36 %). Помимо этого, в эксплуатационной колонне и в прискважинной зоне на контакте гравийной обсыпки и стенки фильтра могут возникать различные турбулентные потоки, искажающие эффект истинного понижения в водоносном горизонте. Исходя из этого, к результатам по данному опробованию, как было сказано выше, необходимо отнестись с ориентировочной оценкой. Полученный график временного прослеживания показан на рисунке 4.2.2.1.

Одиночная откачка из 2Гг/4

Продолжительность откачки составила 4,46 часов, дебит-1570,8 м³/сут. Максимальное понижение 14,4 м. Удельный дебит 1,26 л/с/м. Опробуемые интервал – зона палевыветривания немдинского горизонта. Форма графика временного прослеживания S-Ig(t) также указывает на наличие скин-эффекта, но степень его, относительно аналогичного опробования в скважине 3Гг/4 более явная. Первые замер (1 минута) характеризуется понижением в размере 11,79 м. Проявление эффекта указывает на аналогичные технические факторы, как и в скважине 3Гг/4. Полученный график временного прослеживания показан на рисунке 4.2.2.2.

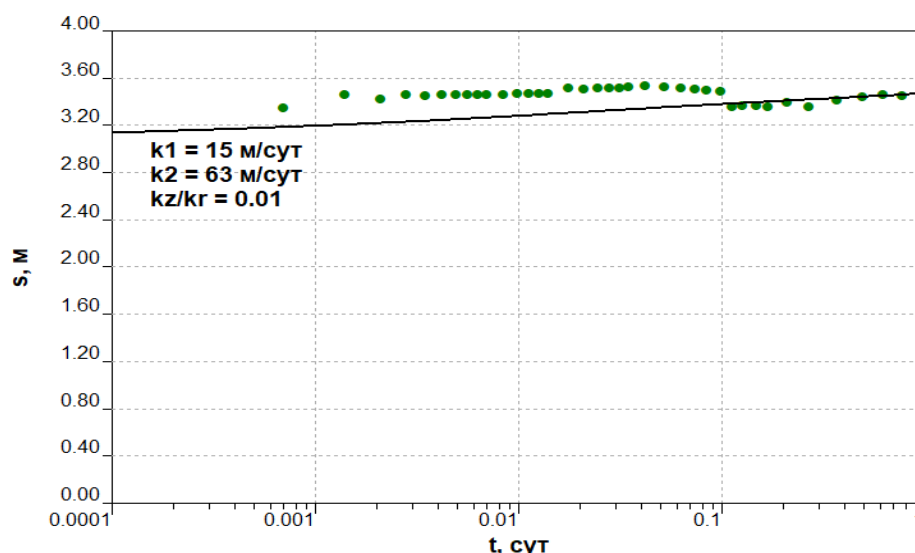


Рисунок 4.2.2.1. График временного прослеживания скважины 3ГГ/4. График построен по фактическим данным понижения уровня скважины 3ГГ/4. k_1 -коэффициент фильтрации аллювиального водоносного горизонта; k_2 -коэффициент фильтрации верхней части немдинского водоносного горизонта.

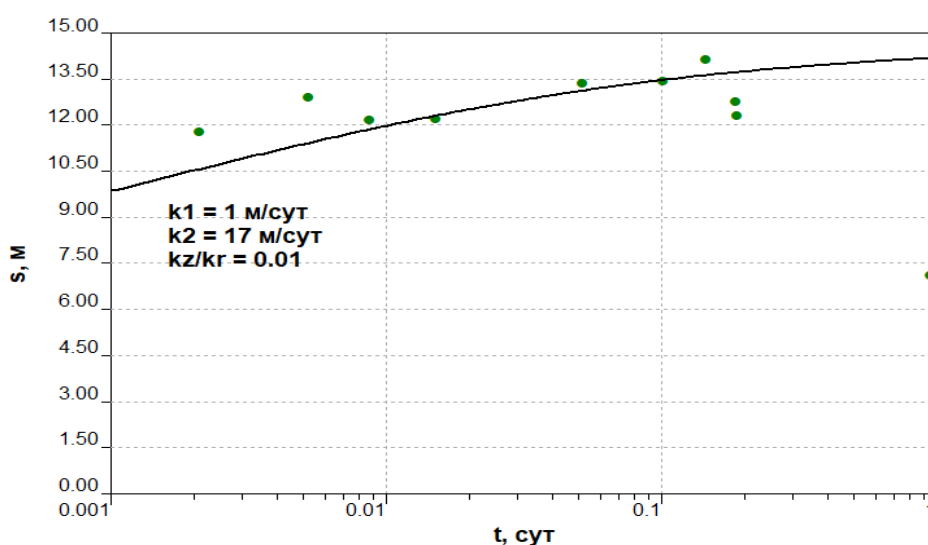


Рисунок 4.2.2.2. График временного прослеживания скважины 2ГГ/4. График построен по фактическим данным понижения уровня скважины 2ГГ/4. k_1 -коэффициент фильтрации аллювиального водоносного горизонта; k_2 -коэффициент фильтрации верхней части немдинского водоносного горизонта.

Одиночная откачка из 1ГГ/4

Продолжительность откачки составила 1,5 часов, дебит-1199,28 м³/сут. Максимальное понижение 1,01 м (0,05 м). Удельный дебит 14,02 л/с/м. Ввиду незначительной продолжительности опробования, а также малом понижении (первый

замер показал 0,96 м, учитывая скин-эффект, перепад от него составляет 95%), данную откачку можно отнести к некондиционной.

Одиночная откачка из 5Гг/4

Продолжительность откачки составила 35,33 часов, дебит - 79,92 м³/сут. Максимальное понижение 16,6 м. Удельный дебит 0,05 л/с/м. Форма графика временного прослеживания указывает на аномальное понижение напора при откачке – с момента времени 40 мин происходит уменьшение понижения. Данный возникший эффект осложняется проявлением скин-эффекта (аналогично другим откачкам). Целесообразно «отбросить» для обработки получившиеся опробование, так как участок, который возможно количественно интерпретировать, протекал в короткий промежуток времени (40 мин) и может характеризовать проницаемость закольматированной/прискважинной зоны (рисунок 4.2.2.3).

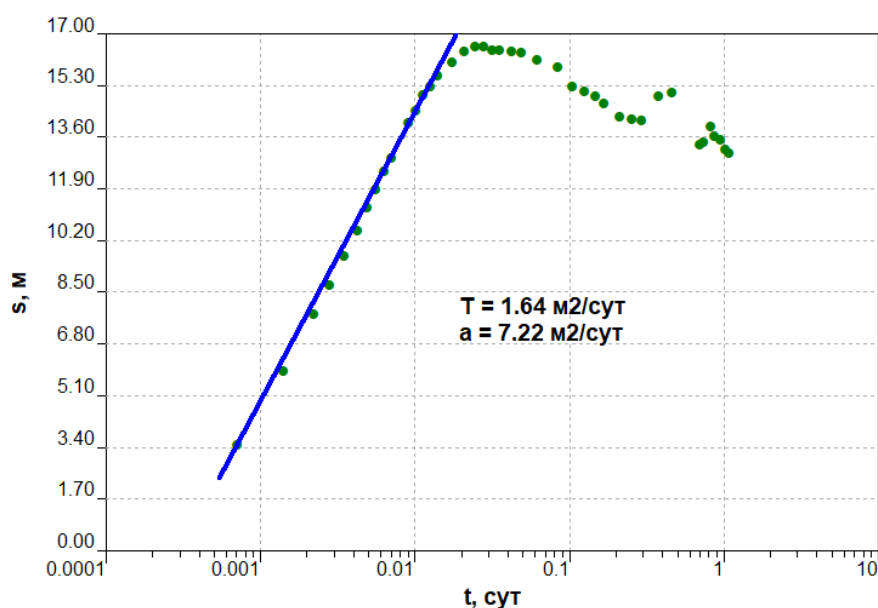


Рисунок 4.2.2.3. Одиночная откачка из скважины 5Гг/4. Выделенный участок характеризует проницаемость прискважинной зоны.

Одиночная откачка из 1Гг/1

Продолжительность откачки составила 31,33 часов, дебит откачки - 25,03 м³/сут. Максимальное понижение 8,07 м. Удельный дебит 0,035 л/с/м. Опробуемые интервал – верхняя, центральная часть аллювиального водоносного горизонта. Форма графика временного прослеживания S-Ig(t) характеризуется двумя участками. Второй участок

характеризует водопродимость первого подгоризонта (а). Количественная интерпретация второго участка была проведена методом прямой линии (рисунок 4.2.2.4).

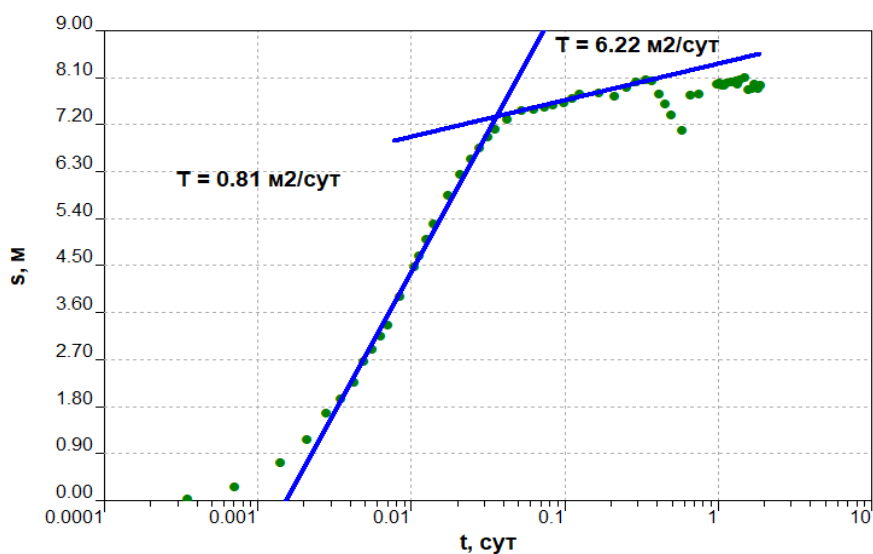


Рисунок 4.2.2.4. График временного прослеживания одиночной откачки 1Гг/1. Указанная водопродимость второго участка относится к подгоризонту «а».

Одиночная откачка из 2Гг/1

Продолжительность откачки составила 12 часов, дебит откачки - 107,52 м³/сут. Максимальное понижение 8,62 м. Удельный дебит 0,14 л/с/м. Опробуемые интервал – первый подгоризонт (а) аллювиального водоносного горизонта. Форма графика временного прослеживания $S\text{-lg}(t)$ характеризуется двумя участками: первый участок имеет продолжительность 10 минут и может быть связан с проницаемостью пылеватого песка в сумме с прослоями суглинков и супесей в интервале фильтра. Второй участок характеризует, вероятнее всего, суммарную водопродимость подгоризонта (а) аллювиального водоносного горизонта. Количественная интерпретация данных участков была проведена методом прямой линии (рисунок 4.2.2.5).

Одиночная откачка из 3Гг/1

Продолжительность откачки составила 3,5 часов, дебит откачки - 124,32 м³/сут. Максимальное понижение 3,28 м. Удельный дебит 0,44 л/с/м. Опробуемые интервал – аллювиальный водоносный горизонт. Форма графика временного прослеживания $S\text{-lg}(t)$ идентична графику 2Гг/1 и характеризуется также двумя участками: первый участок имеет продолжительность 12 минут и может быть связан с проницаемостью прискважинной зоны. Второй участок характеризуется более высокой водопродимостью относительно результатов в откачке 2Гг/1. Вероятнее всего, данный участок относится к подгоризонту

«а», но к более проницаемым литологическим разностям. Количественная интерпретация данного участка была проведена методом прямой линии (рисунок 4.2.2.6).

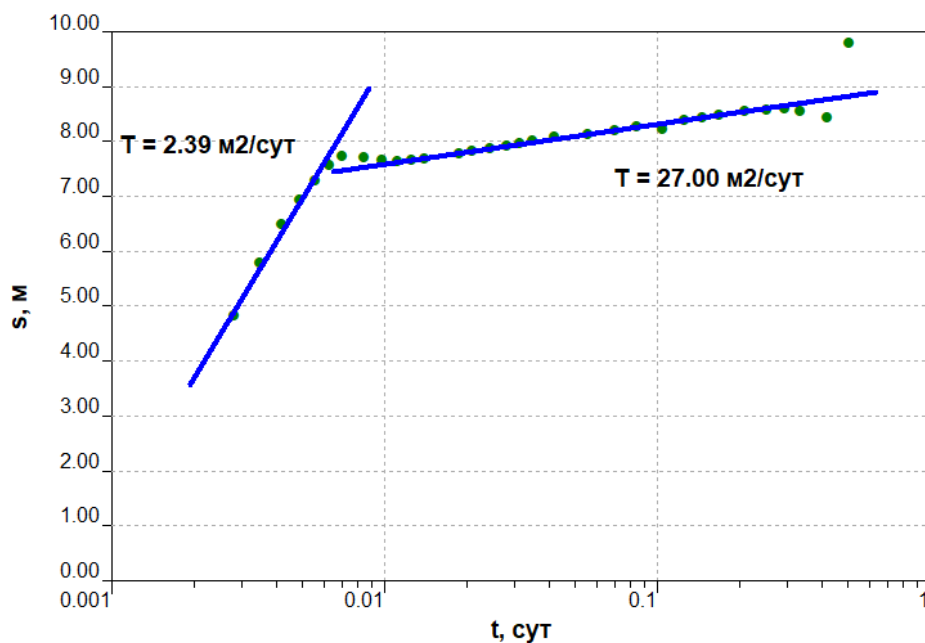
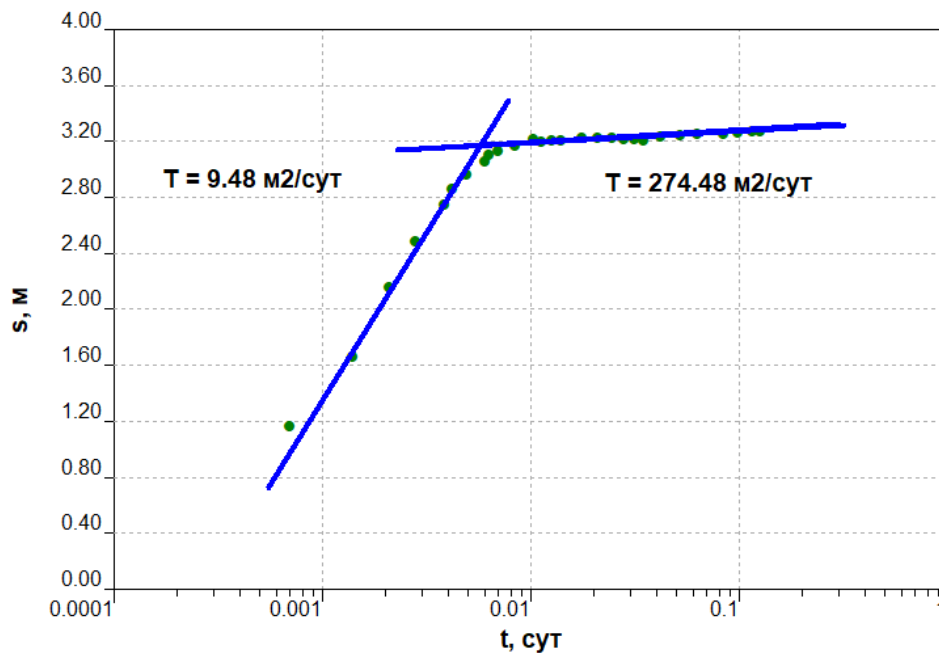


Рисунок 4.2.2.5. График временного прослеживания одиночной откачки 2Гг/1.

Водопроницаемость второго участка относится к подгоризнту «а».



Одиночная откачка из 1Г2/2

Продолжительность откачки составила 15,83 часов, дебит - 308,64 м³/сут. Максимальное понижение 7,55 м. Удельный дебит 0,47 л/с/м. Опробуемые интервал – подгоризонт «б» аллювиального водоносного горизонта. На графике временного прослеживания $S-\lg(t)$ явно выделяются два участка. Первый участок имеет продолжительность 6 минут и может соответствовать техническому эффекту связанного с влиянием емкости скважины. Второй участок при подборе параметров по схеме «Двухслойного пласта» характеризует фильтрационные параметры всей геогидродинамической системы, вовлеченной в процесс данного опробования. По результатам количественной обработки опробования, были получены следующие параметры: горизонтальный коэффициент фильтрации аллювиального водоносного горизонта (k_x) 8,2 м/сут, вертикальный коэффициент фильтрации (k_z) 0,082 м/сут; горизонтальный коэффициент фильтрации верхней части немдинского водоносного горизонта (k_x) 130,0 м/сут, вертикальный коэффициент фильтрации (k_z) 1,3 м/сут (рисунок 4.2.2.7). Стоит отметить, что при подборе параметров, изменение коэффициента фильтрации немдинского водоносного горизонта вызывало незначительное расхождение в кривой. Этот факт говорит о малой чувствительности данного параметра в выбранной схеме в данной откачке. Исходя из этого, полученный коэффициент фильтрации водоносного комплекса необходимо комплексно сравнить с полученными результатами других ОФО.

Одиночная откачка из 2Г2/5

Продолжительность откачки составила 22,67 часов, дебит - 1179,6 м³/сут. Максимальное понижение 13,25 м. Удельный дебит 1,03 л/с/м. График временного прослеживания $S-\lg(t)$ представляет собой субгоризонтальную линию. Аналогично одиночным откачкам из скважин 3ГГ/4, 2ГГ/4, в данном опробовании наблюдается хорошо выраженный скин-эффект. Количественно проинтерпретировать данное опробование, представляется довольно сложно, так как каких-либо диагностических участков на графике временного прослеживания не наблюдается. Использование схемы «двухслойного пласта» показывает следующие результаты: горизонтальный коэффициент фильтрации аллювиального водоносного горизонта (k_x) 5,34 м/сут, вертикальный коэффициент фильтрации (k_z) 0,053 м/сут; горизонтальный коэффициент фильтрации верхней части немдинского водоносного горизонта (k_x) 100,0 м/сут, вертикальный коэффициент фильтрации (k_z) 1,0 м/сут. Полученный график временного прослеживания показан на рисунке 4.2.2.8.

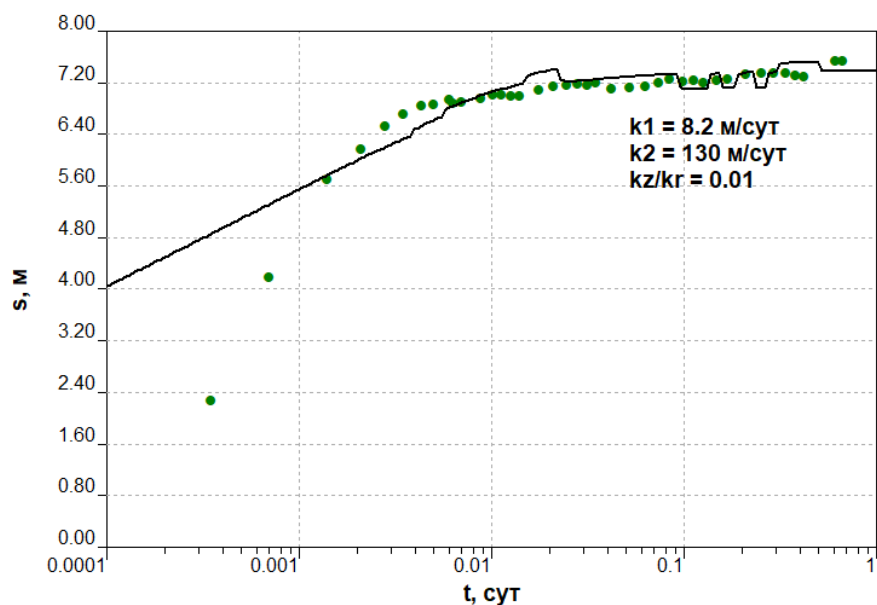


Рисунок 4.2.2.7. График временного прослеживания 1ГГ/2. График построен по фактическим данным понижения уровня скважины 1ГГ/2. k_1 -коэффициент фильтрации аллювиального водоносного горизонта; k_2 -коэффициент фильтрации верхней части немдинского водоносного горизонта.

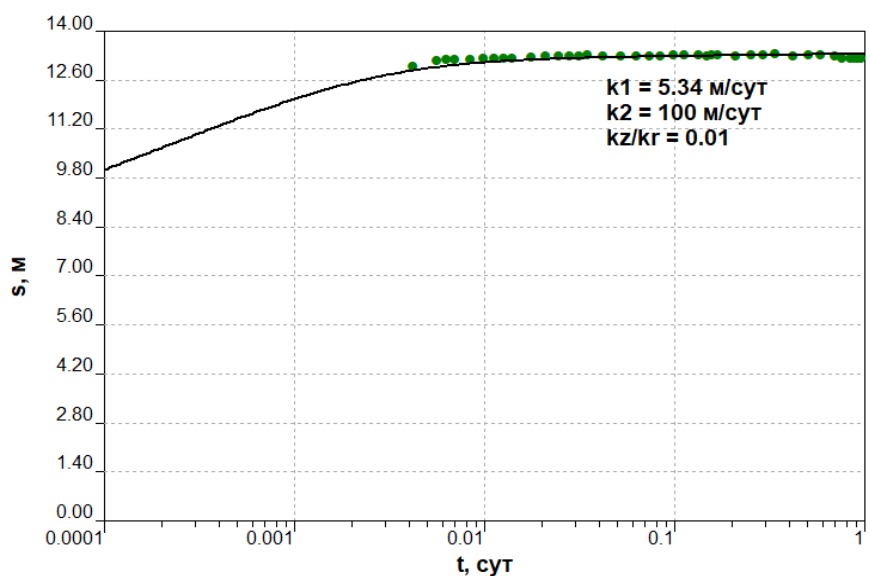


Рисунок 4.2.2.8. График временного прослеживания 2ГГ/5. График построен по фактическим данным понижения уровня скважины 2ГГ/5. k_1 -коэффициент фильтрации аллювиального водоносного горизонта; k_2 -коэффициент фильтрации верхней части немдинского водоносного горизонта.

