

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ -  
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА

**О.Д. Рубин, Н.В. Ханов, С.Е. Лисичкин, А.С. Антонов**

**МНОГОФАКТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ  
СО СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ БОЛЕЕ 25 ЛЕТ**

Анализ данных натуральных наблюдений за поведением гидротехнических  
сооружений

*Учебное пособие*

Москва  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева  
2022

УДК 626/627

ББК 38.77

P-82

*Рецензенты: д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой сельскохозяйственного строительства и экспертизы объектов недвижимости ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева П. А. Михеев; канд. техн. наук, зав. отделом гидротехники и гидравлики ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н.Костякова» А.О. Щербаков.*

P-82      **Рубин, О.Д.** Многофакторные исследования гидротехнических сооружений со сроком эксплуатации более 25 лет. Анализ данных натурных наблюдений за поведением гидротехнических сооружений: учебное пособие / О.Д. Рубин, Н.В. Ханов, С.Е. Лисичкин, А.С. Антонов; Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева. – Москва: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2022. – 136 с.  
ISBN 978-5-9675-1882-9

В учебном пособии рассматриваются результаты анализа данных натурных наблюдений за поведением гидротехнических сооружений в ходе комплексных исследований состояния гидротехнических сооружений со сроком эксплуатации более 25 лет, а также результатов лабораторных испытаний образцов бетона фундаментной плиты здания ГЭС и грунтов основания (в пределах секции 4) (на примере ГТС Жигулевской ГЭС).

Предназначено для студентов, обучающихся по специальности Строительство уникальных зданий и сооружений (СУЗС) (специализация – Строительство ГТС повышенной ответственности, дисциплина – Эксплуатация и реконструкция гидроузлов, Эксплуатация и безопасность гидротехнических сооружений). Также Учебное пособие полезно сотрудникам проектных, научно-исследовательских и эксплуатационных организаций, занимающихся вопросами безопасности гидротехнических сооружений при длительной эксплуатации.

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией Института мелиорации, водного хозяйства и строительства им. А.Н. Костякова, протокол № 2 от 27.12.2021 г

УДК 626/627

ББК 38.77

© Рубин О.Д., Ханов Н.В., Лисичкин С.Е., Антонов А.С. 2022

© ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022

## Оглавление

Введение.....	4
АНАЛИЗ ДАННЫХ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПОВЕДЕНИЕМ ГТС .....	5
1 Осадки сооружений Жигулевской ГЭС .....	5
1.1 Осадки здания ГЭС .....	5
1.2 Осадки водосливной плотины.....	21
1.3. Осадки земляной плотины.....	31
2. Фильтрационный режим сооружений Жигулевской ГЭС.....	41
2.1. Фильтрационный режим в основании здания ГЭС.....	41
2.2. Фильтрационный режим в основании водосливной плотины .....	63
2.3. Фильтрационный режим в теле и основании земляной плотины .....	85
2.4. Фильтрационный режим в дамбе 49.....	97
2.5. Фильтрационный режим в дамбе 50.....	103
2.6. Фильтрационный режим в дамбе 53.....	107
ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ .....	116
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	125
Приложение А.....	126
Библиографический список.....	134

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящем учебном пособии представлены результаты анализа данных натурных наблюдений за поведением гидротехнических сооружений в ходе комплексных исследований состояния гидротехнических сооружений со сроком эксплуатации более 25 лет, а также результатов лабораторных испытаний образцов бетона фундаментной плиты здания ГЭС и грунтов основания (в пределах секции 4) (на примере ГТС Жигулевской ГЭС).

Комплексное исследование состояния ГТС Жигулёвской ГЭС выполнено в соответствии с Программой многофакторного исследования (представленной в учебном пособии «Многофакторные исследования гидротехнических сооружений со сроком эксплуатации более 25 лет. Программа многофакторных исследований ГТС. Проведение натурных работ по комплексному обследованию и геодезическим измерениям» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022).

# АНАЛИЗ ДАННЫХ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПОВЕДЕНИЕМ ГЭС

## 1. ОСАДКИ СООРУЖЕНИЙ ЖИГУЛЕВСКОЙ ГЭС

### 1.1 Осадки здания ГЭС

Гидроэлектростанция размещена на правом берегу реки Волги. В состав гидроэлектростанции входят: здание ГЭС с монтажной площадкой и пристройкой со стороны нижнего бьефа, отдельно стоящее сороудерживающее сооружение, понур, рисберма, сопрягающие стенки. В основании здания ГЭС расположены кинельские глины. Длина здания ГЭС 600 м, ширина по потоку 100 м, высота 80 м. Монтажная площадка находится с правой стороны здания и имеет ширину по фронту 70 м. Грязеспуск размещается в левобережном устье и представляет собой прямоугольный лоток шириной 10,5 м. Здание станции разделено на 10 секций с двумя агрегатами в каждой секции. Основание здания ГЭС неоднородно: секции 1-6 расположены на овражной части, где здание ГЭС своим верховым зубом врезано в кинельские глины. В русловой части, где расположены остальные секции, и где кинельские глины расположены глубже, верховой зуб опирается на более водопроницаемые четверичные отложения. Для контроля за деформациями здания ГЭС и сопрягающих устройств было установлено и в настоящее время действует 361 осадочная марка, 76 щелемеров и 30 створных знаков.

Для наблюдений за осадками здания ГЭС и сороудерживающего сооружения (далее – СУС) на них были размещены поверхностные бетонные марки и щелемеры, установленные в 6-ти продольных створах. Два створа марок находились на СУС со стороны верхнего и нижнего бьефов (Щ1 и Щ2), три створа располагались на верхних строениях здания станции и пристройки (Щ3, Щ5, Щ6) и один створ марок располагался в продольной галерее на 3,70 м (рис. 1.1.1...1.1.3). Все марки располагались в непосредственной близости от межсекционных швов. Таким образом, они позволяли определить не только общую осадку, но и неравномерную осадку каждой секции здания ГЭС, как в поперечном, так и в продольном направлениях.



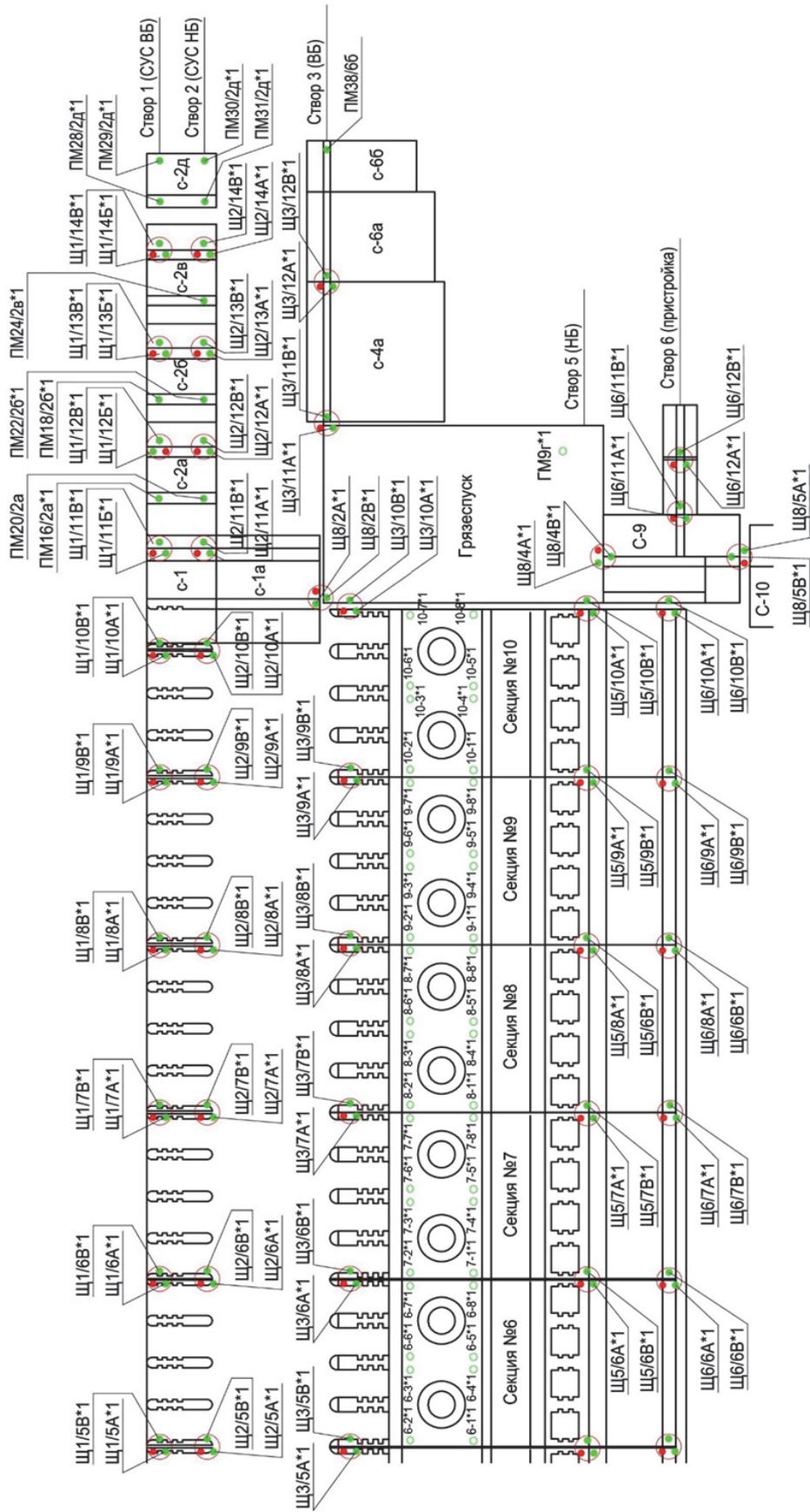


Рис. 1.1.2. Схема размещения геодезических марок на здании ГЭС. План (левая часть)

# Разрез I-I

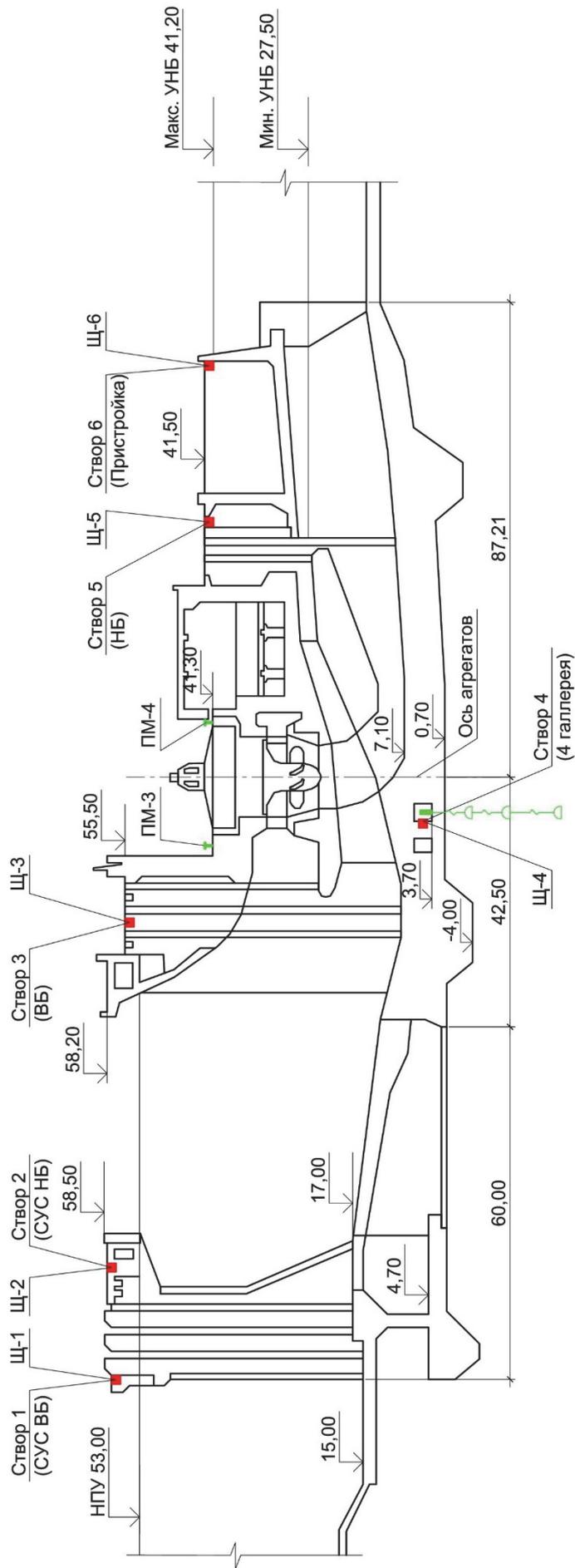


Рис. 1.1.1.3. Схема размещения геодезических марок на здании ГЭС. Разрез I-I

На рис. 1.1.4 показаны эпюры осадок всех секций здания ГЭС в створе ЩЗ. Как видно из приведенных эпюр, осадки здания ГЭС с первой по шестую секции за весь период наблюдений имеют значения в пределах от 150 до 200 мм. Начиная с секции 7, общая величина осадки по секциям растет и на секции 10 достигает 400 мм.