Одиночная откачка из 3ГГ/2

Продолжительность откачки составила 7,33 часов, дебит - 23,28 м³/сут. Максимальное понижение 6,78 м. Удельный дебит 0,04 л/с/м. Диагностика графика

временного прослеживания $S\text{-lg}(t)$ указывает о наличии стационарного участка с момента времени 70 минут. Наложении деривативного анализа $\lg [ds / dlnt] - \lg t$ этот эффект подтверждает (рисунок 4.2.2.9). Природа этого отрезка на графике может говорить о двух возможных гидродинамических эффектах при данной откачке: проявление процессов перетекания из смежных горизонтов, влияние границы обеспеченного питания. Целесообразно количественно обработать полученный результат с точки зрения сравнения полученных фильтрационных параметров, относительно параметров, интерпретированных по кустовым ОФО. Выделенные участки были обработаны методом прямой линии (рисунок 4.2.2.10).

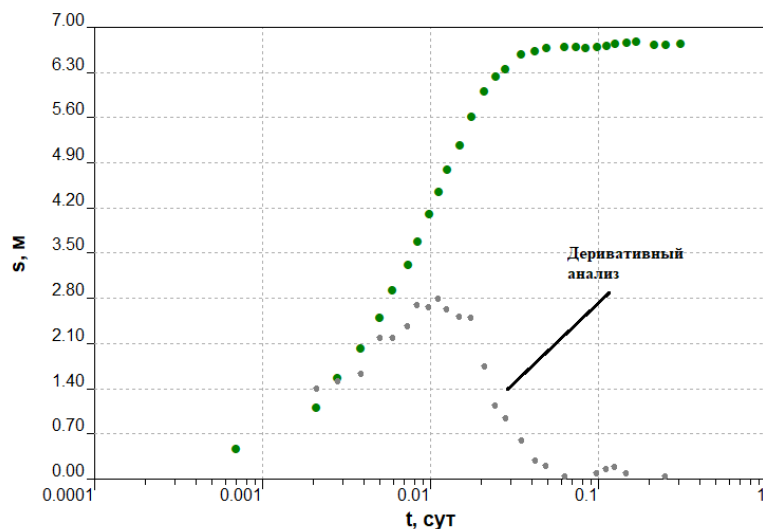


Рисунок 4.2.2.9. Приведенный график временного прослеживания отработки из скважины 3ГГ/2 и его деривативный анализ.

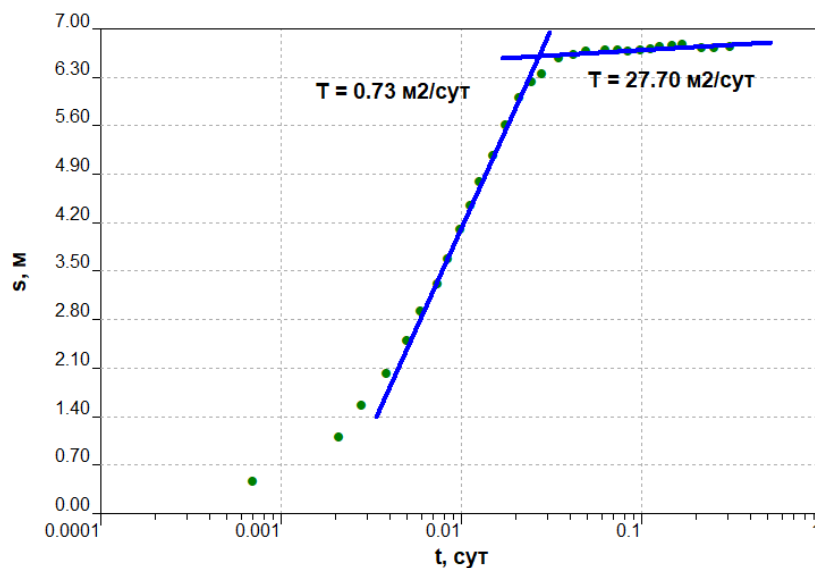


Рисунок 4.2.2.10. График временного прослеживания одиночной отработки 3ГГ/2. Указанная водопроницаемость второго участка относится к аллювиальному водоносному горизонту.

Одиночная откачка из 4Гг/5

Продолжительность откачки составила 19,33 часов, дебит - 1243,3 м³/сут. Максимальное понижение 13,25 м. Удельный дебит 1,08 л/с/м. Полученный график временного прослеживания характеризуется наличием скин-эффекта, аналогичному в скважинах 2Гг/5, 3Гг/4, 2Гг/4. Скважина 4Гг/5 расположена непосредственно в тальвеге погребенной долины р.Казанка, где мощность выделенных при схематизации водоносных горизонтов больше, чем в других гидрогеологических скважинах на участке работ. Интервал фильтра расположен на весь интервал подгоризонта «б». Использование схемы «двухслойного пласта» показывает следующие результаты: горизонтальный коэффициент фильтрации аллювиального водоносного горизонта (k_x) 3,79 м/сут, вертикальный коэффициент фильтрации (k_z) 0,00379 м/сут; горизонтальный коэффициент фильтрации верхней части немдинского водоносного горизонта (k_x) 15,0 м/сут, вертикальный коэффициент фильтрации (k_z) 0,015 м/сут. Полученный график временного прослеживания показан на рисунке 4.2.2.10.

Экспресс опробование из скважины 1Гг/3

Ввиду незначительных фильтрационных свойств подгоризонта «а» и проявлением возможного скин-эффекта, в скважине 1Гг/3 (интервал фильтра установлен на верхнюю часть аллювиального водоносного горизонта) было проведено экспресс-опробование. Опробование заключалось в «мгновенной» откачке воды из скважины (8,1 мин) до понижения 8,64 м, и последующим прослеживанием восстановления уровня до статического. Продолжительность восстановления составило 125 мин. Аналитическое решение, принятое для обработки опробования, учитывало радиус эксплуатационной (фильтровой) колонны и скин-эффект, а также несовершенство скважины, радиальную неоднородность пласта (Yef et al. 2008 г). По результатам диагностики были получены следующие параметры подгоризонта «а»: горизонтальный коэффициент фильтрации (k_x) 4 м/сут, вертикальный коэффициент фильтрации (k_z) 0,001 м/сут; упругая водоотдача 0,00001 м⁻¹, горизонтальный коэффициент фильтрации скина ($k_x \text{ skin}$) 0,004 м/сут, вертикальный коэффициент фильтрации скина ($k_z \text{ skin}$) 0,0001 м/сут, упругая водоотдача скина 0,0001 м⁻¹, толщина скина 0,01 м. Радиус фильтровой колонны принимался в соответствии с конструкцией скважины – 0,07 м. Полученный график $S-\lg(t)$ изображен на рисунке 4.2.2.11.

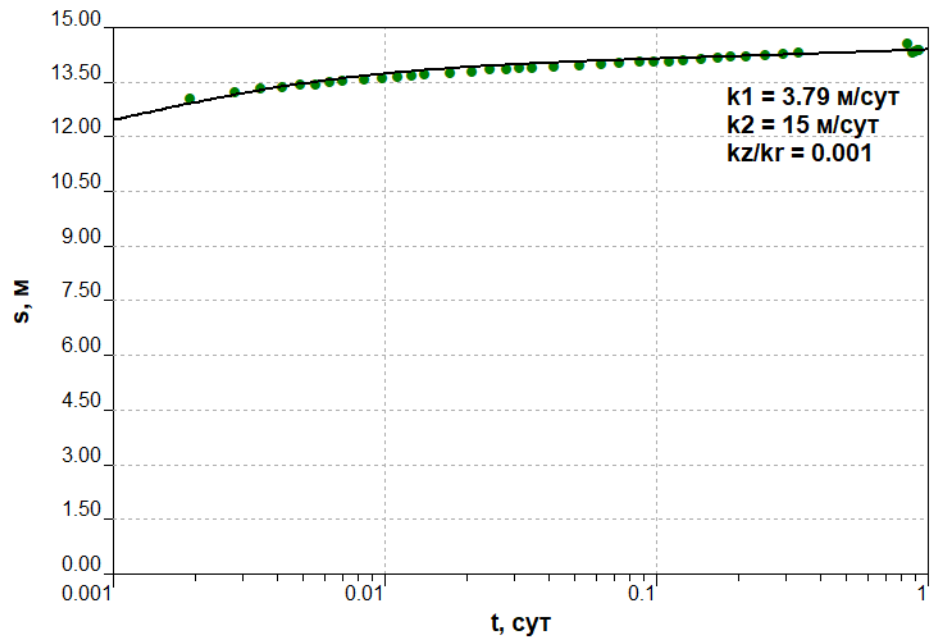


Рисунок 4.2.2.10. График временного прослеживания 4ГГ/5. График построен по фактическим данным понижения уровня скважины 4ГГ/5. k_1 -коэффициент фильтрации аллювиального водоносного горизонта; k_2 -коэффициент фильтрации верхней части немдинского водоносного горизонта.

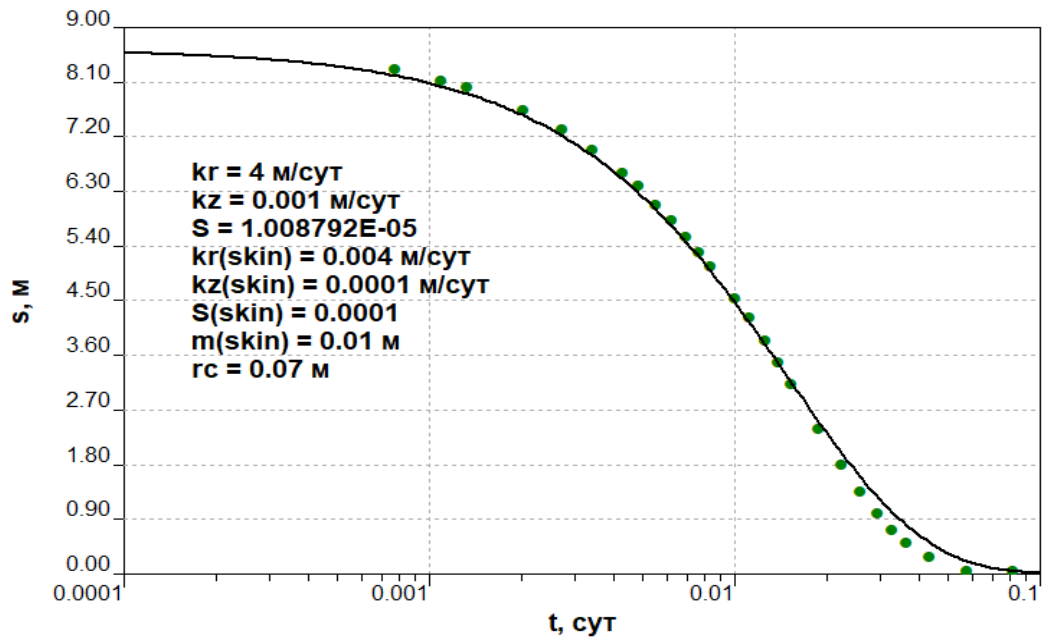


Рисунок 4.2.2.11. График временного прослеживания экспресс-опробования в скважине 1ГГ/3.

Таблица 4.2.2.1.

Фильтрационные параметры, полученные по результатам одиночных откачек

Одиночные откачки												
Схема: Двухслойный пласт, Решение - Джавандел, Визерспун (1983г)												
	1Гг/1	1Гг/2	1Гг/3	1Гг/4	2Гг/1	2Гг/4	2Гг/5	3Гг/1	3Гг/2	3Гг/4	4Гг/5	5Гг/4
кх 1*, м/сут	-	8,20	-	-	-	1,00	5,34	-	-	15,00	3,79	-
кх 2**, м/сут	-	130,00	-	-	-	17,00	100,0	-	-	63,00	15,00	-
кz/Кх	-	0,01	-	-	-	0,01	0,01	-	-	0,01	0,01	-
Схема: Тейса												
Часть разреза	Подгоризонт «а»	-	Подгоризонт «а»	-	Подгоризонт «а»	-	-	Подгоризонты «а»	Подгоризонт «а»	-	-	-
T, м ² /сут	6,22	-	-	-	27,00	-	-	274,00	27,7	-	-	-
Lф, м	20,20	-	-	-	18,30	-	-	15,50	4,30	-	-	-
кх***, м/сут	0,30	-	4,00	-	1,48	-	-	17,67	6,44	-	-	-

* кх 1- коэффициент фильтрации аллювиального водоносного горизонта;

** кх 2- коэффициент фильтрации верхней части немдинского водоносного горизонта;

*** коэффициент фильтрации считался в соответствии с длиной фильтра центральной скважины;

4.2.3. Интерпретация кустовых откачек.

Кустовые откачки являются одними из самых эффективных и достоверных способов определения фильтрационных свойств гидрогеологической среды. Данный тип опробования лишен недостатков, которые присутствуют при проведении одиночных откачек: проявление скин-эффекта; различные турбулентные гидравлические явления, проявляющиеся в скважинном и прискважинном пространстве; присутствие эффекта емкости скважины и другие искажающие технические факторы, возникающие вблизи центральной скважины. В ряде случаев, при проведении именно кустовых откачек, возможно определить влияние проявления возмущения опробуемого пласта на смежные водоносные горизонты, а также установить неоднородность и анизотропию фильтрационных свойств в плане и профиле пласта. Помимо этого, как правило, такие опробования характеризуются значительной длительностью во времени, что нередко помогает уточнить граничные условия. Все это позволяет считать кустовую откачку наиболее надежным методом исследования фильтрационных свойств пород в период разведки или строительных изысканий.

На площадке строительства КНС «Заречная» были проведены 5 кустовых откачек из разных интервалов гидрогеологической среды. При детальном анализе проведенных опытов, кустовая откачка из скважины 3Гг/1 была принята некондиционной, ввиду незначительных понижений за весь период откачки (понижения по всем наблюдательным скважинам не превысили 4-5 см). Кустовая откачка из скважины 1Гг/4 имеет противоестественную динамику понижений уровня во времени (с 530 минуты от момента начала опробования, понижения во всех наблюдательных скважинах начинают уменьшаться, вплоть до достижения статического уровня на момент начала откачки), при отсутствии каких-либо колебаний дебита за весь период опыта. Данную откачку целесообразно интерпретировать в последнюю очередь, после количественного анализа результатов кустовых откачек из скважин 2Гг/5, 4Гг/5, 2Гг/4.

Все кустовые откачки интерпретировались в программном комплексе ANSDIMAT.

Кустовая откачка из скважины 2Гг/5

Откачка в данном опыте ведется из нижней части аллювиального водоносного горизонта, в литологическом плане представленный средне-крупнозернистым песком. Продолжительность откачки составила 3 суток. Откачка проводилась погружным центробежным насосом ЭЦВ 8-65-40. Средний дебит можно принять постоянным - 1595 м³/сут. Все гидрогеологические скважины на площадке являлись наблюдательными. Расстояния до центральной скважины показано на рисунке 4.2.3.1.

Расстояние, м:	
	2ГГ/5
2ГГ/5	0.14
1ГГ/4	44.83
1ГГ/1	46.25
1ГГ/2	47.44
1ГГ/3	45.21
3ГГ/1	54.75
3ГГ/2	53.76
3ГГ/4	53.18
4ГГ/5	38.1
5ГГ/4	58.47
2ГГ/1	3.5
2ГГ/4	4.85

Рисунок 4.2.3.1. Расстояния от центральной скважины до наблюдательных.

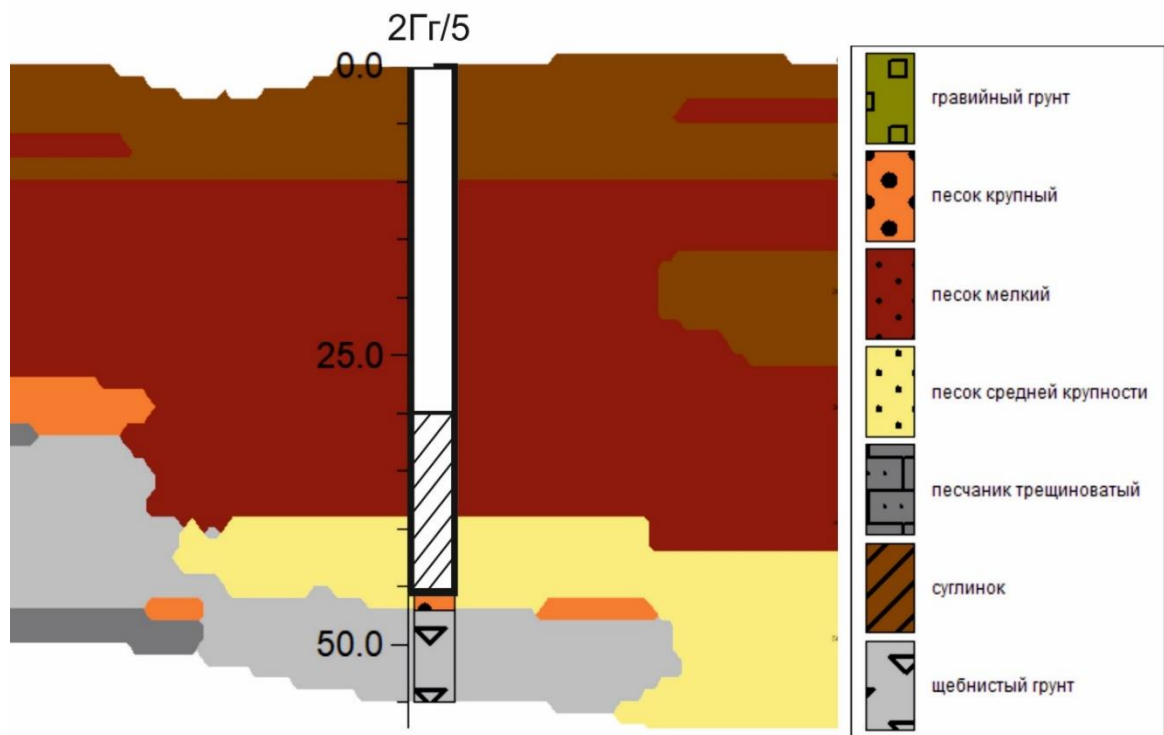


Рисунок 4.2.3.2. Схематическое положение фильтра скважины 2ГГ/5 в разрезе.

Штриховой линией показан интервал установки фильтра в скважине.

Диагностика графиков комбинированного прослеживания $S\text{-lg}(t/r^2)$, построенных для всех наблюдательных скважин, показала явное смещение скважин 2ГГ/1, 2ГГ/4, 4ГГ/5

от общего усредненного линейного тренда (рисунок 4.2.3.3). Данный факт говорит о расположении фильтров указанных скважин в других гидродинамических условиях, относительно остальных наблюдательных скважин. Результат соотносится с геологическим разрезом – куст 2ГГ и скважина 4ГГ/5 расположены в пределах погребенной долины р. Казанка, и этот индикаторный признак косвенно подтверждает наличие фильтрационной неоднородности в пределах площадки строительства в аллювиальных отложениях.

Качественный анализ графиков временного прослеживания $S\text{-lg}(t)$ позволил выделить несколько геогидродинамических признаков исследуемой территории:

- в течении одного часа во всех наблюдательных скважинах наблюдалась реакция, связанная с возмущением среды в нижней части аллювиальных отложений (подгоризонт «б»), за исключением скважины 1ГГ/3 (понижение проявилось спустя 2 часа от начала опробования). Полученный эффект подтвердил тесную гидравлическую связь двух водоносных горизонтов;

- разное абсолютное значение понижений в скважинах на конец откачки в 4ГГ/5 и 1ГГ/2, 3ГГ/2, расстояние которых до центральной скважины соизмеримы (см. рисунок 4.2.3.1). Этот факт подтверждает наличие неоднородности фильтрационных свойств аллювиального водоносного горизонта (Рисунок 4.2.3.4);

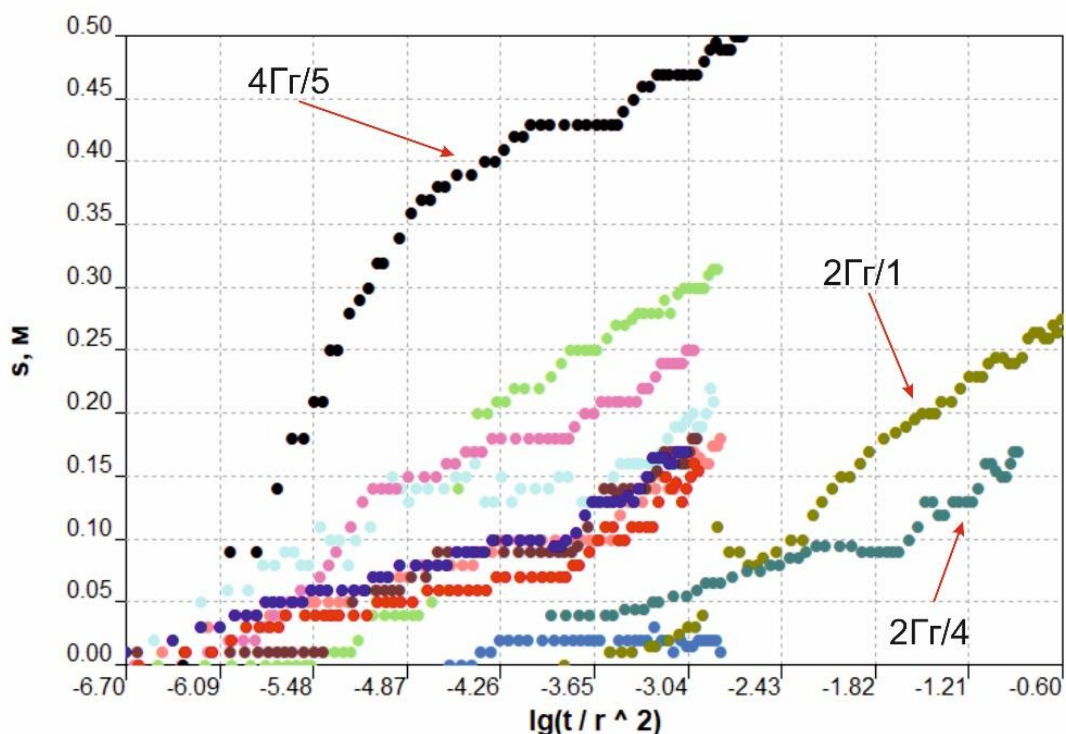


Рисунок 4.2.3.3. График комбинированного прослеживания $S\text{-lg}(t/r^2)$ кустовой откачки скважины 2ГГ/5.

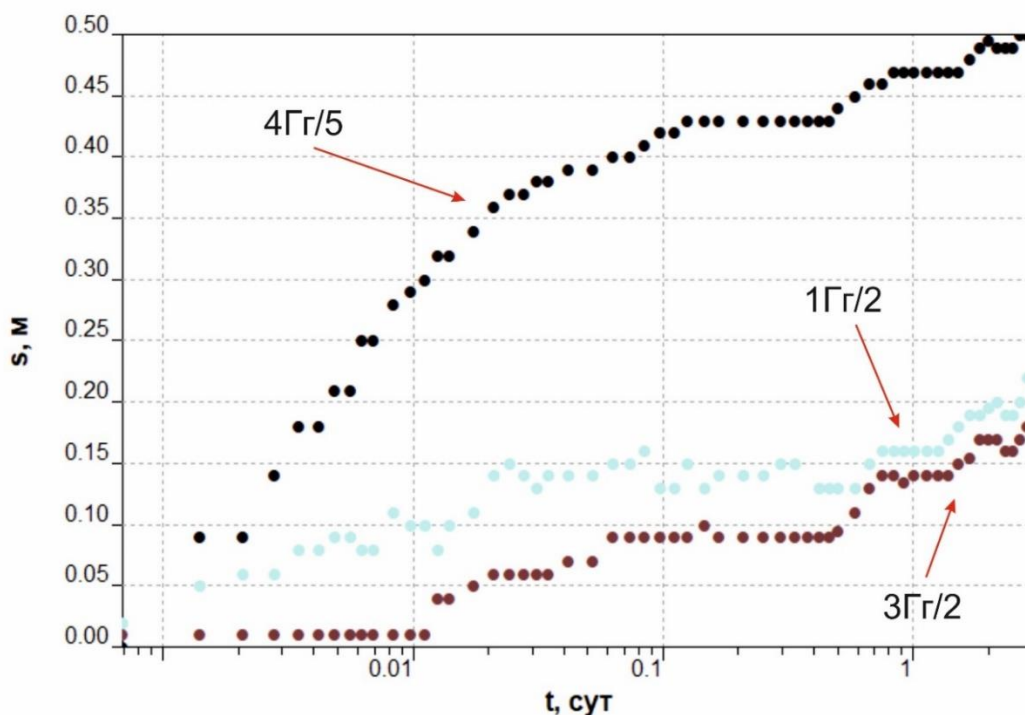


Рисунок 4.2.3.4. Графики временного прослеживания скважин 4Гг/5, 1Гг/2, 3Гг/2.

- графики временного прослеживания скважин 1Гг/1, 2Гг/1, 3Гг/1 имеют два участка прямолинейного характера (рисунок 4.2.3.5) . Первый участок имеет более короткую продолжительность (40-120 мин). Второй участок квазистационарного режима продолжается до окончания опробования, что можно индефицировать как условие неограниченного в плане пласта (для верхней части аллювиального горизонта). На это также указывает наложенный график деривативного анализа $\lg [ds / dlnt] - \lg t$

- графики временного прослеживания скважин, фильтры которых установлены на нижнюю часть аллювиального водоносного горизонта и на немдинский водоносный горизонт, характеризуются тремя явно выраженными участками: 1 - прямолинейный характер продолжительностью от 90-210 мин, 2 - участок ложного стационара продолжительностью 390-740 мин, 3 - участок прямолинейного характера, угол которого при наложении прямой больше в среднем в два раза, относительно участка 1 (рисунок 4.3.2.6).

Для количественного анализа фильтрационных параметров водоносных горизонтов, необходим выбор аналитической схемы, учитывающей все аспекты гидрогеодинамической характеристики среды. Качественная интерпретация опробования указывает на весьма сложное поведение фильтрационного потока – присутствует тесная гидравлическая связь между водоносными горизонтами (процесс перетекания), проявление границы II рода ($Q=0$) в плановой области возмущения немдинского водоносного горизонта и нижней части

аллювиальных отложений. Условное наличие границ II рода, вероятнее всего диагностирует резкую смену фильтрационных свойств водоносного горизонта (ГУ IV рода), это подтверждается на графиках $S-t^{0.5}$, где присутствует явная линейная аппроксимация (рисунок 4.3.2.7).

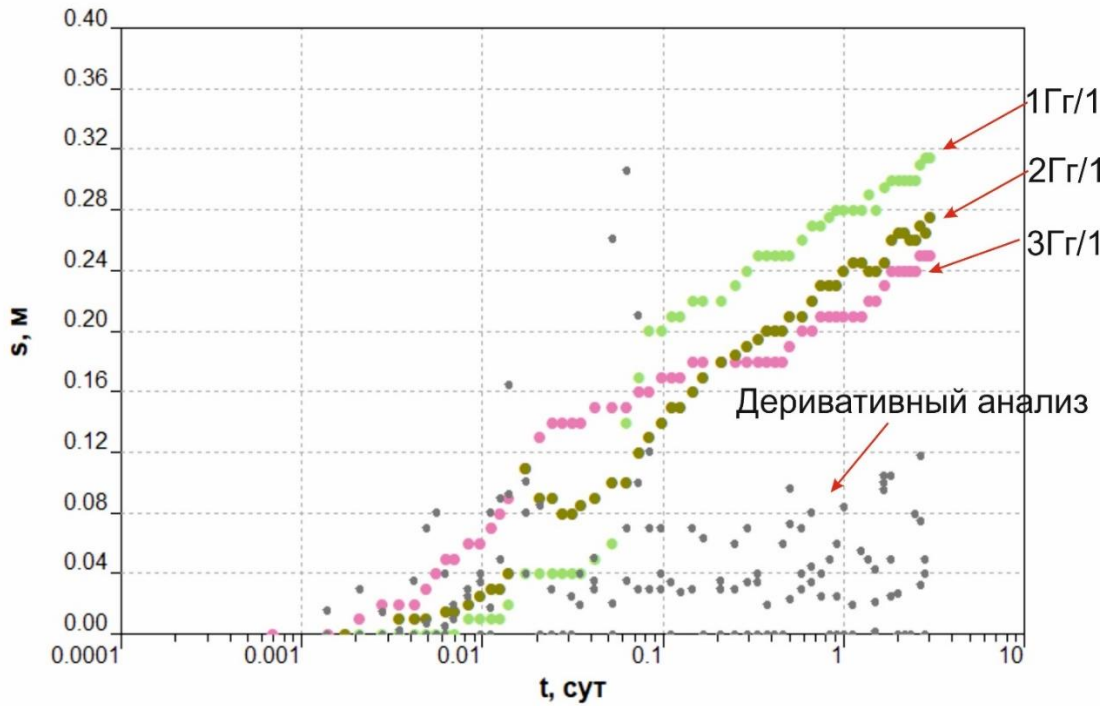


Рисунок 4.2.3.5. Графики временного прослеживания $S-\lg(t)$ скважин 1ГГ/1, 2ГГ/1, 3ГГ/1.

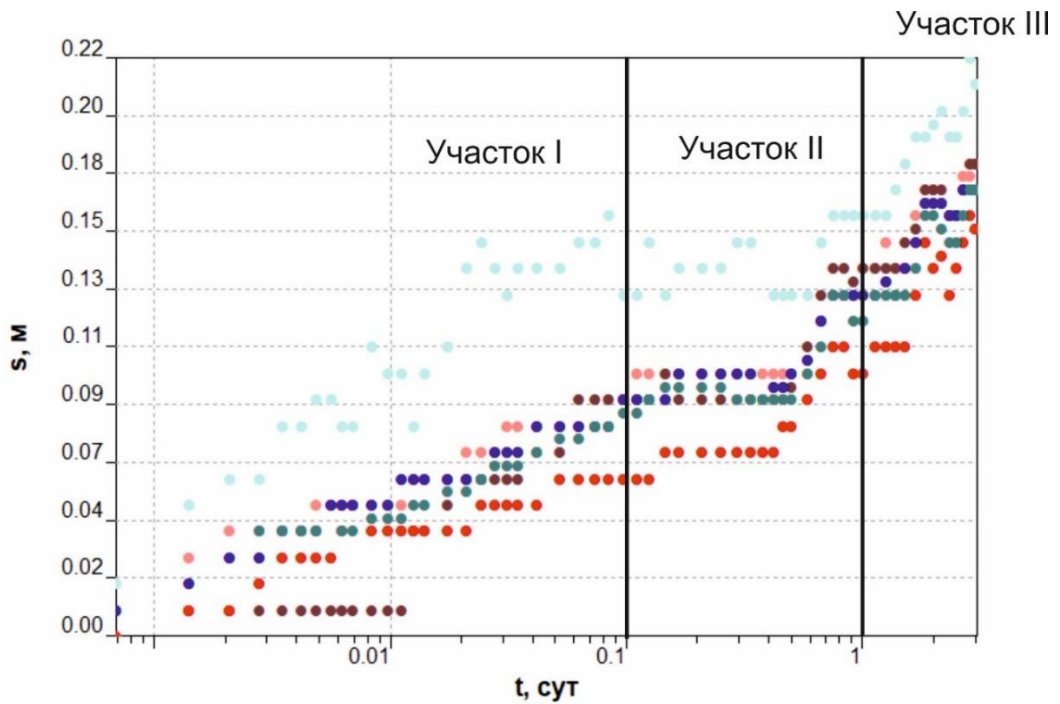


Рисунок 4.3.2.6. Графики временного прослеживания скважин 1ГГ/2, 3ГГ/2, 1ГГ/4, 2ГГ/4, 3ГГ/4, 5ГГ/4.

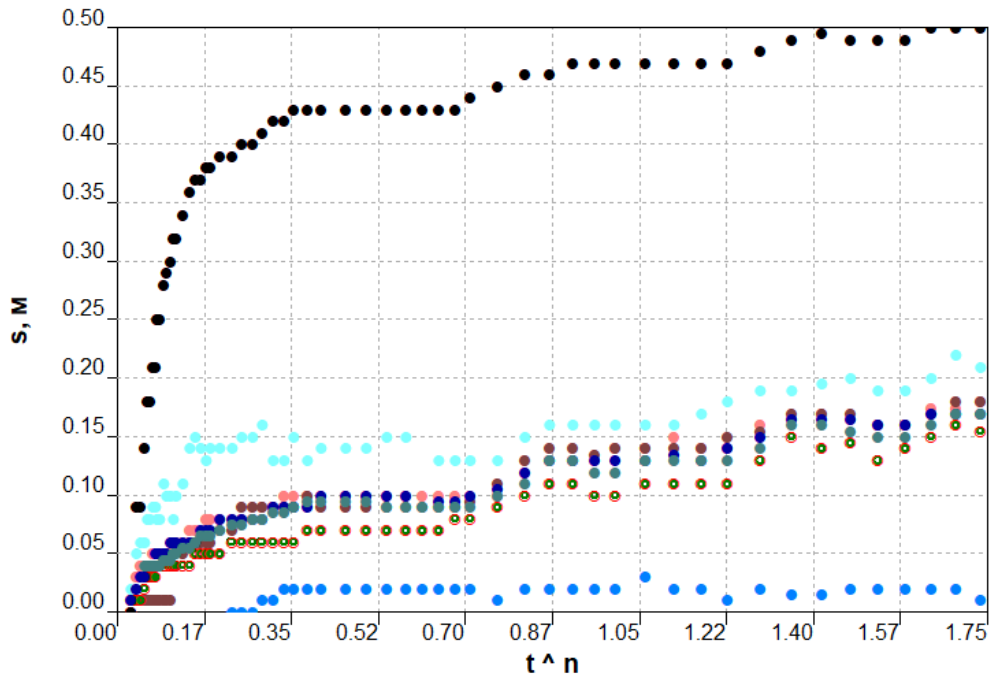


Рисунок 4.3.2.7. Графики $S-t^{0.5}$ скважин 1ГГ/4, 2ГГ/4, 5ГГ/4, 3ГГ/4, 1ГГ/2, 3ГГ2, 4ГГ/5.

Исходя из всех проанализированных фактов, наиболее целесообразно будет в первую очередь, оценочно, определить расстояние до границы фильтрационной неоднородности от центральной скважины, используя полученный радиус влияния по понижениям в двух наблюдательных скважинах в момент проявления ГУ (рисунок 4.3.2.8) (В.М. Максимова, 1959). Полученное значение по формуле 4.3.2.1 равно ≈ 80 м (понижение в скважинах 1ГГ/4, 3ГГ4 на момент 0,416 сут). Расстояние до условной границы может соответствовать борту погребенной долины реки Казанка в западном направлении от скважины 2ГГ/5.

$$\lg R = \frac{s_1 \lg r_1 - s_2 \lg r_2}{s_1 - s_2} \quad 4.3.2.1$$

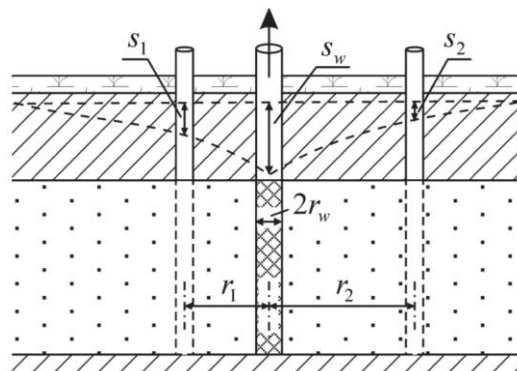


Рисунок 4.3.2.8. Схема расчёта радиуса влияния R (м) по двум наблюдательным скважинам.

Выбор правильного аналитического решения, способного учесть одновременно все многочисленные гидродинамические факторы, повлиявшие на процесс опробования (несовершенство скважины, плановую и профильную анизотропию, процесс перетекания, влияние границы II рода и тд.) в данных условиях становится весьма трудным. Третий участок на графиках исключает применение схем «Пласт с перетеканием. Изменяющийся уровень в смежном горизонте», «Двухслойный комплекс», «Многопластовая система». Наиболее оптимальным методом количественной обработки данного опробования, будет являться классическая аналитическая схема «Тейса» в полуограниченном пласте с границей $Q=0$ на расстоянии 80 метров от центральной скважины (Cooper Н.Н., Jacob С.Е, 1946). Более точная количественная обработка фильтрационных параметров, с учётом всех проявляющихся гидродинамических факторов полученном опыте, возможна на данный момент, только с помощью численного моделирования.

Полученные значения водопроницаемости для скважин 1ГГ/2, 1ГГ/4, 2ГГ/4, 3ГГ/2, 3ГГ/4, 4ГГ/5, 5ГГ/4, полученные графоаналитическим методом, показаны на рисунках 4.3.2.9 - 4.3.2.10.

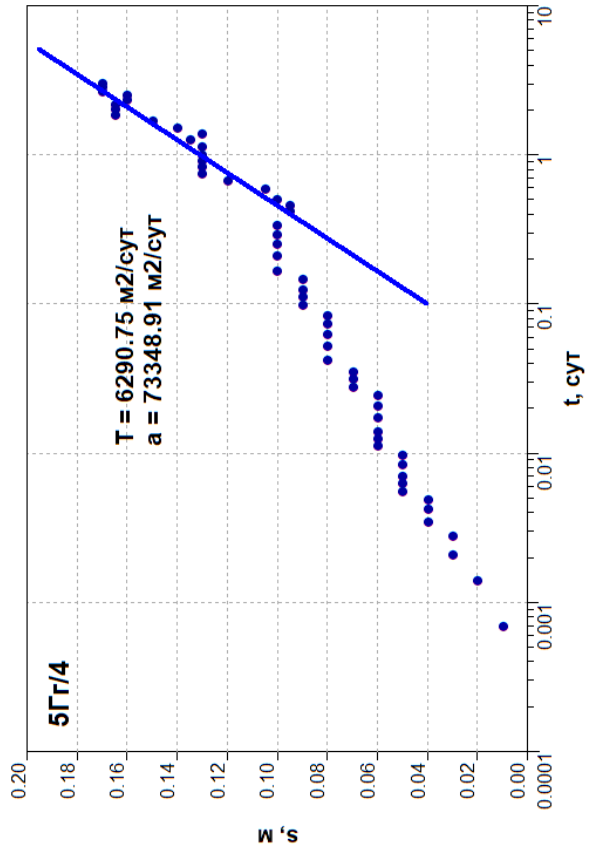
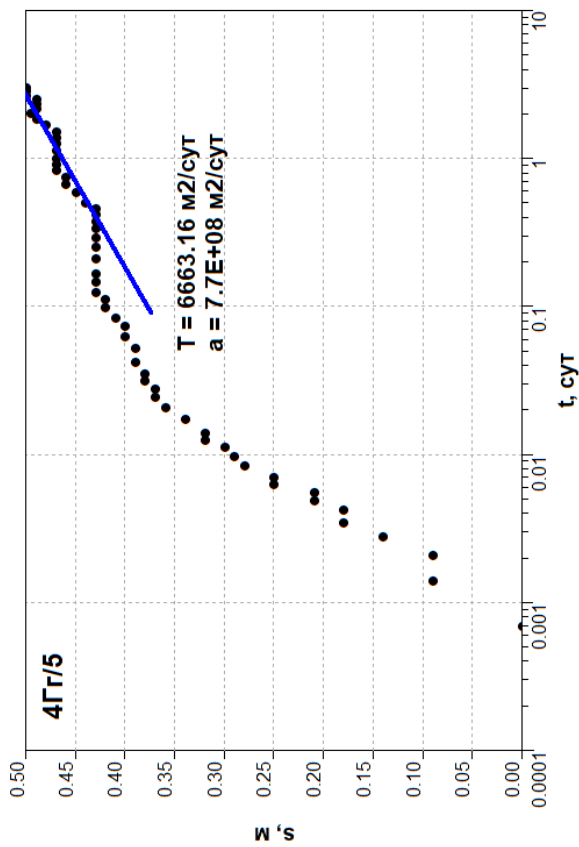
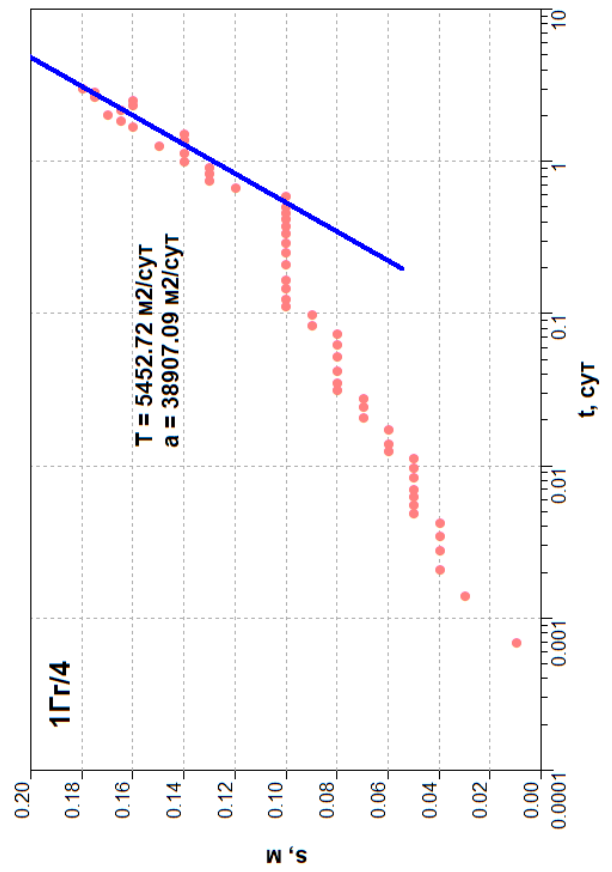
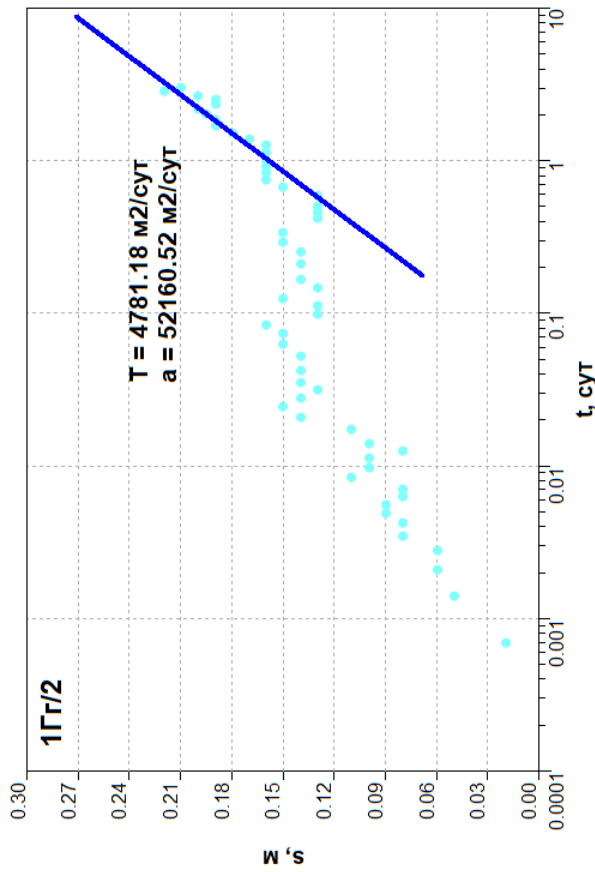


Рисунок 4.3.2.9. Графики временного прослеживания 4ГГ/5, 1ГГ/2, 1ГГ/4, 5ГГ/4.