Это вполне соответствует геологии основания: в основании первых 6-ти секций кинельские глины, под остальными секциями четверичные отложения.

Основная осадка здания ГЭС произошла до 1975 г., то есть относится к периоду окончания строительства и наполнения водохранилища. За последние 44 года эксплуатации интенсивность осадок всех секций составляла 0,8 мм/год. Только по секции 9 в примыкании к грунтовой плотине интенсивность осадки составляла 1,1 мм/год до 2003 г. После 2003 г. интенсивность осадок по всем маркам снизилась. Разброс измеренных значений осадок оказался в пределах точности измерений (рис. 1.1.5, 1.1.6). Следует отметить, что по шестому створу наблюдений (по марке Щ6/9А\*1) осадки прекратились, начиная с 1991 г. (рис. 1.1.7). Типовые эпюры осадок секций 1 и 9 здания ГЭС в направлении вдоль потока представлена на рис. 1.1.8 и 1.1.9.

Максимальная неравномерность осадки здания ГЭС за весь период наблюдений не превышала 150 мм на длине 130 м. Основная неравномерность осадки формировалась в основании пристройки только по секциям 1 и 9, по остальным секциям осадка их в направлении вдоль потока была равномерной.

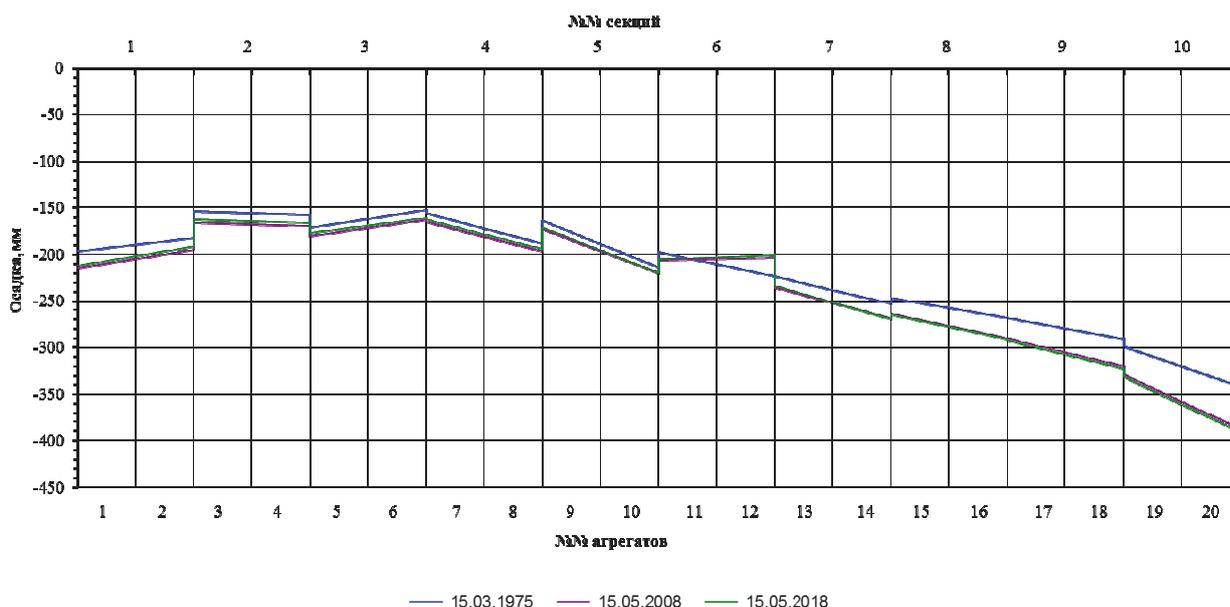


Рис. 1.1.4. Эпюры осадок секций здания ГЭС в створе ЩЗ

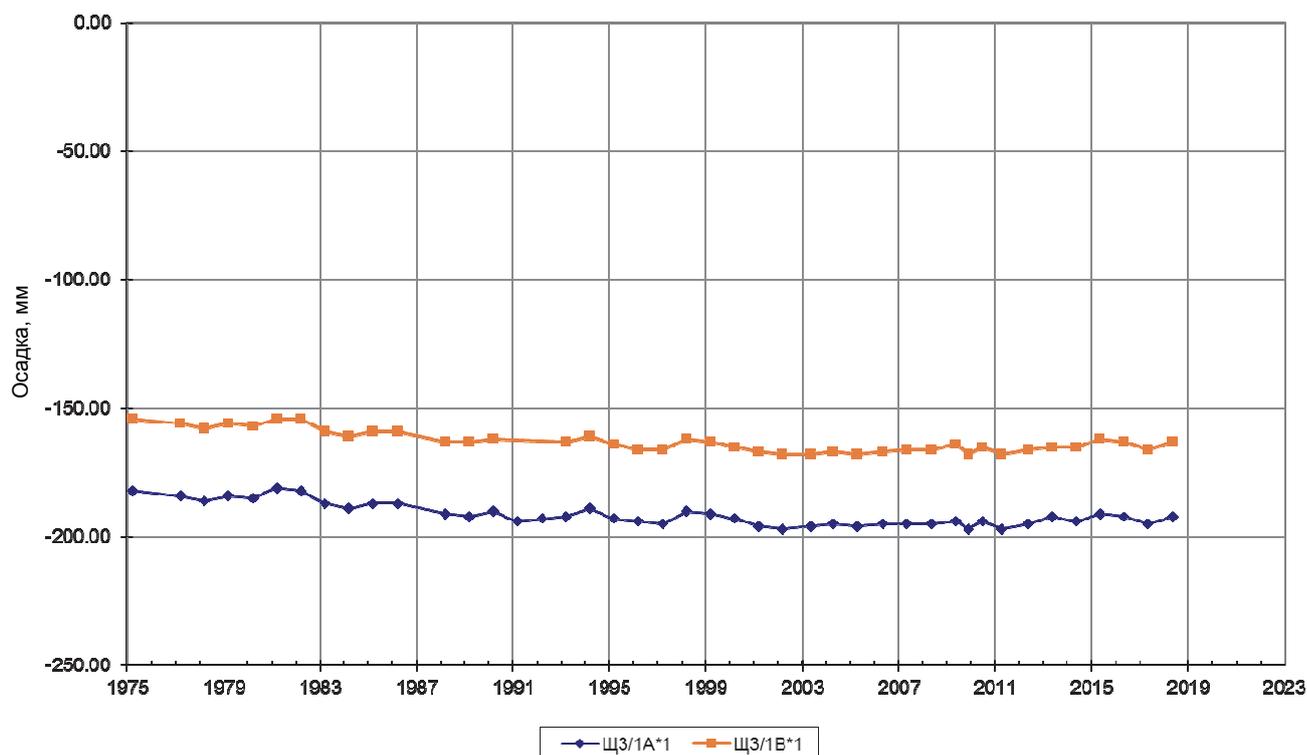


Рис. 1.1.5. Графики изменения показаний по маркам секций 1 и 2 здания ГЭС.  
Створ 3 ВБ