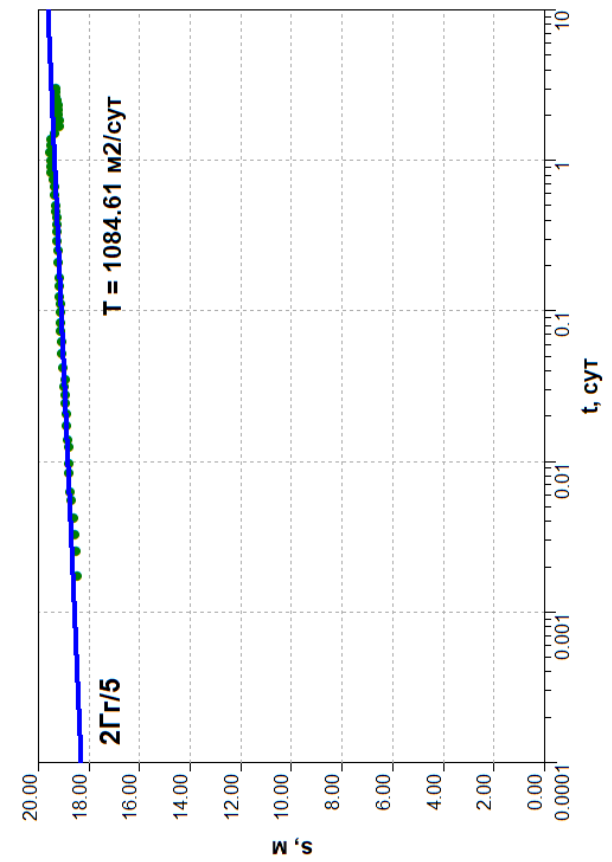
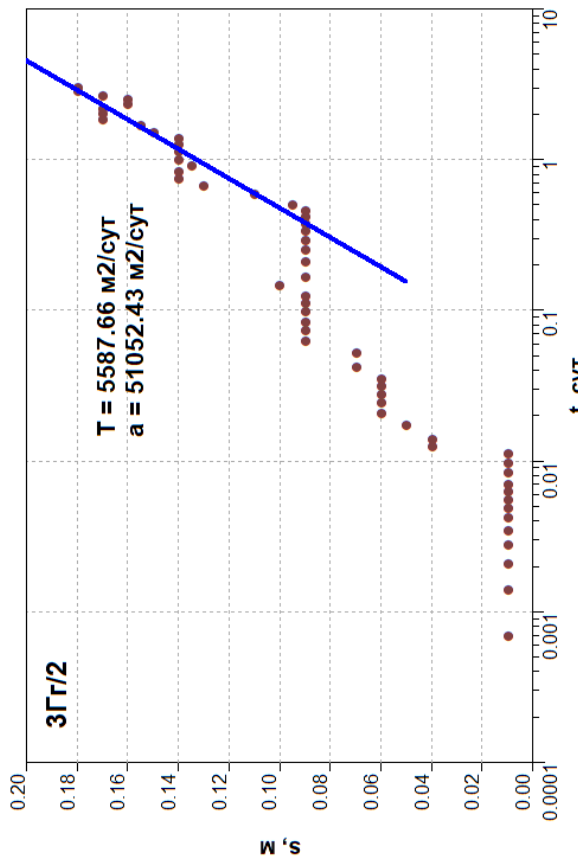
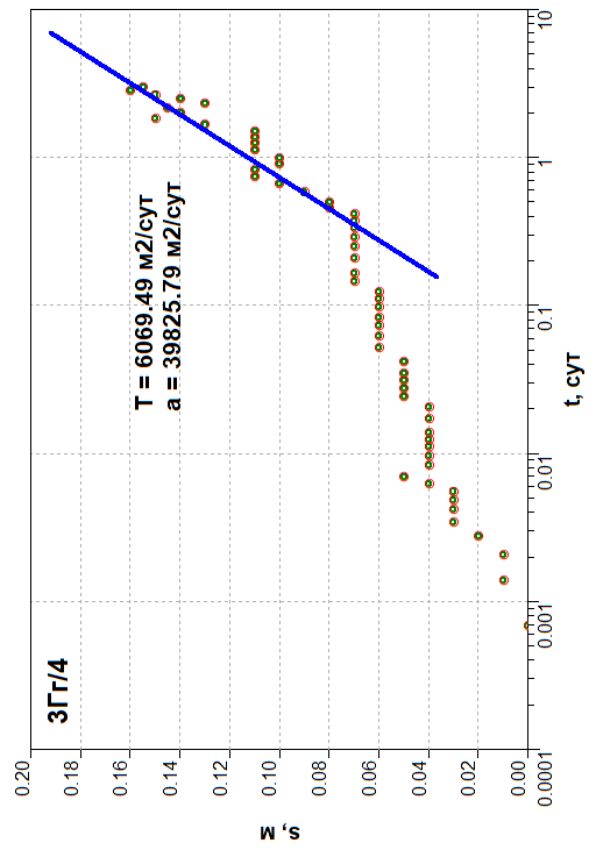
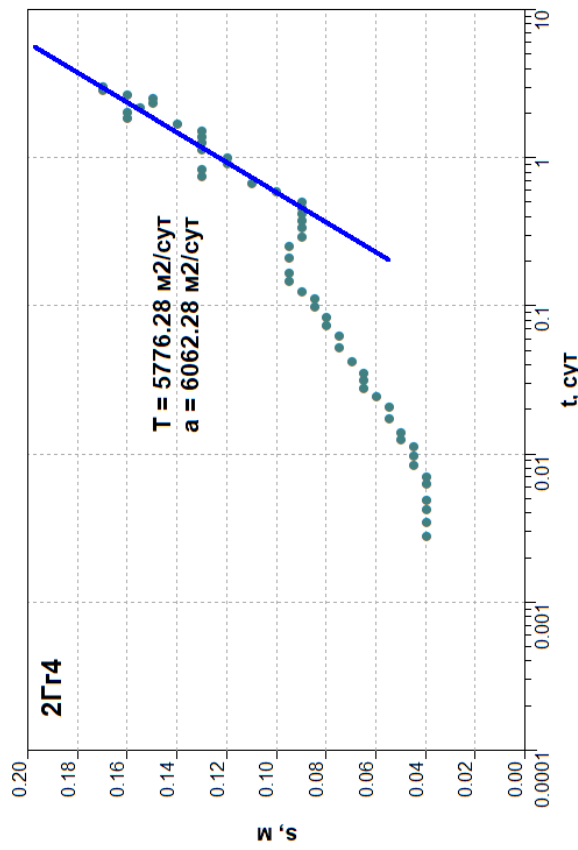


Рисунок 4.3.2.10. Графики временного прослеживания 3Г/2, 2Г4, 3Г/4, 2Г/5.

Кустовая откачка из скважины 4Гг/5

Откачка в данном опыте ведется из нижней части аллювиального водоносного горизонта, непосредственно в погребенной долине р. Казанка. Продолжительность откачки составила 4 суток. Откачка проводилась погружным центробежным насосом ЭЦВ 8-65-40. Средний дебит можно принять постоянным - 1301 м³/сут. Все гидрогеологические скважины на площадке являлись наблюдательными. Расстояния до центральной скважины показано на рисунке 4.2.3.11.

	4rr5
4rr5	0.084
1rr1	82.4889
1rr2	82.4231
1rr3	83.6863
1rr4	85.0412
2rr1	39.5896
2rr4	42.6604
2rr5	38.0957
3rr1	62.4957
3rr2	62.8392
3rr4	60.3197
5rr4	91.7532

Рисунок 4.2.3.11. Расстояния от центральной скважины до наблюдательных.

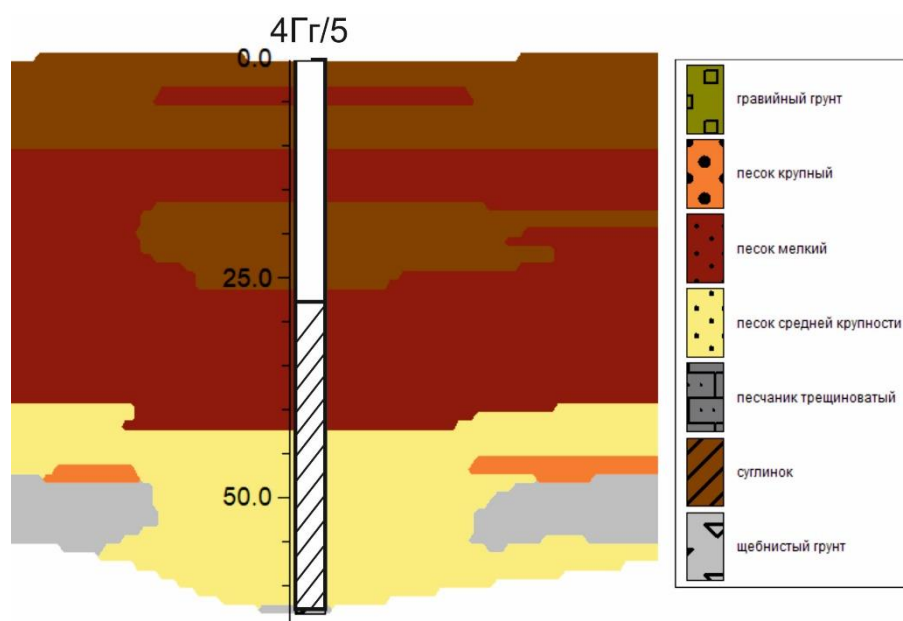


Рисунок 4.2.3.12. Схематическое положение фильтра скважины 2Гг/5 в разрезе Штриховой линией показан интервал установки фильтра в скважине.

Диагностика графиков комбинированного прослеживания $S-\lg(t/r^2)$, построенных для всех наблюдательных скважин, показала явное смещение скважин 2ГГ/1, 2ГГ/5, от общего усредненного линейного тренда (рисунок 4.2.3.13). Аналогичный эффект наблюдался в кустовой откачке 2ГГ/5. Это подтверждает расположению фильтров указанных скважин в других гидродинамических условиях, относительно остальных наблюдательных скважин (куст скважин 2ГГ расположены в пределах погребенной долины р. Казанка). Исключением является график комбинированного прослеживания 2ГГ/4 – полученный результат в этой скважине соответствует общему линейному тренду (рисунок 4.2.3.11).

Форма графиков временного прослеживания $S-\lg(t)$ для всех наблюдательных скважин, сопоставима с результатами в скважине 2ГГ/5:

- два квазиостационарного участка для скважин оборудованных на верхнюю часть аллювиального водоносного горизонта (1ГГ/1, 2ГГ/1, 3ГГ/1);
- замедленная реакция в скважине 1ГГ/3 на проявленное возмущение, относительно других скважин (рисунок 4.2.3.14);
- три аналогичных участка на графиках скважин, оборудованных на нижнюю часть аллювиального водоносного горизонта и на немдинский водоносный горизонт (рисунок 4.2.3.15).

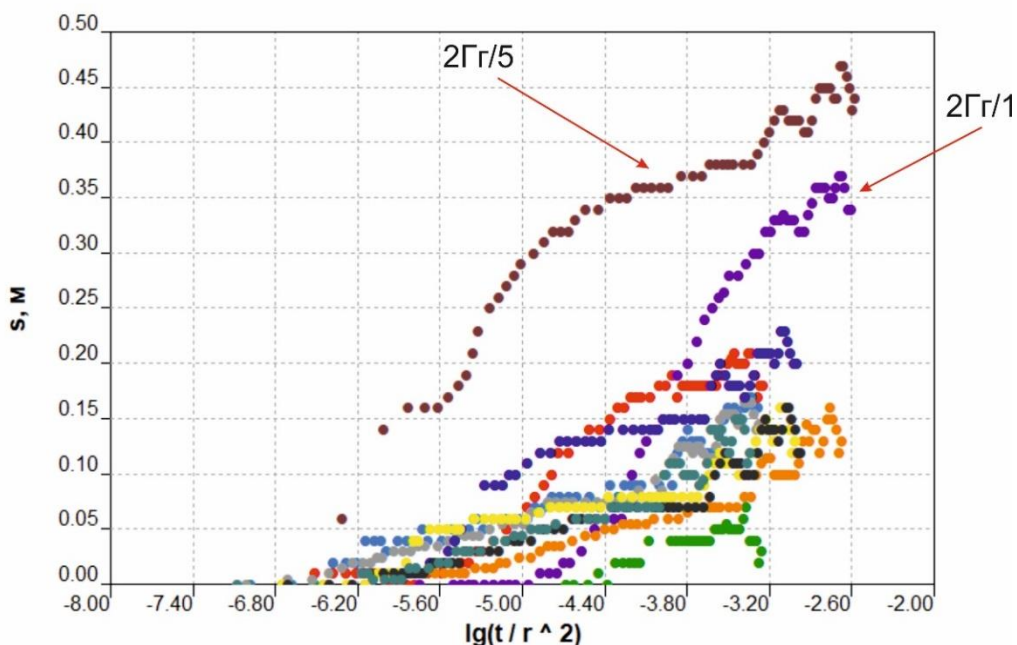


Рисунок 4.2.3.13. График комбинированного прослеживания $S-\lg(t/r^2)$ кустовой откачки скважины 4ГГ/5.

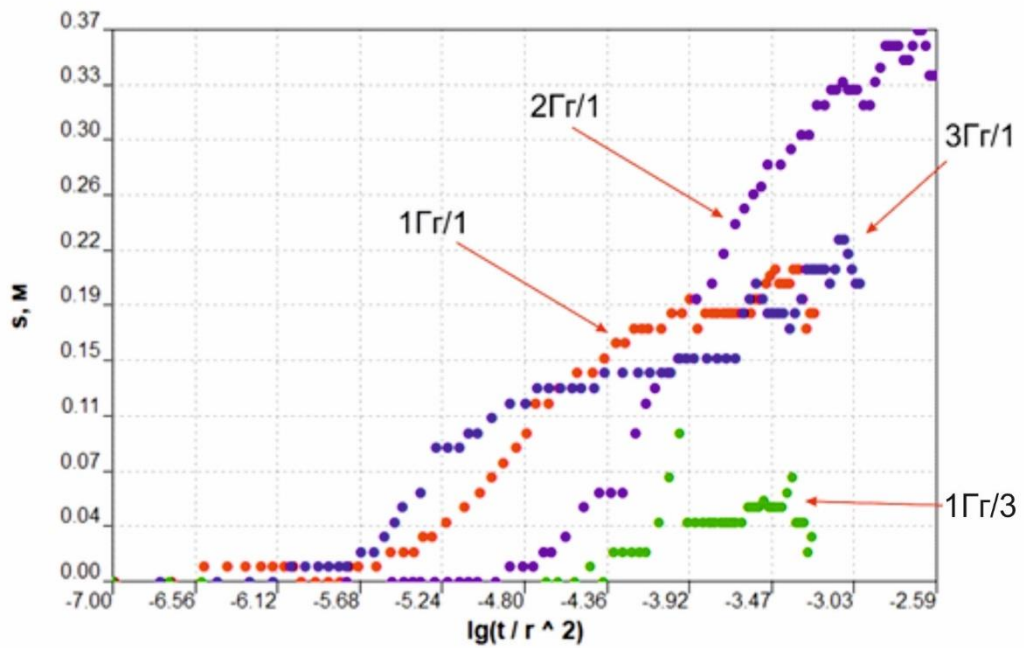


Рисунок 4.2.3.14. График временного прослеживания $S\text{-lg}(t)$ скважин 1Гг/1, 2Гг/1, 1Гг/3, 3Гг/1.

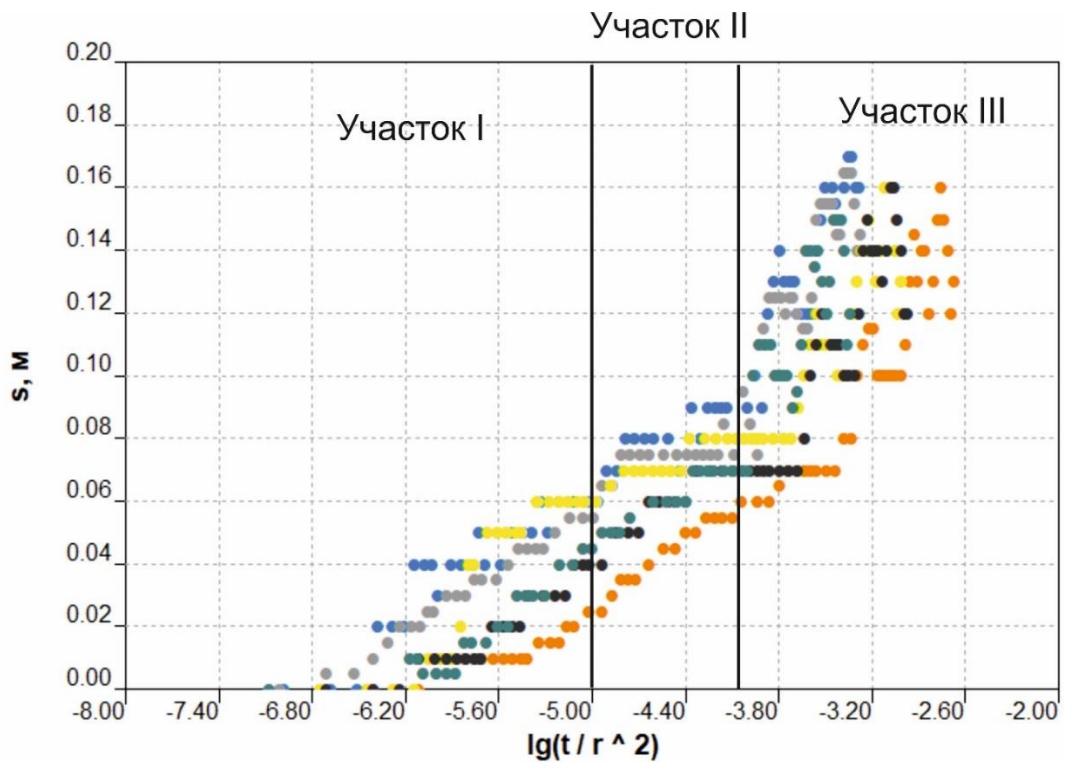


Рисунок 4.3.2.15. Графики временного прослеживания скважин 1Гг/2, 3Гг/2, 1Гг/4, 2Гг/4, 3Гг/4, 5Гг/4.

Участок ложностационарного режима продолжался 480-800 мин. Продолжительность участка, также аналогична откачки из 2Гг/5. Можно предположить, что генезис полученных участков в двух опытах аналогичен. Произвести расчёт расстояния

до границы в данной откачке представляется проблематичным, ввиду незначительных и практически равных абсолютных понижений в момент влияния ГУ, поэтому дистанция до условной фильтрационной границы учитывалась в соответствии с полученным результатом в откачке 2Гг/5. Количественная обработка опробования проводилась по схеме «Гейса» с ГУ II рода на расстоянии 110 метров от центральной скважины (Соорег Н.Н., Ясoв С.Е., 1946). Полученные фильтрационные параметры представлены на рисунках 4.3.2.16 – 4.3.2.17.

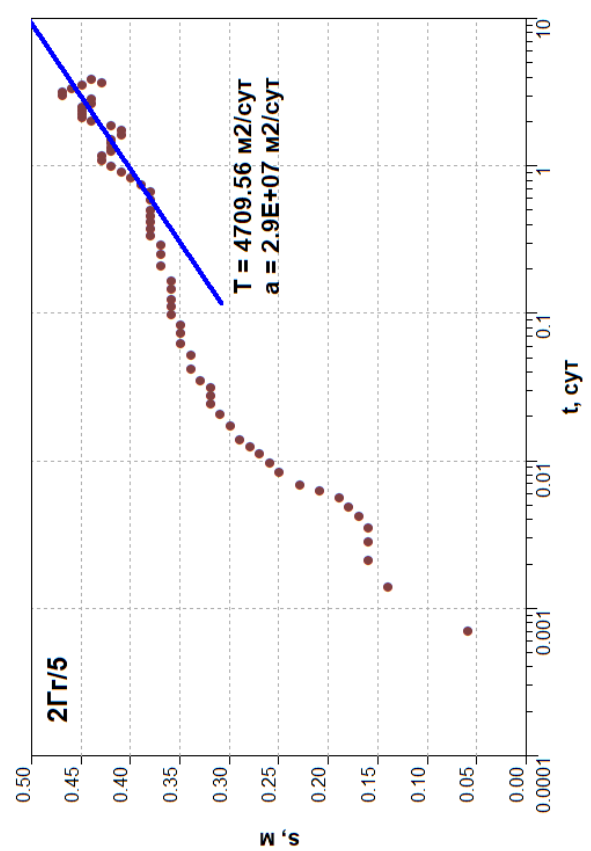
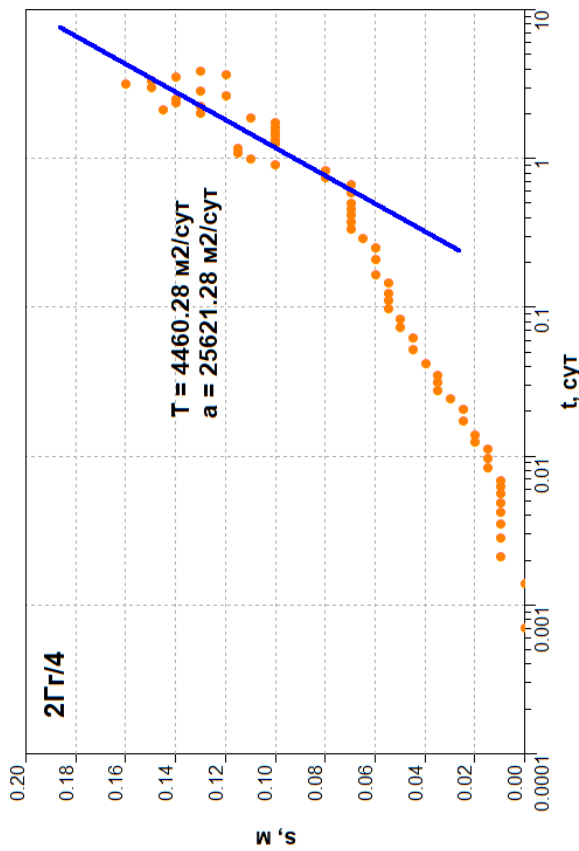
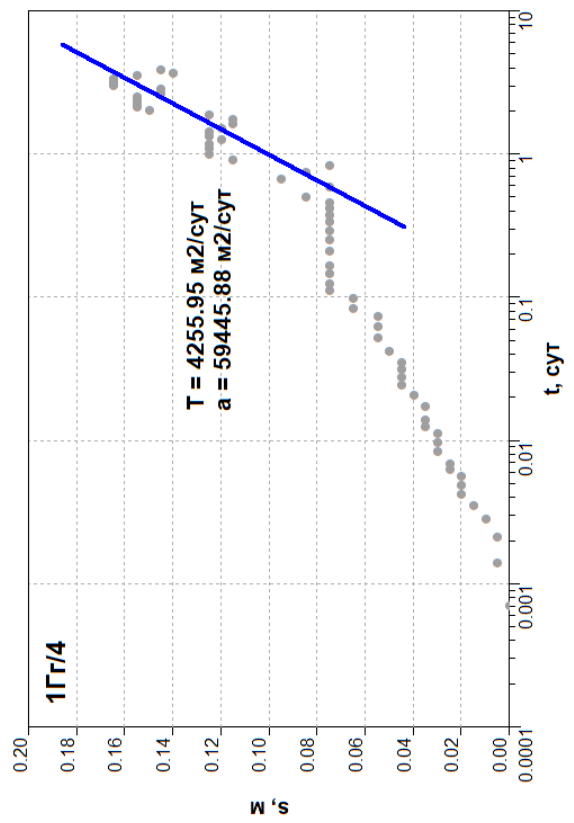
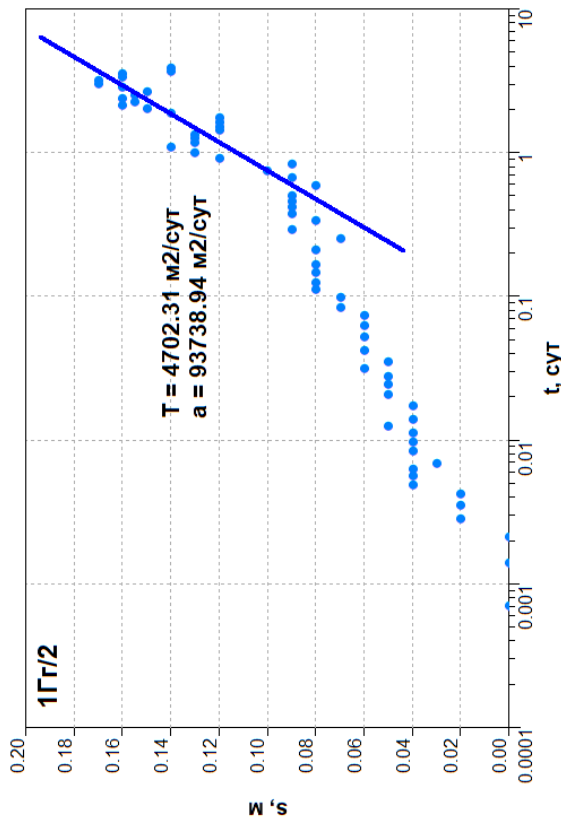


Рисунок 4.3.2.16. Графики временного прослеживания скважин 2ГГ/4, 1ГГ/2, 1ГГ/4, 2ГГ/5.

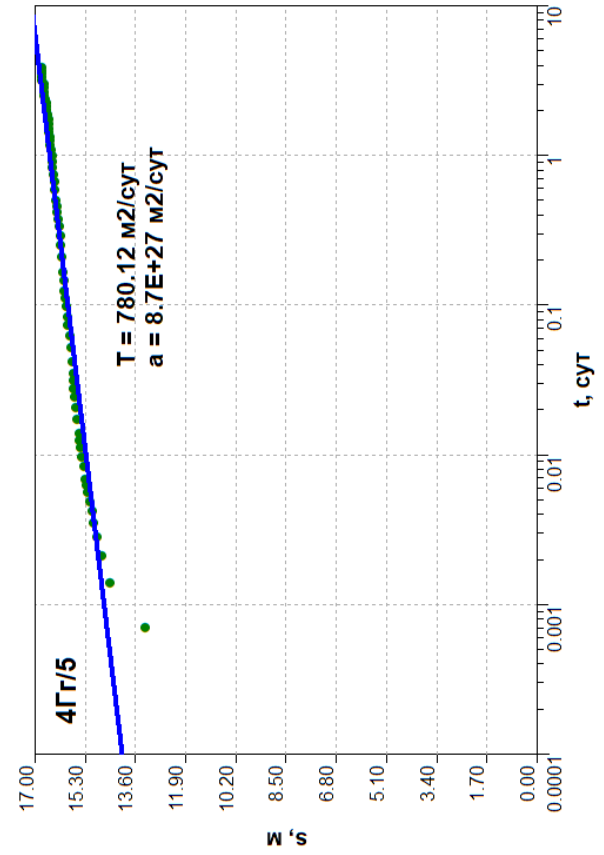
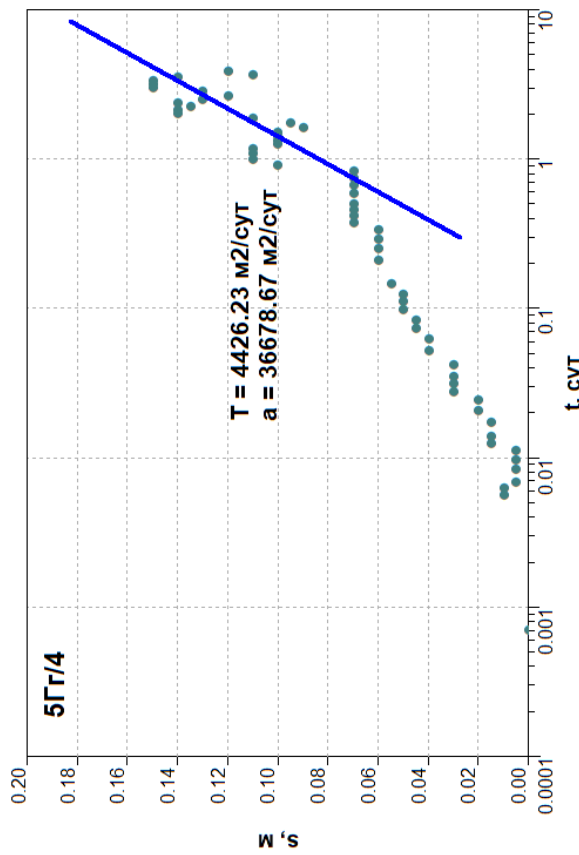
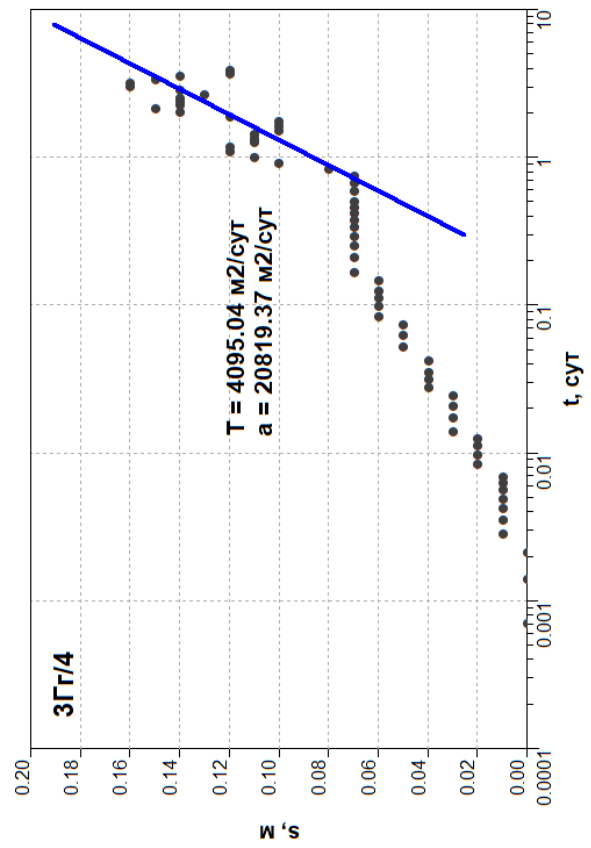
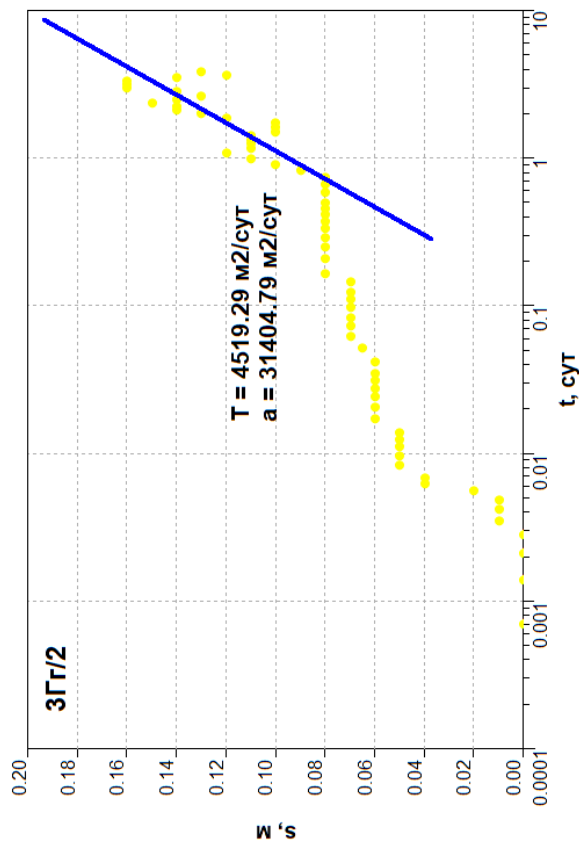


Рисунок 4.3.2.17. Графики временного прослеживания скважин 5ГГ/4, 3ГГ/2, 3ГГ/4, 4ГГ/5.

Кустовая откачка из скважины 2Гг/4

Откачка ведется из верхней части немдинского водоносного горизонта. Продолжительность откачки составила 1,52 суток. Откачка проводилась погружным центробежным насосом ЭЦВ 10-120-60. Средний дебит можно принять постоянным - 2710 м³/сут. Все гидрогеологические скважины на площадке являлись наблюдательными. Расстояния до центральной скважины показано на рисунке 4.2.3.18.

	2гг4
2гг4	0.084
1гг1	42.39
1гг2	43.48
1гг3	41.45
1гг4	40.88
2гг1	3.49
2гг5	4.85
3гг1	53.82
3гг2	52.67
3гг4	52.38
4гг5	42.66
5гг4	53.82

Рисунок 4.2.3.18. Расстояния от центральной скважины до наблюдательных.

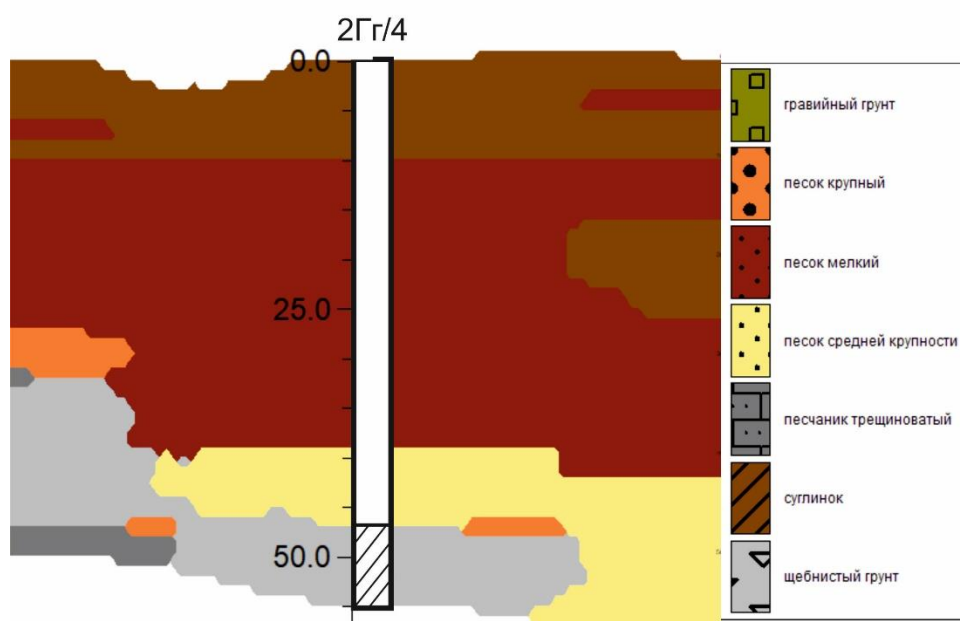


Рисунок 4.2.3.19. Схематическое положение фильтра скважины 2Гг/4 в разрезе
Штриховой линией показан интервал установки фильтра в скважине.

При качественном анализе графиков временного прослеживания было выделено два явных участка в скважинах 1ГГ/1, 1ГГ/2, 1ГГ/4, 2ГГ/5, 3ГГ/1, 3ГГ/2, 3ГГ/4, 4ГГ/5, 5ГГ/4: 1 – квазистационарный участок, продолжительностью 120-230 мин; 2 – явно выраженный стационарный участок до конца опробования (продолжительность 1,35-1,43 сут). Дополнительно, было диагностировано отсутствие «реакции» скважины 1ГГ/3, а также некондиционный график 2ГГ/1.

Более долгая продолжительность стационара в кустовой откачке 2ГГ/4, относительно продолжительности ложностационара в кустовых откачках 2ГГ/5 и 4ГГ/5, а также не проявление границы, указывают на другие гидродинамические процессы, протекающие в немдинском водоносном горизонте. Так как все наблюдательные скважины практически в один момент времени выходят на стационарный участок, можно утверждать наличие процессов перетекания из смежных водоносных горизонтов (условие $r/B < 2$). Главное отличие формы графики в опробовании из скважины 2ГГ/4 от форм в скважинах 2ГГ/5 и 4ГГ/5 это отсутствие третьего участка (рисунки 4.2.3.5, 4.2.3.13), связанного с проявление вероятной границы фильтрационной неоднородности (ГУ II (IV) рода). Это подтверждается формой графиков $S-t^{0.5}$ (рисунок 4.2.3.20). Таким образом, необходим выбор другой аналитической схемы обработки данного опробования, учитывающей природу участка II (рисунок 4.2.3.21).

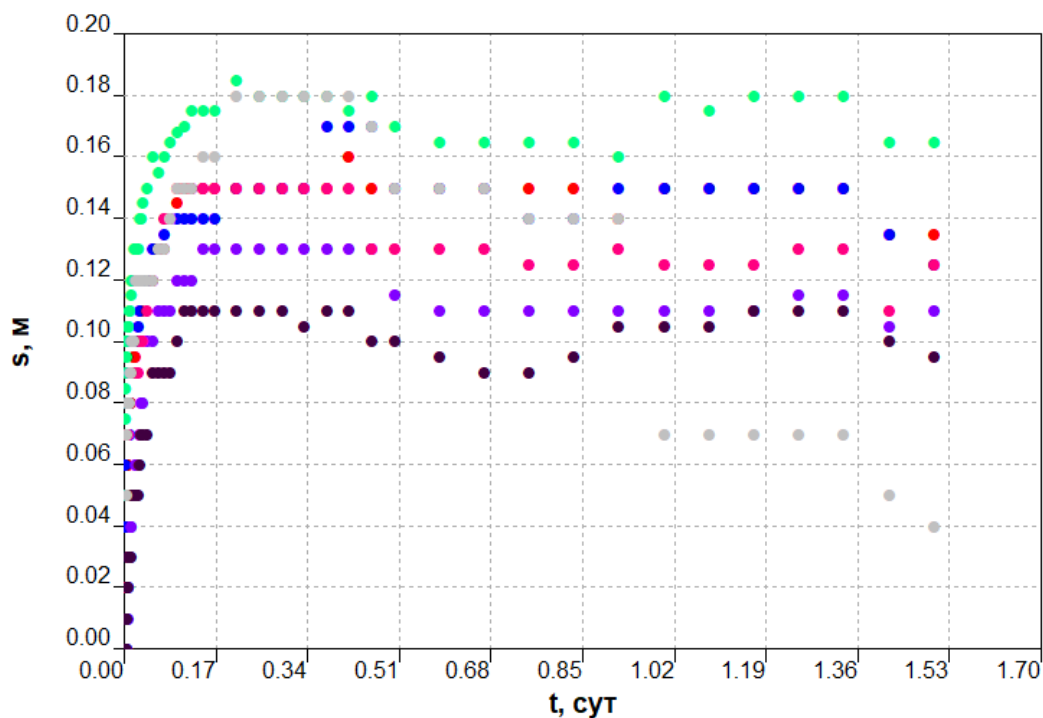


Рисунок 4.2.3.20. График $S-t^{0.5}$ скважин 1ГГ/2, 1ГГ/4, 2ГГ/5, 3ГГ/2, 3ГГ/4, 4ГГ/5, 5ГГ/4.

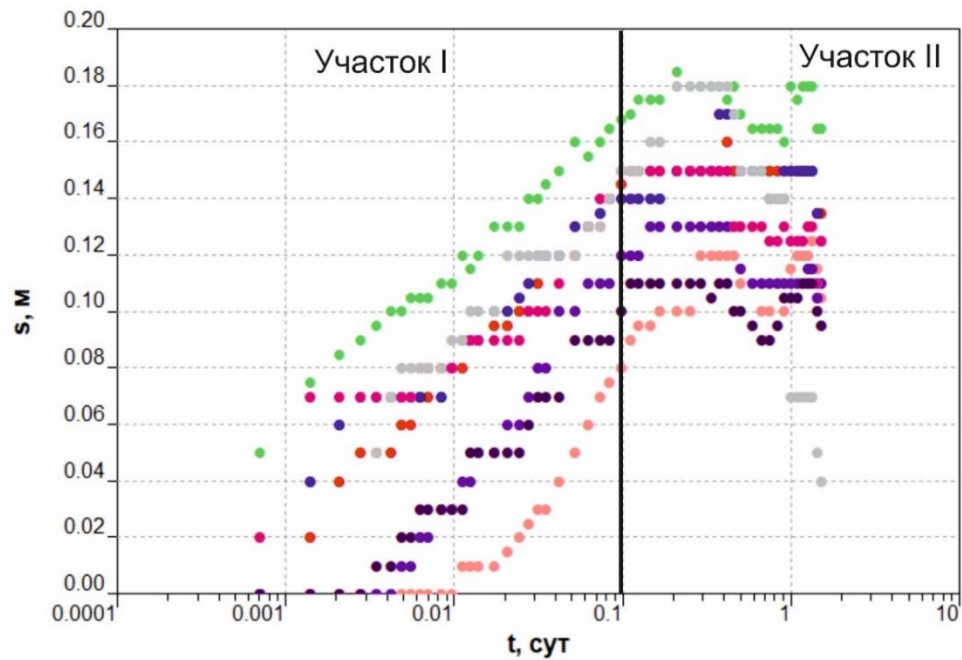


Рисунок 4.2.3.21. Графики временного прослеживания скважин 1ГГ/1, 1ГГ/2, 1ГГ/4, 2ГГ/5, 3ГГ/1, 3ГГ/2, 3ГГ/4, 4ГГ/5, 5ГГ/4.

Учитывая несовершенство скважины по степени вскрытия пласта, процессы перетекания, недостаточное количество информации о геологическом разрезе (глубина залегания подошвы немдинского водоносного горизонта, степень трещиноватости песчаника с глубиной, водообильность и тд), наиболее подходящей аналитической схемой будет являться «Пласт с перетеканием. Линейный источник. Профильно-анизотропный водоносный пласт. Решение Хантуша». Определение фильтрационных параметров водоносного горизонта происходит методом решения прямой задачи (Hantush M.S, 1964).