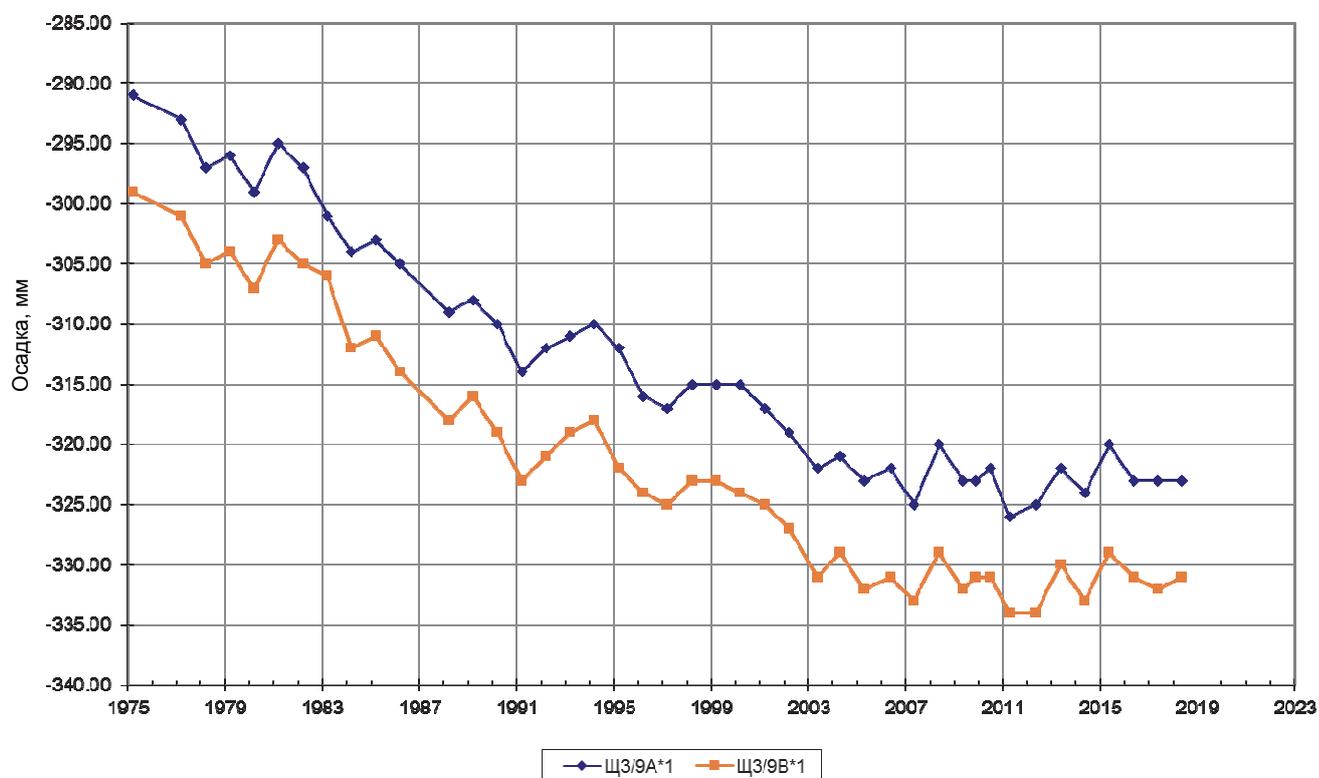


Рис. 1.1.6. Графики изменения показаний по маркам секций 9 и 10 здания ГЭС.  
Створ 3 ВБ

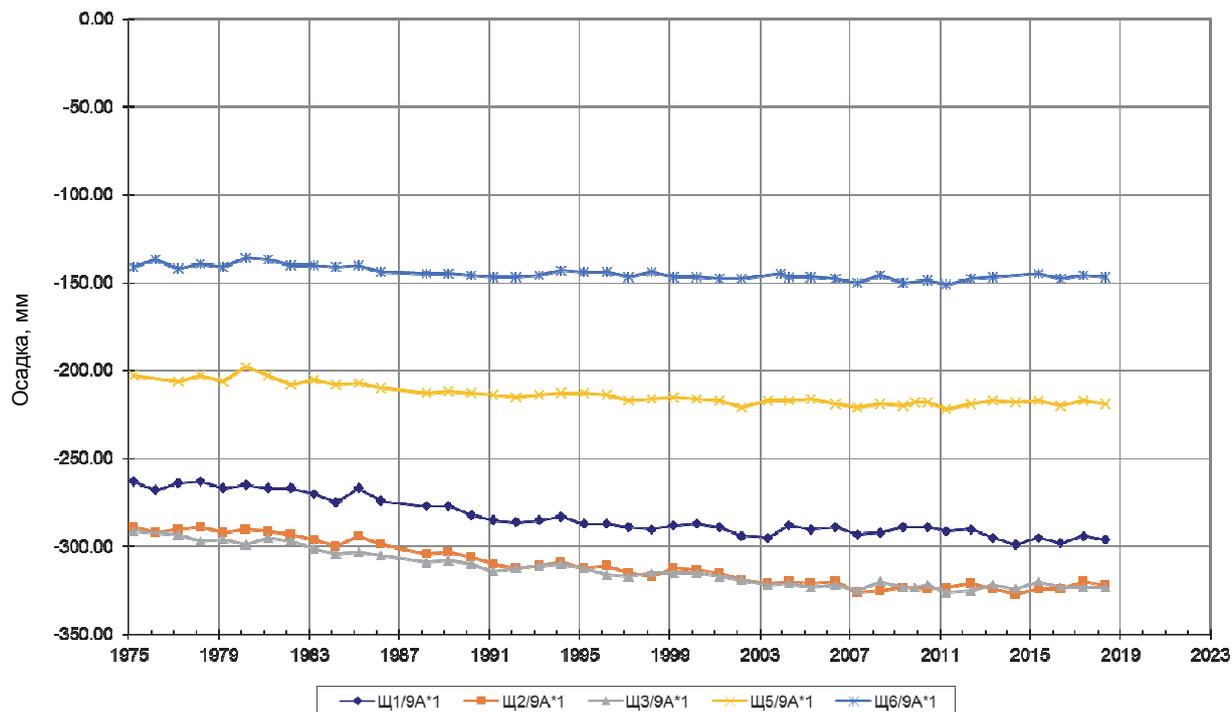


Рис. 1.1.7. Здание ГЭС. Осадка секции 9 (створы 1,2,3,5,6)

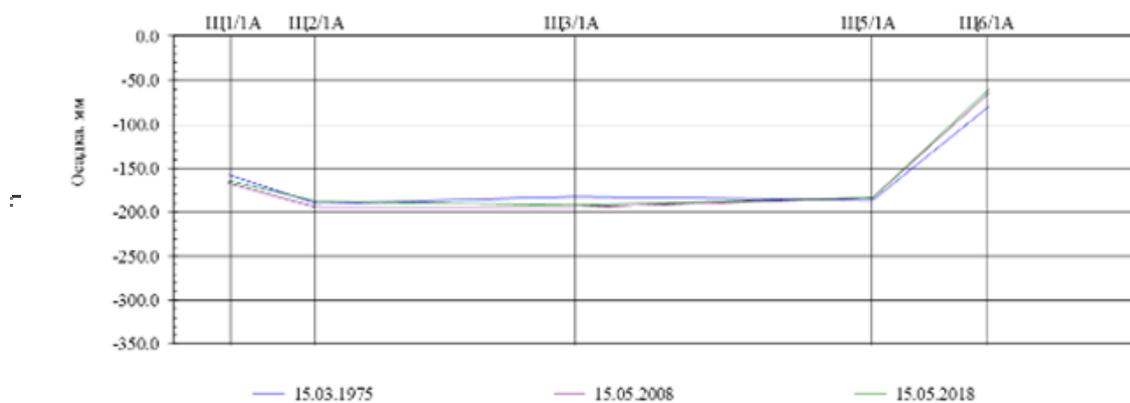


Рис. 1.1.8. Здание ГЭС. Эпюры осадки секции 1

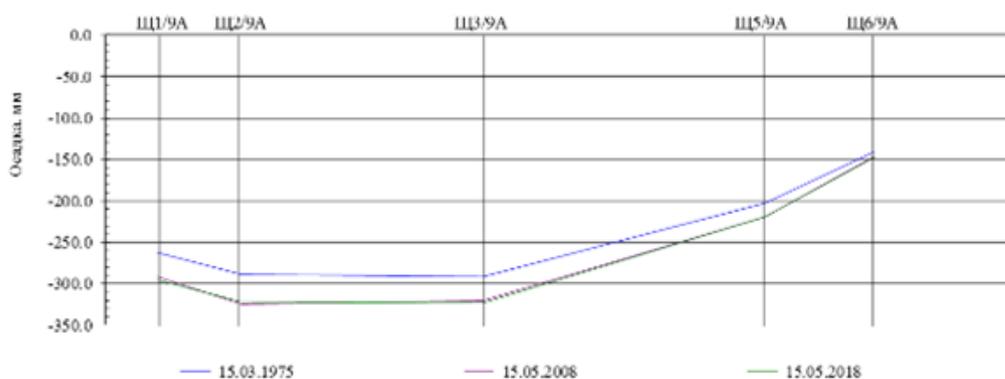


Рис. 1.1.9. Здание ГЭС. Эпюры осадки секции 9

В целом осадки здания ГЭС следует считать затухающими. Количество марок установленных для контроля осадок полностью обеспечивает предъявляемые требования, по оценке деформации секции здания ГЭС.

Наблюдения за осадками марок в потерне целесообразно продолжать с целью сравнения с показаниями глубинных марок.

Глубинные марки для контроля послойной осадки основания были заложены в виде кустов марок, расположенных на глубине 15,30,50 м. от подошвы основания.

Результаты наблюдений, полученные по двум глубинным маркам, заложенным под секциями 1, 3 и 8, приведены на рис. 1.1.10...1.1.12. Из графиков видно, что в период с 2009 по 2013 год по всем глубинным маркам наблюдается подъем, кроме того, подъем был зафиксирован по всем поверхностным маркам, установленным в потерне (рис. 1.1.13). Так как по маркам, установленным на верхних строениях здания ГЭС, подобных подъемов не зафиксировано можно предположить, что в указанный период с 2009 г. по 2013 г. при передаче отметок с верхнего строения в потерну были допущены погрешности, которые привели к—подъему марок. По всей видимости, графики осадок глубинных и поверхностных марок, расположенных в потерне, необходимо привести в соответствие с графиками осадок верхнего строения.

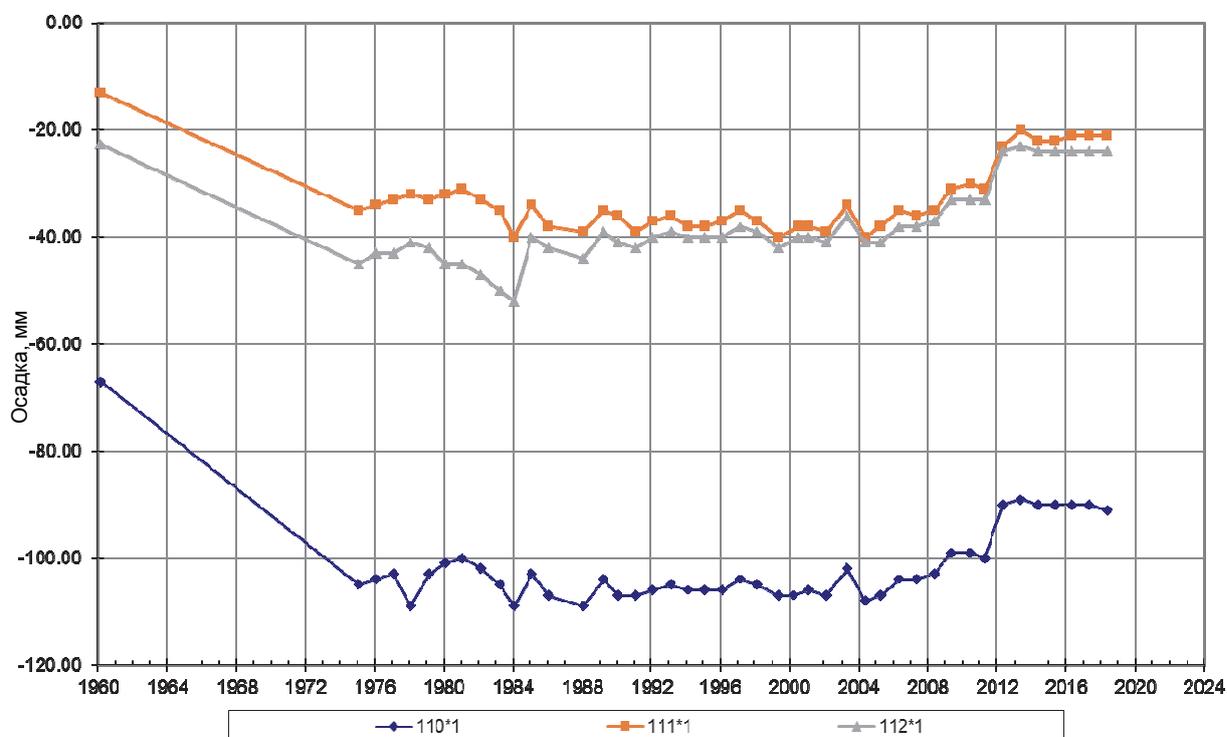


Рис. 1.1.10. Графики изменения показаний по глубинным маркам секции 1, установленным в потерне здания ГЭС