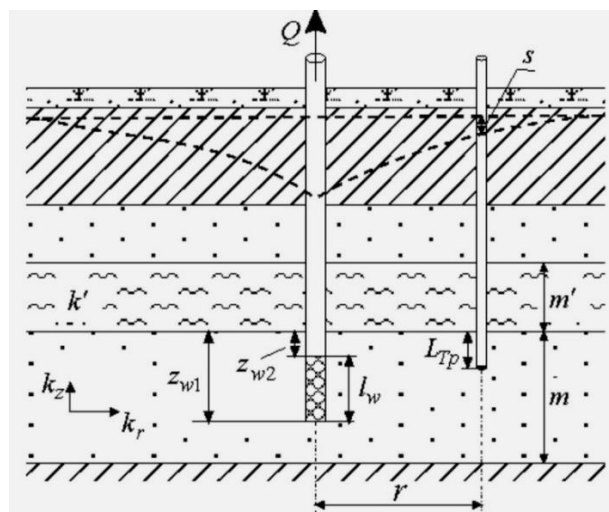


Рисунок 4.2.3.22. Схема «Пласт с перетеканием. Линейный источник».

Полученный параметры горизонтального и вертикального коэффициентов фильтрации (k_x , k_z) будут относиться к зоне палеовыветривания немдинского водоносного горизонта и к нижним литологическим разностям аллювиального водоносного горизонта. Рассчитанный параметр перетекания гидрогеодинамически будет связан с источником перетекания, нижней зоной немдинского водоносного горизонта.

При подборе параметров в данной аналитической схеме, наименьшая чувствительность наблюдалась у вертикального коэффициента фильтрации. Исходя из этого, к полученному k_z стоит относиться в большей степени как к качественной оценке. Полученные фильтрационные параметры подбирались по скважинам, фильтры которых оборудованы на немдинский и аллювиальный (нижнюю часть) водоносные горизонты. Результаты решения приведены на рисунках 4.2.3.23-4.2.3.24.

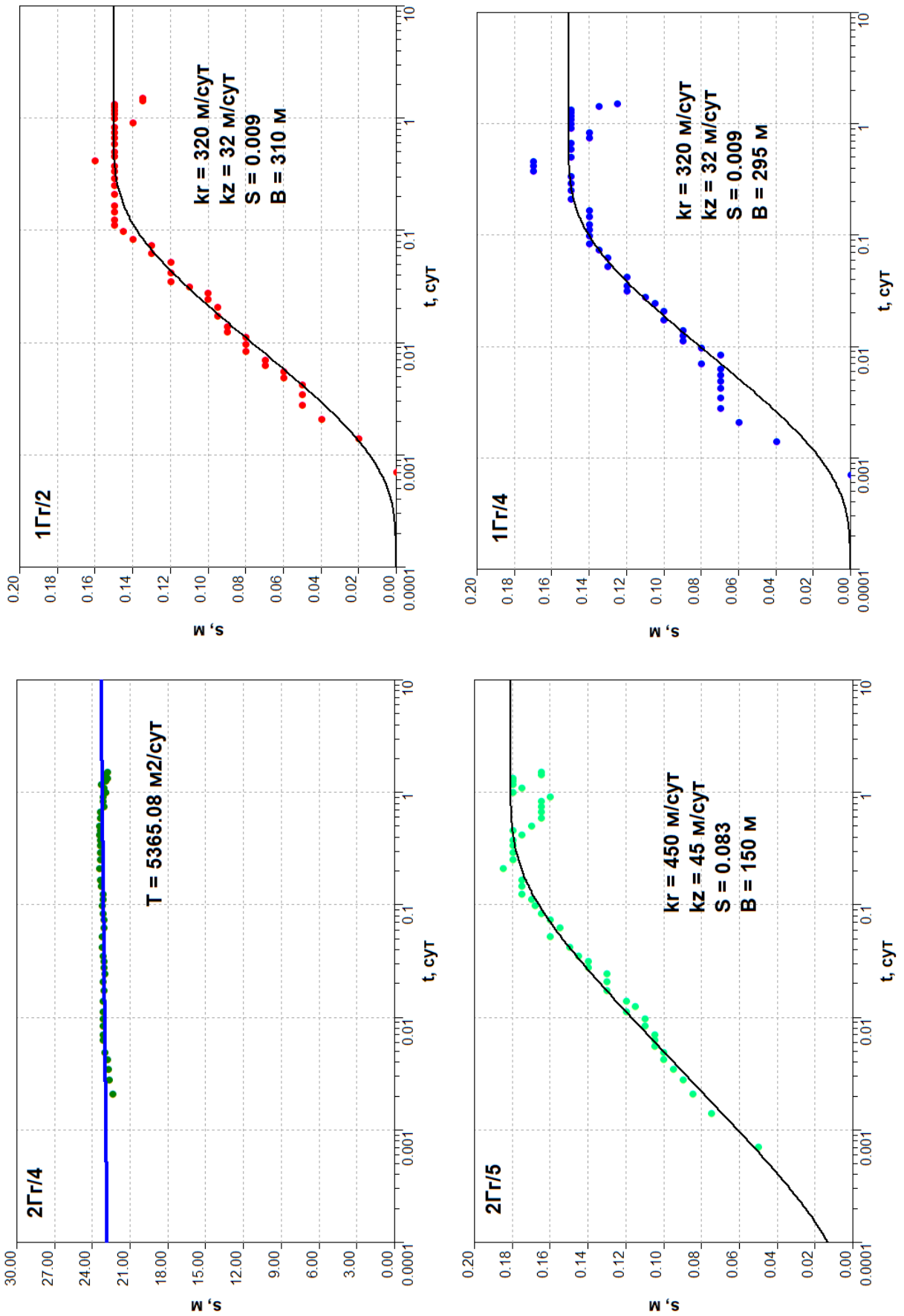


Рисунок 4.3.2.23. Графики временного прослеживания скважин 2ГГ/4, 1ГГ/2, 1ГГ/4, 2ГГ/5.

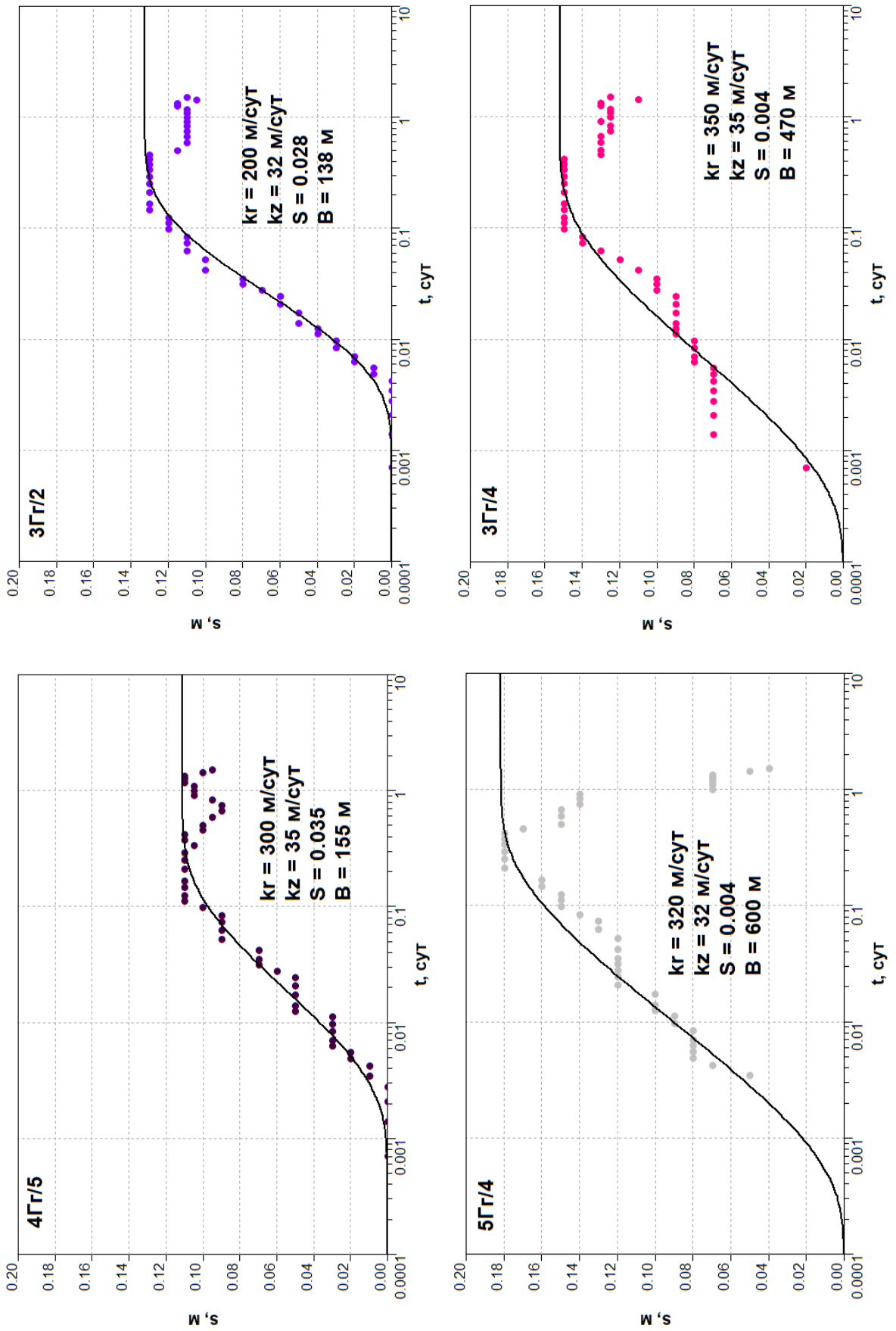


Рисунок 4.3.2.24. Графики временного прослеживания скважин 4ГГ/5, 3ГГ/2, 3ГГ/4, 5ГГ/4.

Кустовая откачка из скважины 1Гг4

Откачка ведется из верхней части немдинского водоносного горизонта. Продолжительность откачки составила 3,00 суток. Откачка проводилась погружным центробежным насосом ЭЦВ 10-120-60. Средний дебит можно принять постоянным – 1625 м³/сут. Все гидрогеологические скважины на площадке являлись наблюдательными. Расстояния до центральной скважины показано на рисунке 4.2.3.25.

Расстояние, м:	
	1гг4
1гг4	0.07
1гг1	2.014448
1гг2	2.614288
1гг3	2.781888
2гг1	44.34207
2гг4	40.88512
2гг5	44.83358
3гг1	81.82548
3гг2	80.00629
3гг4	81.25332
4гг5	82.42988
5гг4	45.24236

Рисунок 4.2.3.25. Расстояния от центральной скважины до наблюдательных.

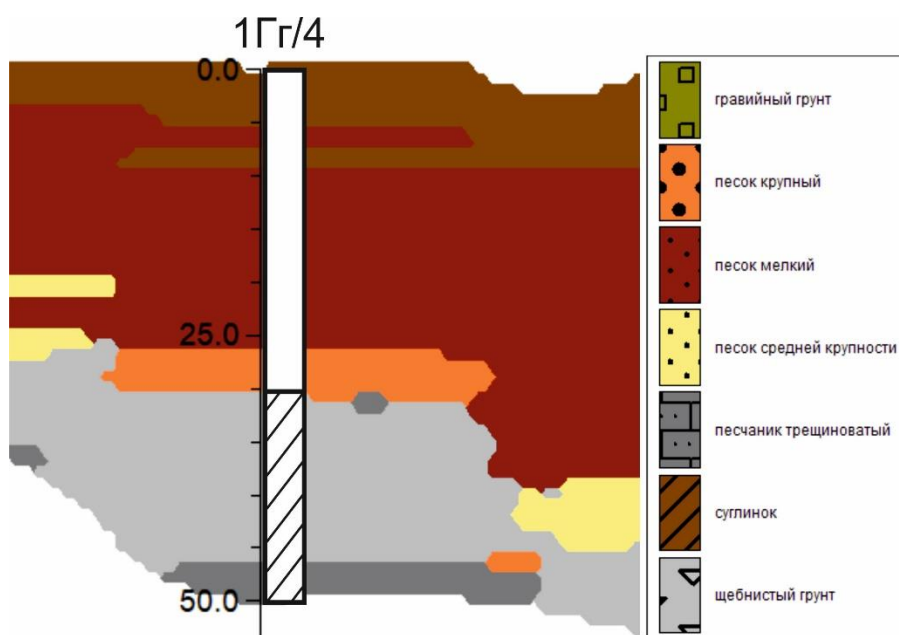


Рисунок 4.2.3.26. Схематическое положение фильтра скважины 1Гг/4 в разрезе
Штриховой линией показан интервал установки фильтра в скважине.

Кустовая откачка из скважины имеет противоестественную динамику понижений уровня. С 530 минуты от момента начала опробования, понижения во всех наблюдательных скважинах начинают уменьшаться, вплоть до достижения статического уровня на момент начала откачки. Так как замеры расхода центральной скважины показывают практически стабильный дебит на протяжении всего времени опробования, данный эффект возможно объяснить возникновением другого технического фактора, повлиявшего на проведение опыта.

Интервал опробования соответствует аналогичной откачки из скважины $2Гг/4$. Диагностика графика показала аналогичные участки квазиостационара и стационара, как и в кустовой откачки $2Гг/4$. Продолжительность стационара (до момента возникновения эффекта уменьшения понижения) составила $\approx 10-17$ часов. Если пренебречь возникшем техническим фактом при откачке, и допустить продолжения явно возникшего стационарного режима фильтрации, то вполне обоснованным будет применить для обработки данного опробования аналитическую схему «Пласт с перетеканием. Линейный источник. Профильно-анизотропный водоносный пласт. Решение Хантуша» (аналогично опробованию $2Гг/4$) (Hantush M.S, 1964).

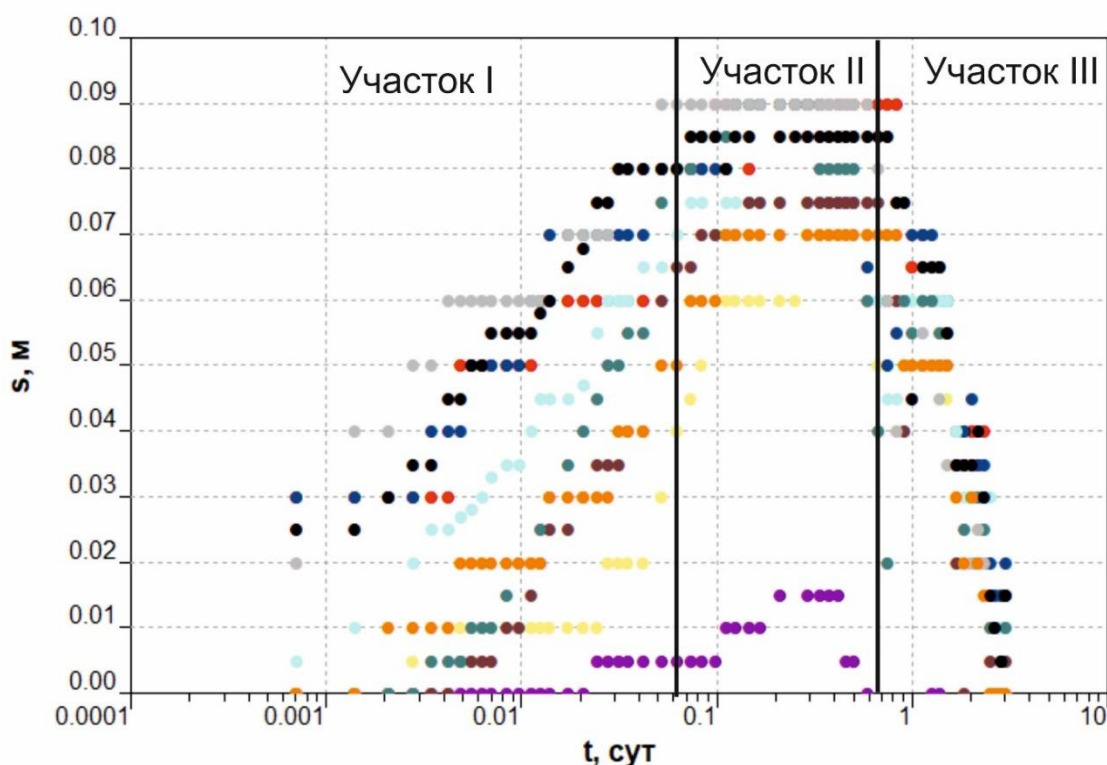


Рисунок 4.2.3.27. Графики временного прослеживания всех наблюдательных скважин кустовой откачки $1Гг/4$. Участок I соответствует квазиостационарному режиму; Участок II стационарному режиму; Участок III возникшему техническому эффекту при откачке.

При решении прямой задачи в процессе обработки опробования допускалось продолжения участка II. В результате подбора низкая чувствительность наблюдалась у вертикального коэффициента фильтрации (k_z). Довольно неоднозначные фильтрационные параметры были получены при обработке графиков временного прослеживания скважин 1ГГ/2, 2ГГ/5. Это можно объяснить расположением скважин в непосредственной близости от центральной скважины (2,61 м), где могут проявляться различные прискваженные эффекты, искажающие реальные фильтрационные параметры водоносного горизонта. Полученные параметры показана на рисунках 4.2.3.28 - 4.2.3.29.

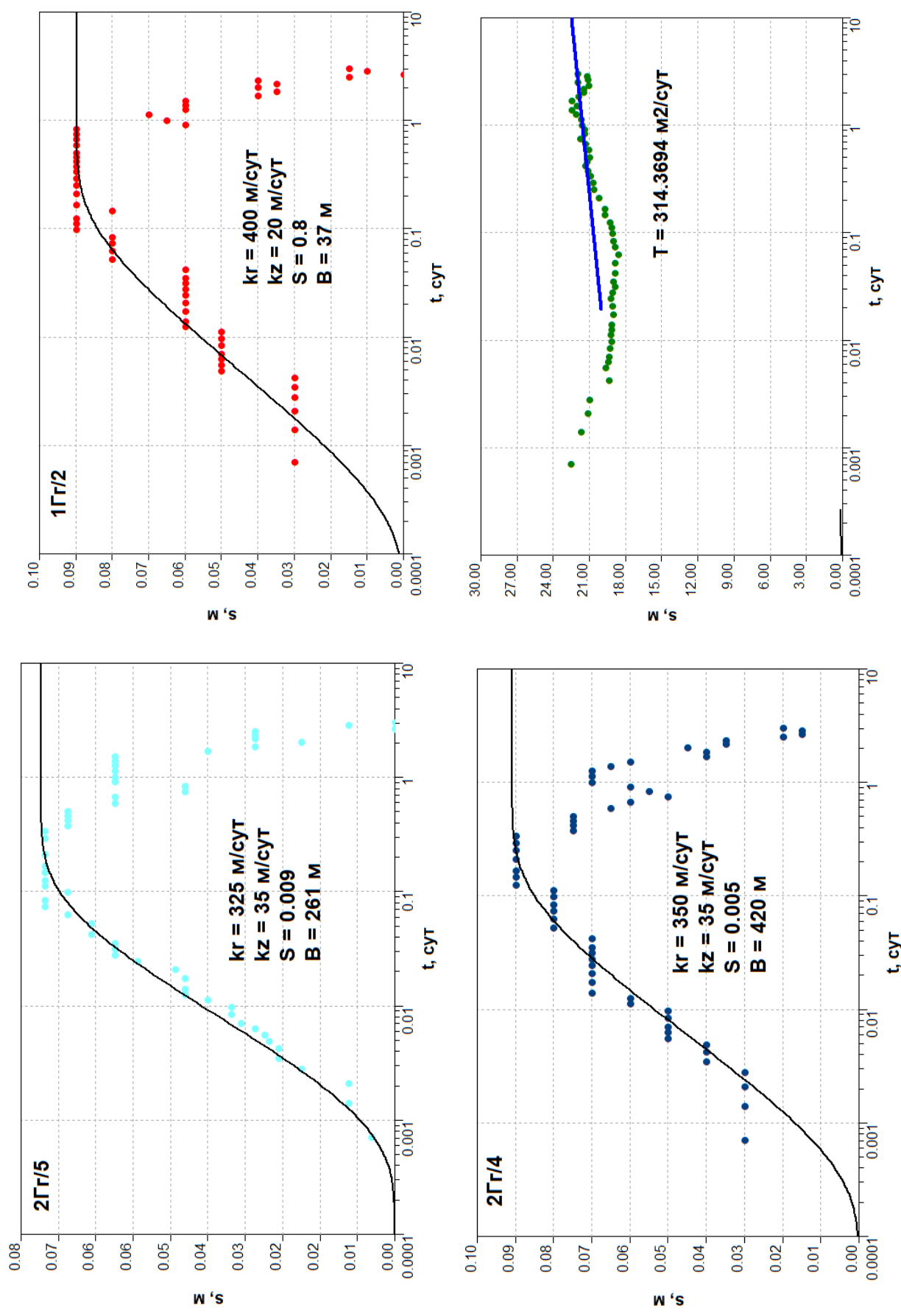


Рисунок 4.3.2.28. Графики временного прослеживания скважин 2ГГ/5, 1ГГ/2, 1ГГ/4, 2ГГ/4.