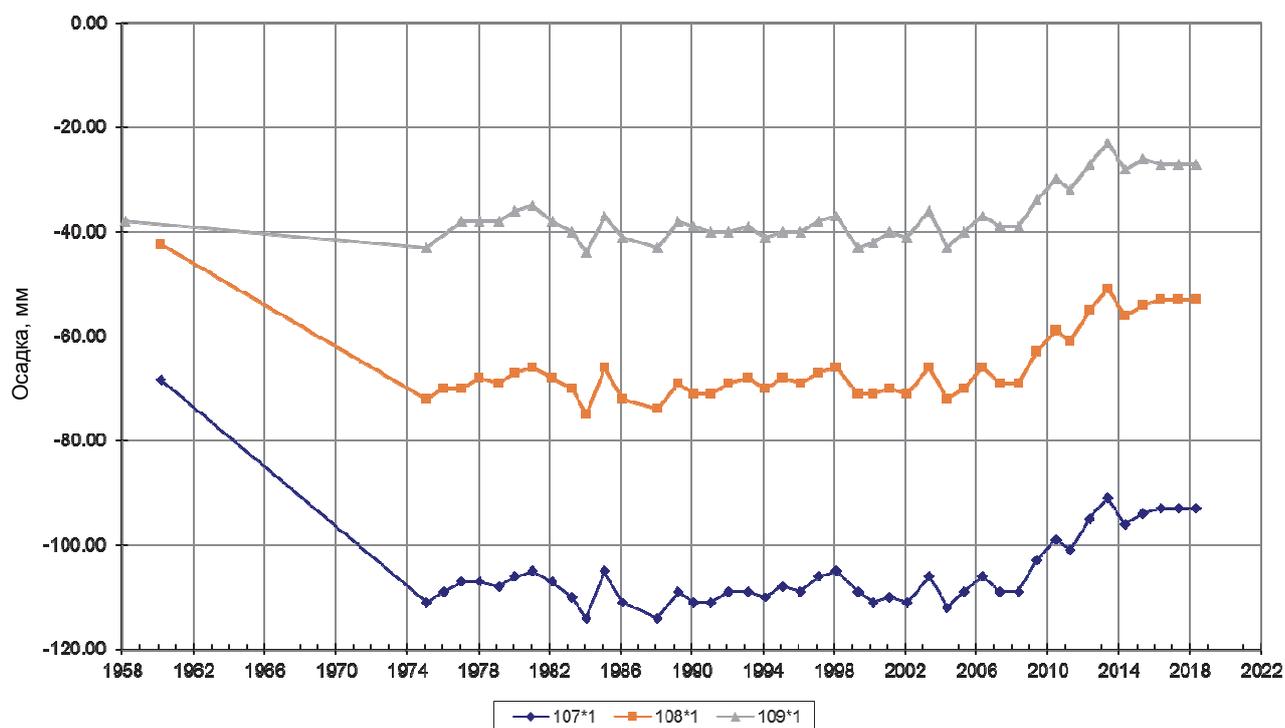


Рис. 1.1.11. Графики изменения показаний по глубинным маркам секции 3, установленным в потере здания ГЭС

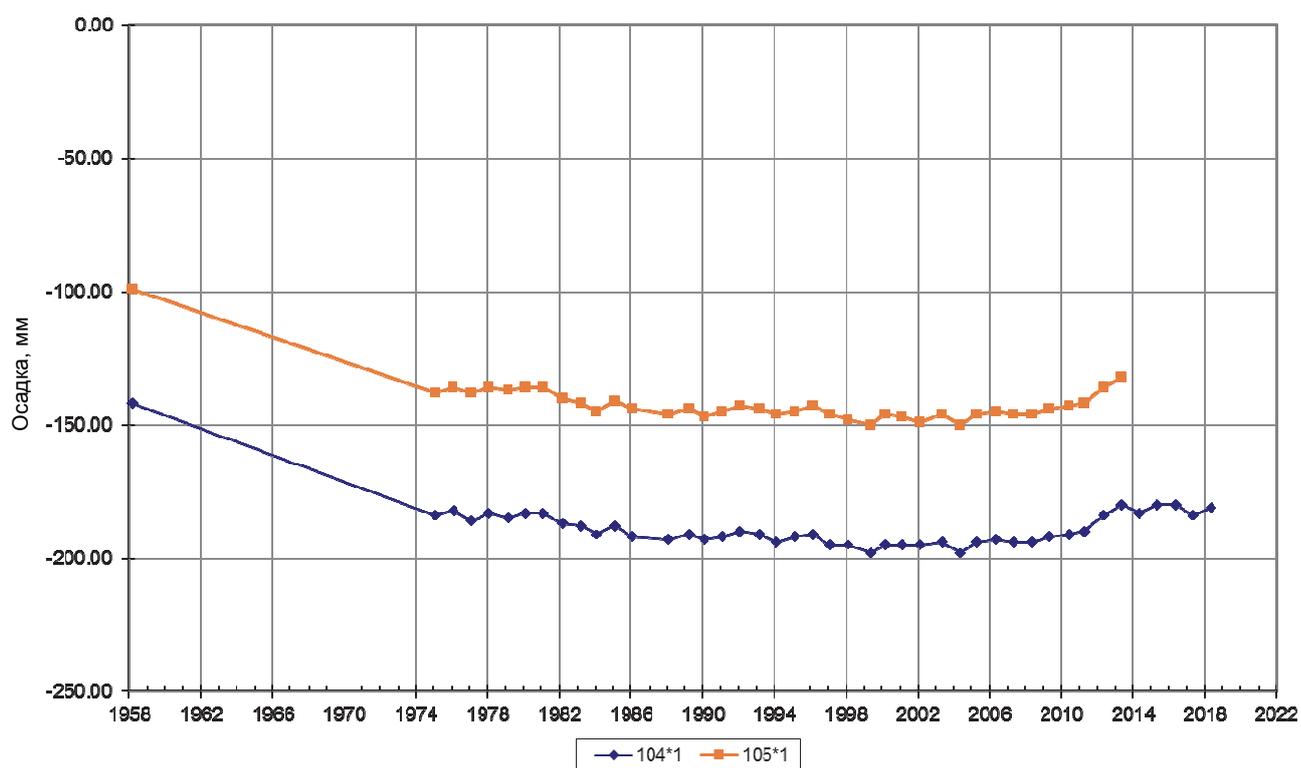
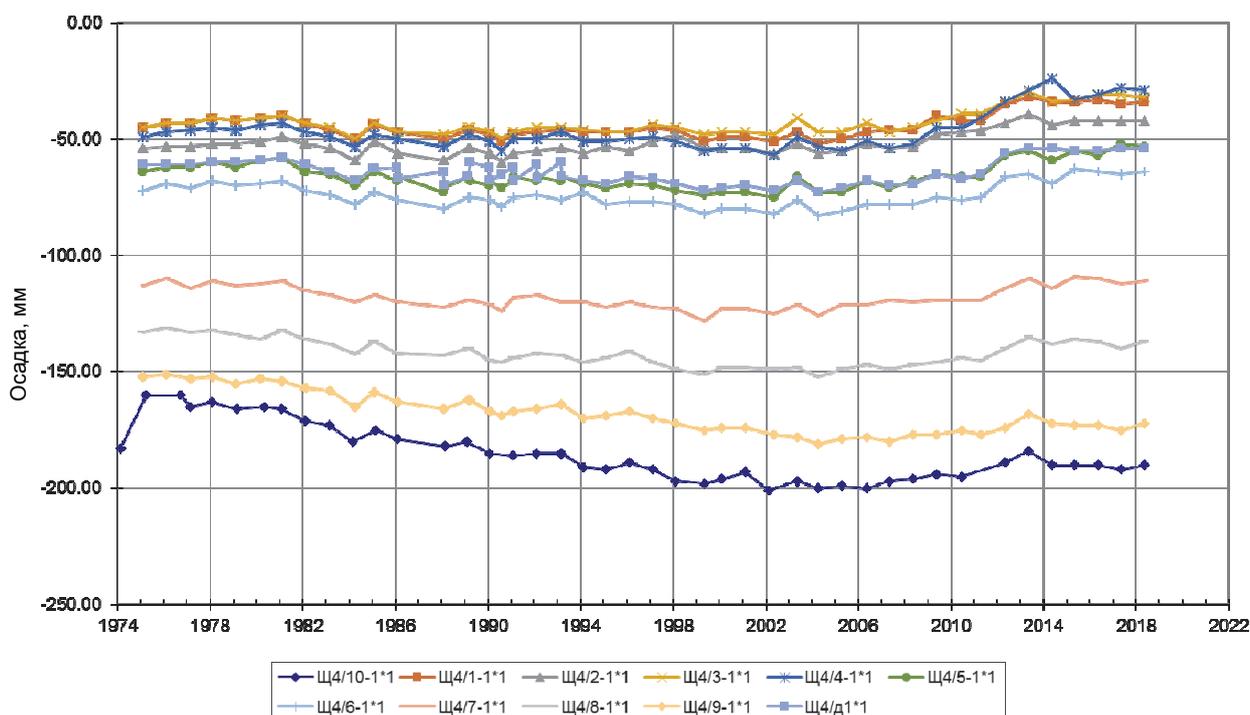


Рис. 1.1.12. Графики изменения показаний по глубинным маркам секции 8, установленным в потере здания ГЭС



**Рис. 1.1.13. Графики изменения показаний по поверхностным маркам, установленным в потерне здания ГЭС**

Для дальнейшего анализа данных по глубинным маркам был выбран период с 1959 г. по 2008 г. Глубинные марки показали распределение послойной осадки под основанием здания станции по глубине (рис.1.1.14). Характер послойных осадок соответствует классической теории распределения осадок на глубине, формирующей основную осадку бетонного сооружения. Начиная с 2014 г., характер измеренных осадок по потерне и по верхнему строению одинаков.

На здании ГЭС установлено 5 створов трехмарочных щелемеров, схема размещения приведена на рис. 1.1.15...1.1.17. Трехмарочные щелемеры показывают характер взаимных смещений секций здания ГЭС относительно друг друга.

На рис. 1.1.18 представлены графики изменения показаний щелемеров, расположенных в створе 3 здания ГЭС (перемещения по оси Y).

На рис. 1.1.19 представлены графики изменения показаний щелемеров, расположенных в створе 5 здания ГЭС (перемещения по оси X).

На рис. 1.1.20 представлены графики изменения показаний щелемеров, расположенных в створе 6 здания ГЭС (перемещения по оси X).

В продольном направлении (вдоль потока) секции относительно друг друга смещались не более, чем на 5 мм. Причем, по некоторым швам наблюдались отчетливо выраженные сезонные деформации, по другим швам такие деформации не фиксировались, что свидетельствует о зажатом шве и совместной деформации сопряженных секций. В части раскрытия шва все

щелемеры фиксируют четкие сезонные деформации с постоянной амплитудой колебаний за весь период наблюдений.

Помимо сезонных колебаний, щелемеры показывают постепенное закрытие швов, особенно, в примыкающих секциях. Наибольшие значения фиксируется по пятому и шестому створу щелемеров (Щ5, Щ6), их величина за весь период эксплуатации составляет 10-20 мм (рис. 1.1.19 и 1.1.20).