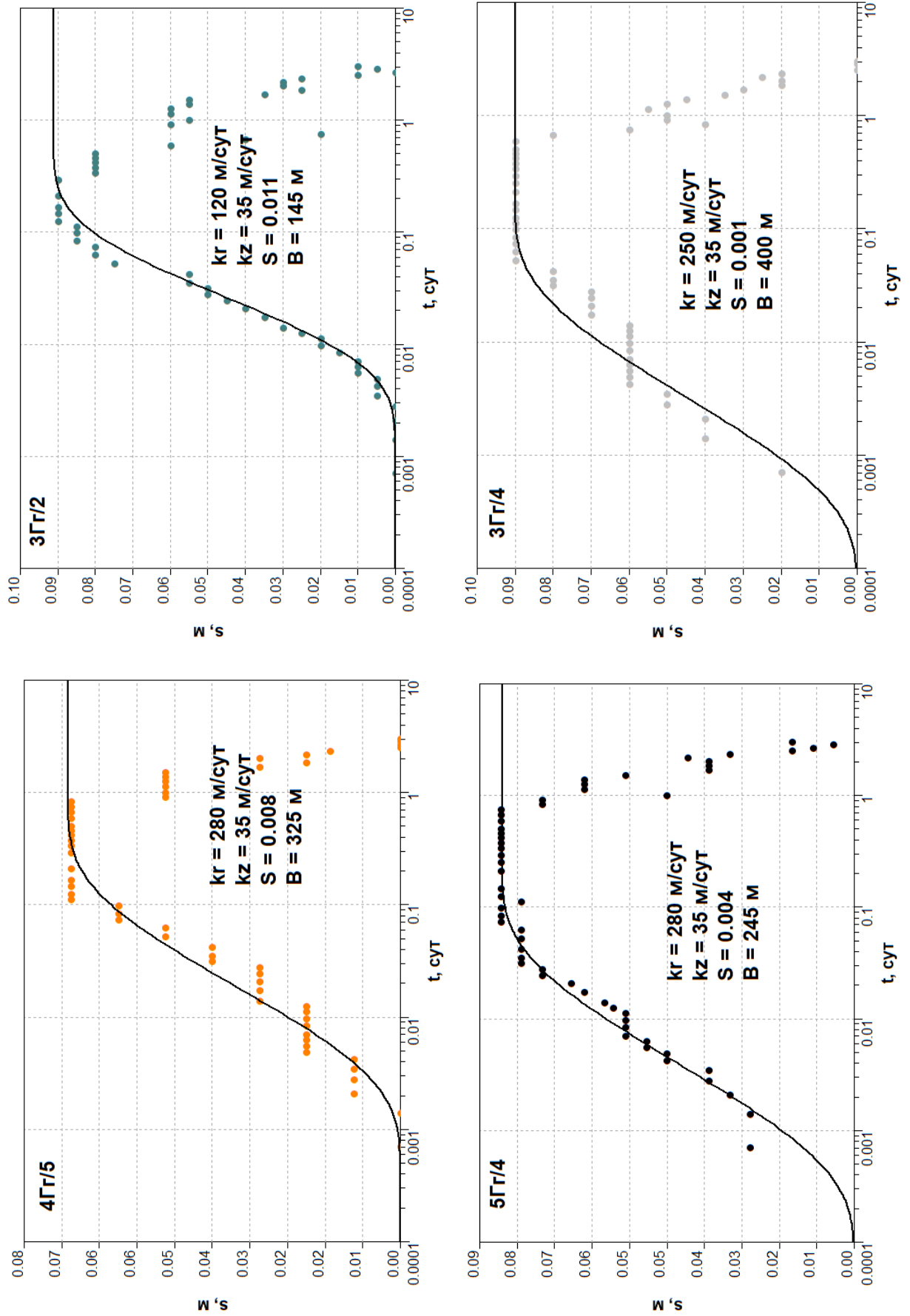


Рисунок 4.3.2.29. Графики временного прослеживания скважин 4ГГ/5, 3ГГ/2, 3ГГ/4, 5ГГ/4.

Таблица 4.2.3.1.

Полученные фильтрационные параметры по результатам кустовых откачек

Кустовая откачка из 2ГГ/5	Схема обработки: "Схема Тейса"							
№ скважины/Параметры	1ГГ/2	1ГГ/4	2ГГ/5	2ГГ/4	3ГГ/2	3ГГ/4	4ГГ/5	5ГГ/4
T, м ² /сут	4781,2	5452,7	1084,6	5776,3	5587,7	6069,5	6663,1	6290,7
a, м ² /сут	5,2E+04	3,8E+04	-	6,0E+03	5,1E+04	3,9E+04	7,7E+08	7,3E+04
kx*, м/сут	145,8	181,8	42,2	224,8	238,8	202,3	188,8	209,7
Кустовая откачка из 4ГГ/5	Схема обработки: "Схема Тейса"							
№ скважины/Параметры	1ГГ/2	1ГГ/4	2ГГ/5	2ГГ/4	3ГГ/2	3ГГ/4	4ГГ/5	5ГГ/4
T, м ² /сут	4702,3	4256,0	4709,6	4460,3	4519,3	4095,0	780,1	4426,2
a, м ² /сут	9,3E+04	5,9E+04	2,9E+07	2,5E+04	3,1E+04	2,0E+04	-	3,6E+04
kx*, м/сут	143,4	141,9	183,3	148,7	193,1	136,5	22,1	147,5
Кустовая откачка из 2ГГ/4	Схема обработки: "Линейный источник с перетеканием"							
№ скважины/Параметры	1ГГ/2	1ГГ/4	2ГГ/5	2ГГ/4	3ГГ/2	3ГГ/4	4ГГ/5	5ГГ/4
kx, м/сут	320,0	320,0	450,0	5365**	200,0	350,0	300,0	320,0
kz, м/сут	32,0	32,0	45,0	-	32,0	35,0	35,0	32,0
S, б/р	0,009	0,009	0,083	-	0,028	0,004	0,035	0,004
B, м	310	295	150	-	138	470	155	600
Кустовая откачка из 1ГГ/4	Схема обработки: "Линейный источник с перетеканием"							
№ скважины/Параметры	1ГГ/2	1ГГ/4	2ГГ/5	2ГГ/4	3ГГ/2	3ГГ/4	4ГГ/5	5ГГ/4
kx, м/сут	400,0	314**	325,0	350,0	120,0	250,0	280,0	280,0
kz, м/сут	20,0	-	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0
S, б/р	0,800	-	0,009	0,005	0,011	0,001	0,008	0,004
B, м	37	-	261	420	145	400	325	245

* kx брался в соответствии с принятой мощностью подгоризонта «б» и мощностью зоны палеовыветривания для каждой скважины отдельно. Для немдинского горизонта принималась 30 м.; ** для центральных скважин приводится водопроницаемость м²/сут.

4.2.4. Полученные фильтрационные параметры по результатам ОФР.

Полученные усредненные фильтрационные параметры, с учётом всех аномальных значений, были структурированы в таблицу 4.2.4.1.

Таблица 4.2.4.1.

Полученные фильтрационные параметры по результатам ОФР

Выделенная гидрогеологическая единица	Фильтрационные параметры		Количество определений	Минимальное значение	Максимальное значение	Стандартное отклонение
	kx, м/сут	kz, м/сут				
Аллювиальный горизонт, Подгоризонт "а"	6,32	-	10	0,3	17,67	5,55
Аллювиальный горизонт, Подгоризонт "б"	219,8	35,6	12	120	325	68,44
Немдинский водоносный горизонт	229,4	34,0	15	136,5	350	74,86

Анализ полученных геофильтрационных значений позволят сделать следующие выводы:

- в результате кустовых откачек была подтверждена тесная гидравлическая связь подгоризонта «б» аллювиального водоносного горизонта и немдинского водоносного горизонта;

- ОФР позволили установить высокую профильную и плановую фильтрационную неоднородность водоносных горизонтов;

- высокий полученный разброс коэффициентов фильтрации по одиночным опробований может быть объяснен приуроченности к различным литологическим разностям в аллювиальных отложениях;

- площадка строительства находится в зоне повышенных фильтрационных значений водоносных горизонтов, которая, вероятнее всего, приурочена к погребенной долине р. Казанка;

- так как по результатам кустовых опробований были установлены высокие коэффициенты фильтрации (220-230 м/сут) немдинского водоносного горизонта и подгоризонта «б» аллювиального горизонта, а также принимая во внимание их тесную гидравлическую связь, вероятнее всего, такие высокие фильтрационные параметры подгоризонта «б» могут быть приурочены к гравелистым и крупным пескам на контакте с породами немдинской свиты.

- довольно высокие коэффициенты фильтрации, полученные по результатам ОФР, могут обозначать возможное проявление турбулентного режима течения и, следовательно, отклонения от закона Дарси.

5. ОЦЕНКА ВОДОПРИТОКА И РАСЧЁТ ДРЕНАЖНОГО КОНТУРА

Прогноз водопритока в котлован предшествует обоснование исходной расчётной схемы, охарактеризованной количественно фильтрационными параметрами по результатам обработки ОФО (раздел 4).

Комплексная оценка всей инженерно-гидрогеологической информации, полученный по результатам проведенных работ, а также анализ произошедшего стремительного затопления котлована КНС «Заречная», предполагает проектирование и создание системы дренажа, состоящей из водопонижительных скважин по контуру строящегося объекта.

На основании полученной информации о сложности гидродинамических условий области, необходимо было переинтерпретировать принятую ранее схематизацию к максимально подходящим условиям, с точки зрения аналитического расчёта водопонижающего контура.

Схематизация гидрогеологических условий для расчёта дренажного контура подразумевает наличие двух водоносных горизонтов с различными принятыми средними коэффициентами фильтрации. Первый горизонт расположен от поверхности земли до глубины с а.о 27,5 м. Коэффициент фильтрации был принят 6,5 м/сут. Второй горизонт залегает на абсолютных отметках от 27,5 до -2,5 м. Коэффициент фильтрации был принят 224,6 м/сут. В данной расчётной схеме первый горизонт характеризует подгоризонт «а», второй – тесно связанные подгоризонт «б» и немдинский водоносный горизонт с усредненным значением k_x (рисунок 5.1). Дополнительно, согласно результатам ОФР, в принятой схематизации было учтено наличие резкой смены фильтрационных параметров с в аллювиальных отложениях с помощью задание ГУ II рода. Так как точное положение и форма границы неизвестна, в принятой расчётной схеме она была задана прямолинейным участком на расстоянии 160 метров от скважины 2Гг/5 в западном направлении (рисунок 5.2).

Как видно на рисунке 5.1, для безопасного продолжения строительства сооружения, необходимо создать понижение уровня подземных вод до отметки, как минимум, ниже на 1 метр подошвы разрушенного гидростатическим давлением грунтоцементного основания – а.о 35,00 м.

Расчёты оценки величины водопритока, количество водопонижающих скважин, плановое расположение контура на площадке, глубину и интервалы установки фильтров,

подбирались по результатам аналитического моделирования скважинных систем AMWELLS, интегрированного в программный комплекс ANSDIMAT.

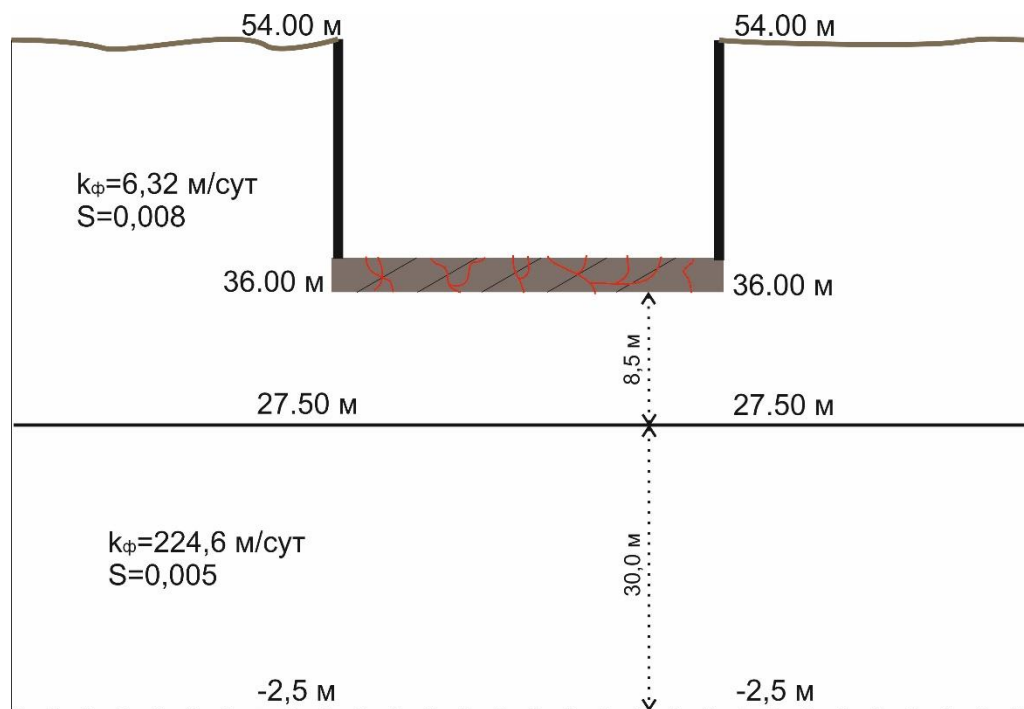


Рисунок 5.1. Принятая схематизация для расчёта водопонижающего контура вокруг котлована. Цифры глубин указаны в абсолютных отметках.

В принятой схематизации главным источником водопритока в котлован будет является второй водоносный горизонт, находящийся в напорной постановке. Вклад в водоприток первого горизонта будет зависеть в первую очередь от его емкостных запасов, так как в рассматриваемой среде он будет является относительным водоупором с упругим режимом фильтрации. Было выбрано несколько вариантов конфигурации водопонижающего контура, с различным количеством и производительностью скважин. Выбор числа водопонижающих скважин зависел от распределения производительности между ними с возможностью в дальнейшем подобрать соответствующие водоподъемное оборудование, а также учитывалось создание равномерной депрессионной воронки вокруг котлована с целью перехвата потока подземных вод со всех возможных направлений. Наиболее оптимальной формой взаимоположения системы дренажа в плане будет окружность (кольцевой дренаж) в количестве 15 водопонижающих скважин, с расстоянием между каждой в 8-12 м и средним радиусом ≈ 27 м (рисунок 5.2). Интервал установки фильтровой части каждой скважины должен находится как минимум в 30 м немдинского водоносного горизонта (щебнистый грунт, песчаник трещиноватый) и в крупных фракциях

песчаных отложений нижней части аллювиальных отложений (песок крупный, гравелистый). Схематическая конструкция скважин приведена в таблице 5.1.

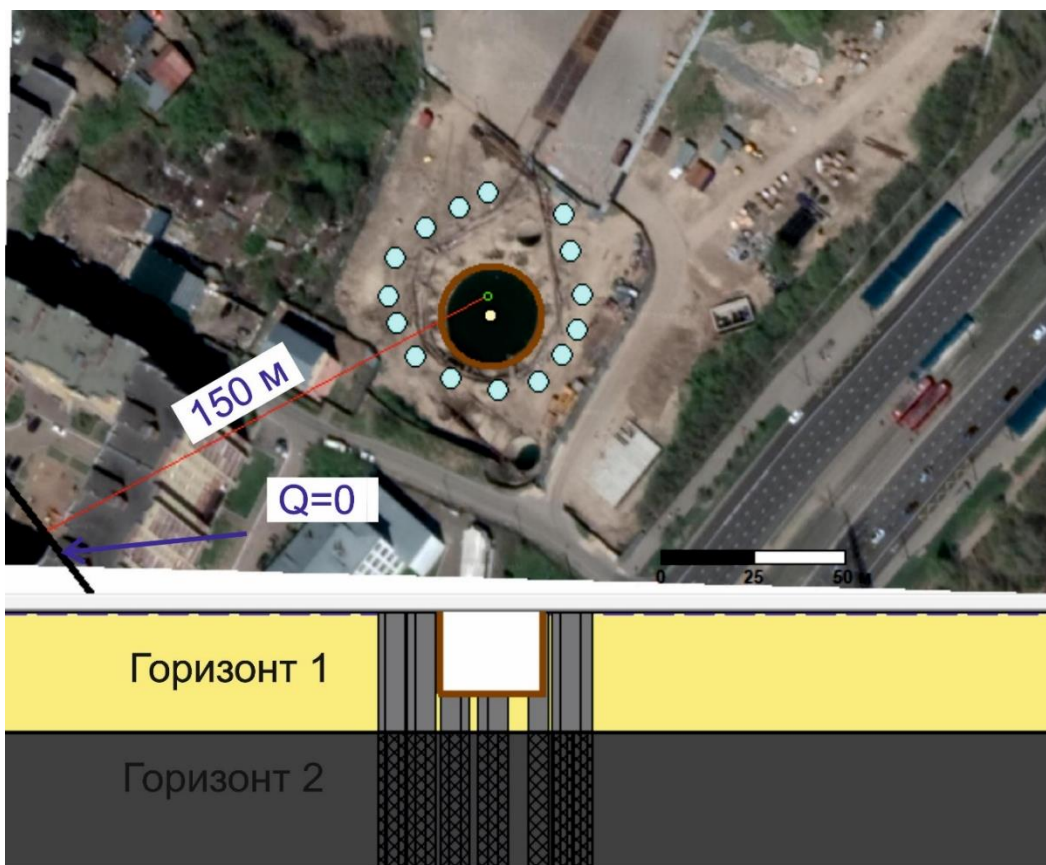


Рисунок 5.2. Конфигурация системы дренажа на площадке строительства.
(точки бирюзового цвета обозначают водопонижающие скважины).

Таблица 5.1.

Конструкция водопонижающих скважин

Диаметр бурения обсадной трубы, мм/глубина, м	Диаметр технической колонны, мм/глубина, м	Диаметр фильтровой колонны, мм/глубина	Диаметр отстойника, мм/глубина, м	Общая глубина, м	Водоподъемное оборудование
635/10	429/25-40*	378/30**	378/3***	58-73	ЭЦВ 12-250-70 нро

*-в зависимости глубины кровли крупнозернистого песка

**-указана глубина от башмака технической колонны (фильтр устанавливается «впотай»)

***-глубина указана от башмака фильтровой колонн

По результатам аналитического моделирования были подобраны расходы для каждой скважины ВПК (водопонижающий контур). Полученные значения приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2.

Результаты аналитического моделирования

Количество скважин	Суммарный водоприток в котлован, м ³ /ч	Расход каждой скважины ВПК, м ³ /ч	Понижение под центральной частью котлована, м	Расчётное время от начала работы всего контура, сут*	Суммарный расход контура, м ³ /ч
15	3693,3	262,3	17.51 (36.49 а.о)	15	3 934,5
15	3663,3	262,3	19.00 (35.00 а.о)	30	3 934,5
15	3270,7	262,3	21.51 (32.49 а.о)	90	3 934,5

* время от начала работы всех скважин

Данная схематизация подразумевает создание совершенного дренажного контура по характеру вскрытия водоносного горизонта. Так как полная мощность второго водоносного горизонта была принята условно с «запасом» в 30 м. Таким образом, результаты аналитического моделирования в принятой схематизации показали довольно высокие прогнозируемые водопритоки, что потребовало проектирование высокопроизводительной дренажной системы для относительно малой площади.

Принимая во внимание факт применения аналитических зависимостей в весьма сложных гидрогеологических условиях, необходимо понимать возможное допущение, или недооценку каких-либо конфигураций области фильтрации, играющих главную роль в величине водопритока.

Дополнительно, автором было проведен расчёт водопритока в условиях, когда строительный котлован частично вскрывает напорный водоносный горизонт (the foundation pit partially penetrating the confined aquifer) по приведенной аналитической зависимости (Groundwater Engineering, 2017):

$$Q = \frac{2\pi kSR_0}{\frac{\pi}{2} + 2\operatorname{arcsch} \frac{R_0}{M + \sqrt{M^2 + R_0^2}} + 0.515 \frac{R_0}{M} \ln \frac{R + R_0}{4M}} ; \quad 5.1$$

где: k -коэффициент фильтрации, м/сут (224,6 м/сут); S -понижение, м (19 м); R_0 -радиус котлована, м (14 м); M -мощность напорного горизонта, м (30 м); $arcsn$ -аресинус; R -радиус влияния, м (10080 м); Q -величина водопритока в котлован, м³/сут.

Радиус влияния определялся согласно наличию ГУ II рода в 150 м:

$$R = \frac{2.25a^*t}{2L_0}; \quad 5.2$$

где: a^* -пьезопроводность водоносного горизонта, м²/сут (44920 м²/сут); L_0 -расстояние до границы, м (150 м).

Результат водопритока по формуле 5.1 оказался на 38,9 % больше в сравнении с ранее полученным результатом (5088 м³/ч на 30 сутки для а.о 35,00). Полученное значение можно рассматривать как ориентировочную величину в случае, если бы котлован вскрыл своим дном горизонт 2 (рисунки 5.1-5.2) (Groundwater Engineering, 2017).

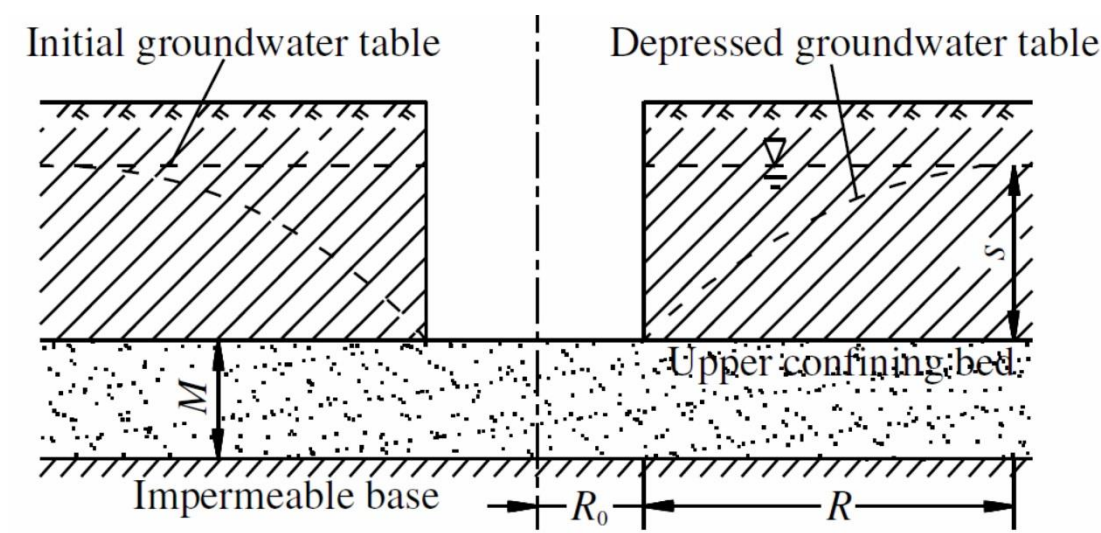


Рисунок 5.2. Схема для аналитической зависимости по формуле 5.1.

По результатам выполненных расчётов дренажного контура можно сделать следующие выводы:

- скважины ВПК должны иметь соответствующий диаметр эксплуатационной/фильтровой колонны для монтажа в них соответствующего водоподъемного оборудования. Глубина скважин, расположенных вблизи погребенной долины может быть больше 45-70 метров. Глубина загрузки насоса должна соответствовать призабойной части скважины (таблица 5.1);

- расчёт производился в условии открытого дна котлована без наличия шпунтового ограждения и поврежденного грунтоцементного основания. Расчёт без учёта наличия jet grouting на дне котлована создает дополнительный «коэффициент запаса» при оценке величины водопритока, за счёт меньшей площади контакта выработки с гидрогеодинамической средой;

- создание понижения уровня подземных вод, а также наличие высоких скоростей фильтрации на контакте открытого дна котлована с грунтовым массивом может вызвать проявление опасных инженерно-геологических процессов (см. раздел 6)

6. ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА СООРУЖЕНИЯ

Дальнейший процесс строительства здания в условиях работы относительно мощного дренажного контура на площадке, и последующая эксплуатация канализационной насосной станции, требует анализа и прогноза возможных проявлений опасных инженерно-геологических/гидрогеологических процессов, спровоцированных влиянием интенсивной техногенной нагрузкой в сложной геолого-гидрогеологической среде.

6.1. Расчёт просадок земной поверхности вследствие работы дренажного контура.

Снижение напоров подземных вод в аллювиальном и немдинском водоносном горизонте может привести к возможному возникновению просадок поверхности земли в результате изменений эффективных напряжений в грунтовом массиве.

При работе дренажного контура на момент 30 суток от начала водопонижения, будут сдвинуты литологические прослои аллювиальных отложений, физико-механические характеристики которых приведены в таблице 6.1.1.

Таблица 6.1.1.

Физико-механические свойства выделенных инженерно-геологических элементов

Литологическая разность	Средняя мощность, м	Модуль деформации, МПа	Плотность, г/см ³
Суглинок	4,45	12,1	1,86
Супесь	4,9	11,2	1,79
Песок пылеватый	9,1	23,59	2,09

Расчёт просадок земной поверхности выполняются для оценки опасности существующим сооружениям в области развития депрессионной воронки по величинам суммарных просадок, что может угрожать целостности фундаментов сооружений. Расчёт деформация грунта проводился методом послойного суммирования (в соответствии с СП 103.13330.2013, СП 22.13330.2010):

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{m_i \Delta \delta_z}{E_i}; \quad 6.1.1.$$

где: где S – полная осадка грунтовой толщи; m_i – мощность слоя грунта; $\Delta\sigma_z$ – среднее значение дополнительного вертикального напряжения, вызванного снижением уровня подземных вод; E_i – модуль деформации i -го слоя

$$\delta_{mi} = \sum_{i=1}^n (\gamma_i m_i) - \gamma_w h_w;$$

$$\delta_{mi}^* = \sum_{i=1}^n (\gamma_i m_i) - \gamma_w h_w^*;$$
6.1.2.

где γ_i – удельный вес породы, т/м³; γ_w – удельный вес воды, т/м³; h_w – высота уровня подземных вод над расчетным слоем до водопонижения, м; h_w^* – высота уровня подземных вод над расчетным слоем после водопонижения, м.

Полученные средние значения деформаций в области максимального водопонижения (цент площадки строительства) находятся в диапазоне от 0,006-0,01 м.

Как видно из полученных данных, в наихудшем варианте максимальная просадка будет составлять около 1 см в центральной части депрессионной воронки. Исходя из этого, просадки на расстоянии от площадки строительства будут ещё более незначительными ввиду меньшего понижения уровня. Необходимо отметить, что полученный параметр является дополнительным фактором, влияющим на деформацию поверхности земли в области гражданской застройки и для оценки его значимости необходимо провести комплексный анализ всей имеющейся информации геотехнического мониторинга ближайших сооружений.

6.2. Оценка прогнозов проявлений возможных суффозионных процессов

Фильтрационный поток подземных вод в горных породах при определенных условиях может привести в движение мелкие частицы, находящиеся в составе обломочных пород (песков, гравия, галечника и др.) или заполнителя трещин и карстовых полостей, и вызвать вынос их из породы. Этот процесс выноса мелких частиц из породы, заполнителя трещин, полостей, представляющий собой своеобразный процесс подземного размыва горной породы, принято называть суффозией. Если суффозия возникает и развивается в основании сооружений, то это может вызвать значительные и неравномерные осадки, нарушения устойчивости, деформации и разрушения. Суффозия может резко изменить водопроницаемость пород, тем самым вызвав образование промытых путей и

соответственно большие притоки воды в строительные котлованы. Также, суффозионные процессы очень часто приводят к нарушению нормальной работы дренажей, фильтров водозахватывающих сооружений вследствие кольматажа, т.е. вымывание мелких частиц в поры и пустоты заполнителя дренажей и фильтров водопонижающих скважин, в результате чего их водопроницаемость уменьшается, и они могут выйти из строя (Ломтадзе В.Д, 1977).

Развитие суффозионных процессов возможна при следующих условиях:

- 1) определенной неоднородности породы, при которой возможно передвижение более мелких частиц среди более крупных и их вынос;
- 2) определенных градиентах потока, вызывающих образование повышенных скоростей фильтрации воды или определенной величины гидродинамического давления в породе;
- 3) наличие области выноса, разгрузки породы от мелких частиц (котлованы, подземные выработки, карьеры).
- 4) контрастное различие коэффициентов фильтрации на границе разделов литологических разностей.

Перечисленные условия на исследуемом объекте при качественной оценки существуют, поэтому проявление данного инженерно-геологического процесса на площадке строительства вполне возможно при частичной или полной аварийной остановке работы дренажного контура на моменты, когда ещё не будет установлена изолирующая конструкция на дне котлована (железобетонное основание).

Для количественной оценки проявления суффозии в момент отключения ВПК необходимо оценить следующие инженерно-геологические/гидрогеологические параметры:

- коэффициент неоднородности (K_n) грунтов, находящихся в зоне близкой к дну котлована и по периметру шпунтового ограждения (критерий - $D_{60}/d_{10} > 10$);
- возникший градиент напора относительно уровня подземных вод и открытым дном котлована (критерий - I_c);
- различие проницаемости отложений на границе двух разных литологических разностей (критерий - $k_1/k_2 > 2 \div 3$);

Коэффициент неоднородности грунтов, потенциально вовлеченных в процесс суффозии был посчитан согласно гранулометрическому анализу, полученному по результатам лабораторных работ (Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий..... ООО «ПРОГЕО» 2017).

Результаты анализа неоднородности выделенных литологических разностей

Литологическая разность	Коэффициент неоднородности	Классификация согласно ГОСТ 25100	Оценка подверженности проявления суффозии*
Песок пылеватый	0,5-2,1	однородный грунт	нет
Песок мелкий	0,7-2,4	однородный грунт	нет
Песок средней крупности	2,2-3,5	однородный грунт/неоднородный грунт	нет
Песок крупный	3,8-4,0	неоднородный грунт	нет
Щебнистый грунт	≈40-500	неоднородный грунт	да

* $K_n \geq 10-20$ (. Groundwater Engineering, 2017)

Результаты анализа показывают высокую неоднородность щебнистого грунта немдинской свиты, в то время как литологические фракции аллювиальных отложений, расположенные в зоне потенциального «размыва», обладают в среднем равным гранулометрическим составом.

В момент остановки работы водопонижающего контура, будет происходить стремительное повышение уровня подземных вод, ввиду значительных коэффициентов фильтрации пород. Одновременно с этим будет происходить затопление котлована, т.е в этот момент времени создается разница уровней в водоносном комплексе и внутри котлована, по причине наличия на его дне остатков грунтоцементного основания, затрудняющего фильтрацию подземных вод в него. Точно оценить возникший в этот момент градиент напора довольно затруднительно.

Если принять условно мгновенное восстановление уровня подземных вод вне котлована до статической отметки (а.о 53,5 м), то можно предположить градиент напора – $(53,5-36,00)/10,92=1,6$ (рисунок 6.2.1).

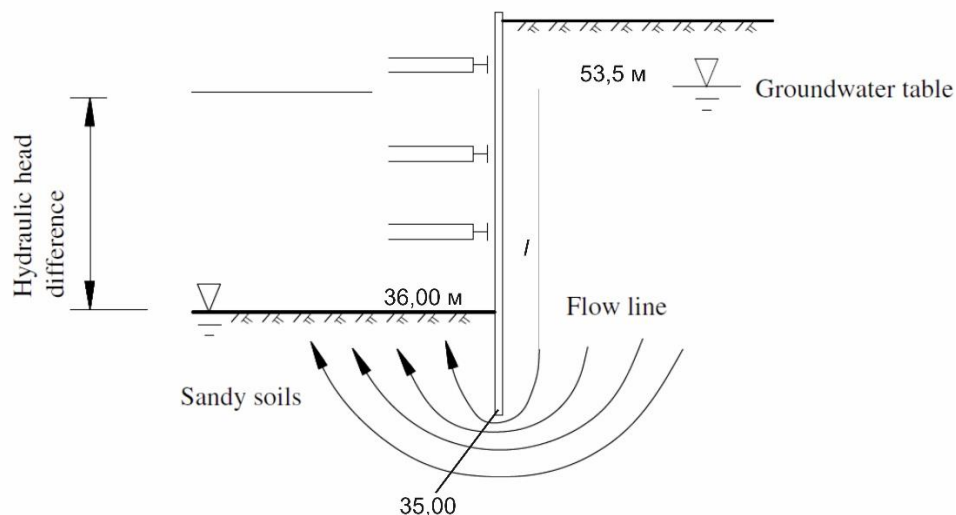


Рисунок 6.2.1. Схематизация условия возникновения критического градиента.
(Groundwater Engineering, 2017).

Гидродинамическое условие (6.2.1), при котором возможно проявление выноса частиц грунта в котлован вычисляется по формулам (6.2.2)

$$I < I_c \quad 6.2.1.$$

$$I = \frac{h_w}{l} \quad 6.2.2$$

$$I_c = \frac{G_s - 1}{1 + e}$$

где: I -гидравлический градиент; I_c -критический гидравлический градиент; G_s -удельный вес грунта, Н/м³; e -коэффициент пористости грунта; l -кратчайшая длина линии тока; h_w -разница уровней подземных вод внутри котлована и за шпунтовым ограждением.

В принятых конфигурациях, условия 6.2.1. для пылеватого песка в основании котлована выполняется: $1,6 < 9,19$ (Groundwater Engineering, 2017).

Таким образом, анализ двух критериев из трёх показал низкую потенциальную возможность проявления суффозионных процессов под дном котлована. Однако, стоит отметить, что данные эмпирические критерии не учитывают важный параметр скорости фильтрационного потока, возникающего на контакте песчаных пород и дна подошвы котлована. Оценка этого параметра представляется затруднительной из-за отсутствия информации о степени деформации/трещиноватости грунтоцементного основания.

Потенциально, скорости фильтрации в этих зонах могут достигать колоссальных значений. Также, при анализе было обнаружено, что щебнистый грунт немдинского водоносного горизонта обладает очень высокой гранулометрической неоднородностью, что в совокупности с высокой разностью коэффициентов фильтрации ($\approx 0,3-17,67$ и $\approx 120,0-325,0$ м/сут) на контакте с пылеватым песком на глубине 8,5 метров под подошвой котлована (рисунок 5.1), создает потенциально пригодные условия для развития суффозии при изменении естественных гидродинамических условий на этих глубинах. Это также может сказаться на ухудшении проницаемости фильтров водопонижающих скважин на указанных интервалах глубин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный комплексный анализ гидрогеологических условий площадки строительства канализационной насосной станции «Заречная» позволяет сделать следующие выводы:

1) Изучаемый объект в территориальном-административном отношении находится в Кировском районе г. Казани, республике Татарстан. Выбранное местоположение строительства до 50-х годов прошлого века находилось в непосредственной близости от русла р. Казанки. Это подтверждается анализом физико-географических карт города 20-го века и результатами бурения скважин. Также местоположение характеризуется непосредственной близостью к новому и старому руслу р. Казанка.

2) В региональном геолого-гидрогеологическом плане объект находится в пределах Волго-Уральской антиклизы, в пределах Волго-Сурского артезианского бассейна.

3) В геологическом плане территория строительства КНС представлена отложениями аллювиального происхождения четвертичного возраста, которые перекрывают коренные породы немдинского горизонта казанского терригенно-карбонатного комплекса. Породы аллювия характеризуются переслаиванием дисперсных литологических разностей, различной мощностью. Немдинский горизонт представлен зоной палеовыветривания и трещиноватым песчаником. Характер литологической неоднородности толщи и конфигурация погребенного русла р. Казанка в пределах местоположения объекта были смоделированы в созданной геологической модели.

4) Качественная оценка гидрогеологических условий территории по результатам общего гидрологического очерка района, информации инженерно-геологических изысканий и данным режимных наблюдений, позволила предположить весьма сложные гидрогеодинамические параметры взаимодействия подземных вод. В принятой схематизации было выделено два водоносных горизонта, приуроченных к аллювиальным отложениям и породам немдинской свиты.

5) Интерпретация аналитическими зависимостями опытно-фильтрационных опробований, проведенных на площадке строительства, не только позволили количественно определить фильтрационные параметры выделенных водоносных горизонтов, но и подтвердить наличие их тесной гидравлической связи. Помимо этого, с помощью ОФО, удалось идентифицировать присутствие высокой плановой и профильной анизотропии фильтрационных свойств водоносных горизонтов, а также оценить влияние граничных условий на гидродинамическое возмущение среды.

б) Высокие коэффициенты фильтрации нижней части аллювиальных отложений и немдинского горизонта (219,8-229,4 м/сут), предопределили создание технически сложной дренажной системы, состоящей из 15 водопонижающих скважин глубиной от 58 до 73 м с общей производительностью 3934 м³/ч. Величина водопритока в котлован будет уменьшаться в течении времени за счёт увеличения радиуса влияния ВПК и «сработки» емкостных запасов водоносных горизонтов.

7) По мнению автора, полученные аналитические решения могут не учесть некоторые важные параметры изучаемой гидрогеологической среды. Для более точного количественного анализа величины водопритока в таких сложных геофильтрационных условиях, необходимо создание численной модели области, которая будет способна учесть высокую фильтрационную неоднородность и сложную конфигурацию взаимодействия гидрогеодинамической среды.

8) Оценка влияния эксплуатации относительно высокопроизводительного водопонижающего контура на проявление опасных инженерно-геологических/гидрогеологических процессов в пределах исследуемой области позволила сделать следующие выводы: просадка поверхности земли в результате изменения напряжения в грунтовом массиве возможна в минимальном проявлении (0,006-0,01 см); Попытка произвести количественный анализ процессов возникновения суффозии по периметру шпунтового ограждения не дал однозначных результатов. Используемые эмпирические зависимости не учитывают важный для данных условий фактор возникновения высокой скорости фильтрационного потока на контакте породы с грунтоцементным основанием. С другой стороны, проведенный анализ позволил с большой уверенностью предположить проявление суффозионных процессов на глубинах соответствующим контакту песков с щебнистом грунтом зоны палеовыветривания немдинской свиты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Ресурсы сети Интернет:

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Казань>. Википедия. г.Казань [электронный ресурс].

Монографии:

2. Ландшафты Республики Татарстан: региональный ландшафтно-экологический анализ / [Ермолаев О. П. и др.; под ред. проф. О. П. Ермолаева]. Казань: Слово, 2007. 410 стр.
3. Гайсин И.Т., Хусаинов З.А., Галимов Ш.Ш. География и экология Республики Татарстан: Учеб. пособие. - Казань: Изд-во КГПУ, 2003 г. 191 стр.
4. Геология России и ближнего зарубежья (северной Евразии). Милановский Е.Е. Московский Государственный Университет, Москва, 1996 г. 448 стр.
5. N-39-II (Казань). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Издание второе. Геологическая карта и карта полезных ископаемых дочетвертичных образований. Средневожская серия. Аналитическая записка. Кириков В.П. ФГУГП "Волгагеология", 2003 г.
6. N-39-II (Казань). Государственная геологическая карта Российской Федерации. Издание второе. Карта четвертичных образований. Средневожская серия. Аналитическая записка. Кириков В.П. ФГУГП "Волгагеология", 2003 г.
7. Геостатистика: теория и практика / В. В. Демьянов, Е. А. Савельева ; под ред. Р. В. Арутюняна; Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. — М. : Наука, 2010. 327 стр.
8. Региональная гидрогеология. Кирюхин В.А., Толстихин Н.И. Недр, Москва, 1987 г. 382 стр.
9. Карта наблюдательной сети ГМСН республики Татарстан. Р.Н Давыдов. 2008 г.
10. Динамика подземных вод. Мироненко В.А. Издательство Московского государственного горного университета, Москва, 2001 г. 519 стр.
11. Динамика подземных вод. Шестаков В.М. Издательство МГУ, Москва, 1979 г. 368 стр.
12. Cooper H.H., Jacob C.E. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history // Transactions, American Geophysical Union. 1946. Vol. 27, N 4. P. 526–534.

13. Jacob C.E. Effective radius of drawdown test to determine artesian well // Proceedings of the American Society of Civil Engineers. 1946. Vol. 72, N 5. P. 629–646.
14. Theis C.V. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage // Transactions, American Geophysical Union. 1935. Vol. 35, pt. 2. P. 519–524.
15. Синдаловский Л.Н. Аналитическое моделирование опытных опробований водоносных пластов и скважинных водозаборов (программный комплекс ANSDIMAT). СПб.: Наука, 2014.
16. Javandel I., Witherspoon P.A. Analytical solution of a partially penetrating well in a two-layer aquifer // Water Resources Research. 1983. Vol. 19, N 2, P. 567–578.
17. Stehfest H. Algorithm 368. Numerical inversion of Laplace transforms. Comm. ACM. 1970. Vol. 13, N 1. P. 47–49.
18. Yeh H.-D., Chen Y.-J., Yang S.-Y. Semi-analytical solution for a slug test in partially penetrating wells including the effect of finite-thickness skin // Hydrol. Process. 2008. Vol. 22, P. 3741–3748.
19. Справочное руководство гидрогеолога. Под ред. В.М. Максимова. Л.: Гостоптехиздат. 1959.
20. Hantush M.S. Hydraulics of wells // Advances in Hydroscience / Edited by Ven Te Chow. New York; London: Academic Press, 1964. Vol. 1. P. 281–432.
21. Синдаловский Л.Н. Справочник аналитических решений для интерпретации опытно-фильтрационных опробований. Издательство Санкт-Петербургского университета, Санкт-Петербург, 2006 г., 769 стр.
22. Groundwater Engineering. Second Edition. Yiqun Tang, Jie Zhou, Ping Yang, Jingjing Yan, Nianqing Zhou. Springer Natural Hazards. Tongji University Press, Shanghai, China. 2017
23. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Ломтадзе В.Д. Недра, Ленинград (Санкт-Петербург) 1977 г., 479 стр.
24. Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии: Учебник. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГУ, 2007. — 448 с

Фондовые материалы:

24. Технический отчёт по инженерно-геологическим изысканиям по объекту: «Строительство канализационной насосной станции «Заречная» с напорными коллекторами от КНС «Заречная» до очистных сооружений г.Казани». ООО «СПЕЦСТРОЙПРОЕКТ» 2013 г.

25. Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий. «Строительство канализационной насосной станции «Заречная» с напорными коллекторами от КНС «Заречная» до очистных сооружений г.Казани». ООО «ПРОГЕО» 2017 г.

Нормативно-правовые документация:

26. СП 11-105-97 часть I. Инженерно-геологические изыскания для строительства. ПНИИИС Госстрой России. 1998 г.

27. СП 103.13330.2013. Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод. ОАО "Фундаментпроект". 2013 г.

28. СП 22.13330.2010. Основания зданий и сооружений. Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им.Н.М.Герсеванова - институт ОАО "НИЦ "Строительство" (НИИОСП им.Н.М.Герсеванова). 2011 г.

29. ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация. Национальным объединением изыскателей (НОИЗ), Научно-исследовательским, проектно-изыскательским и конструкторско-технологическим институтом (НИИОСП) им.Н.М.Герсеванова - институтом ОАО "НИЦ "Строительство", Институтом геоэкологии им.Е.М.Сергеева РАН, Московским государственным университетом (МГУ) им. М.В.Ломоносова при участии ОАО "Росстройизыскания", ОАО "Фундаментпроект", Государственного унитарного предприятия г.Москвы "Мосгоргеотрест", ОАО "ГСПИ", ООО "Мостдоргеотрест", Государственного предприятия Московской области "Мособлгеотрест", Московского геологоразведочного института (МГРИ-РГГРУ), Московского государственного строительного университета (МГСУ). 2013 г.