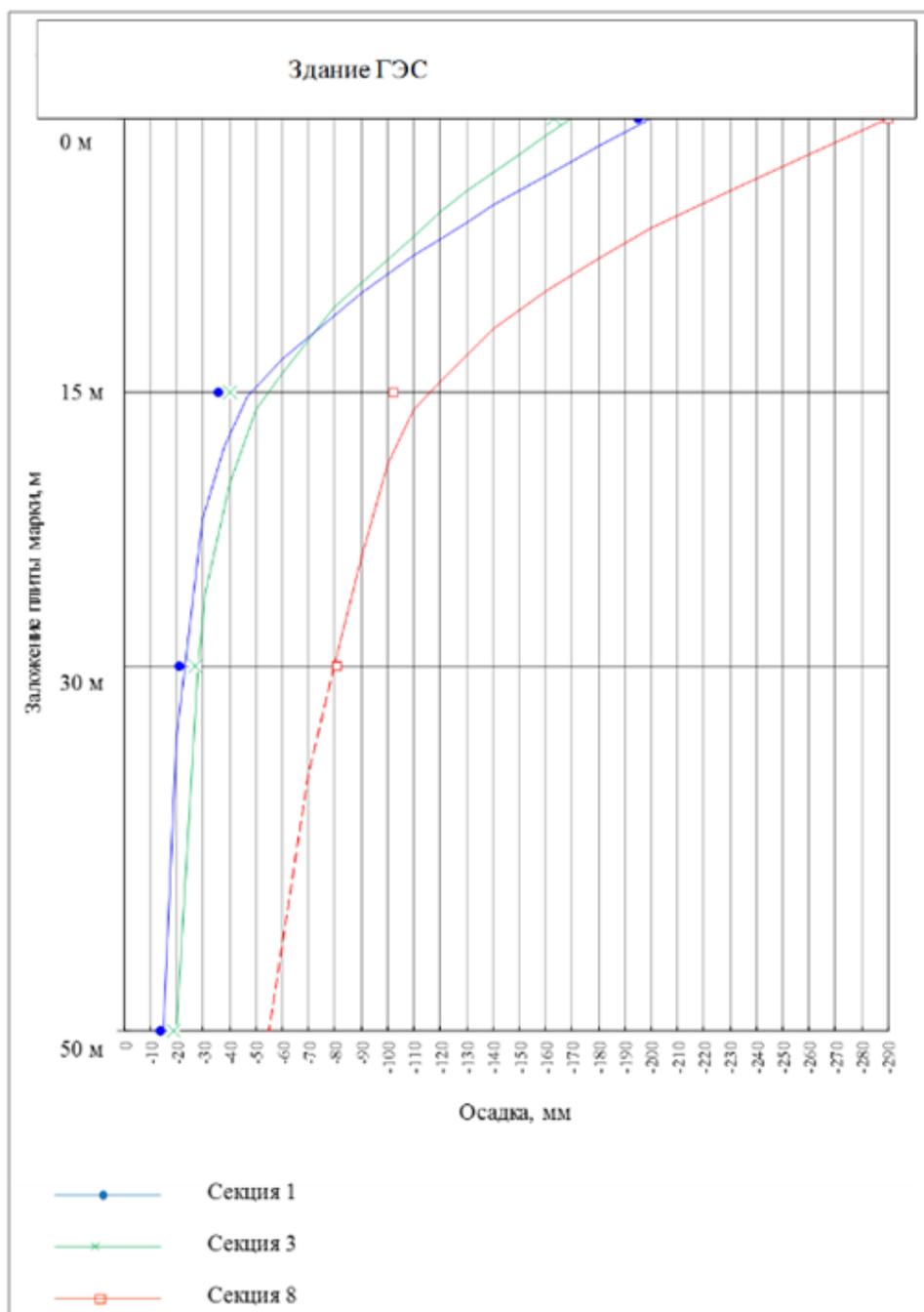


Рис. 1.1.14. Эпюры распределения послойной осадки грунта под зданием ГЭС по данным глубинных марок

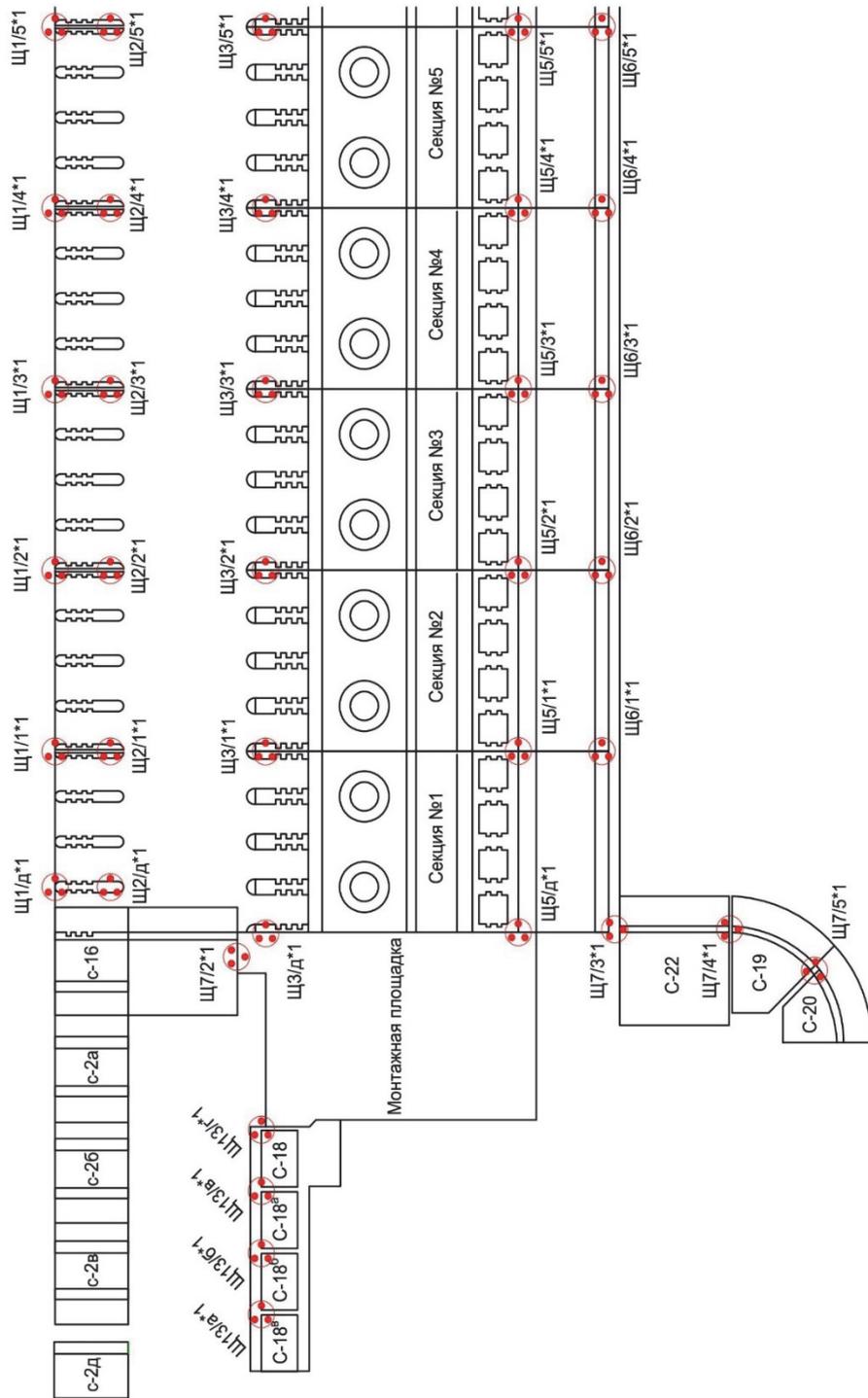


Рис. 1.1.15. Схема размещения щелемеров на здании ГЭС (правая часть)



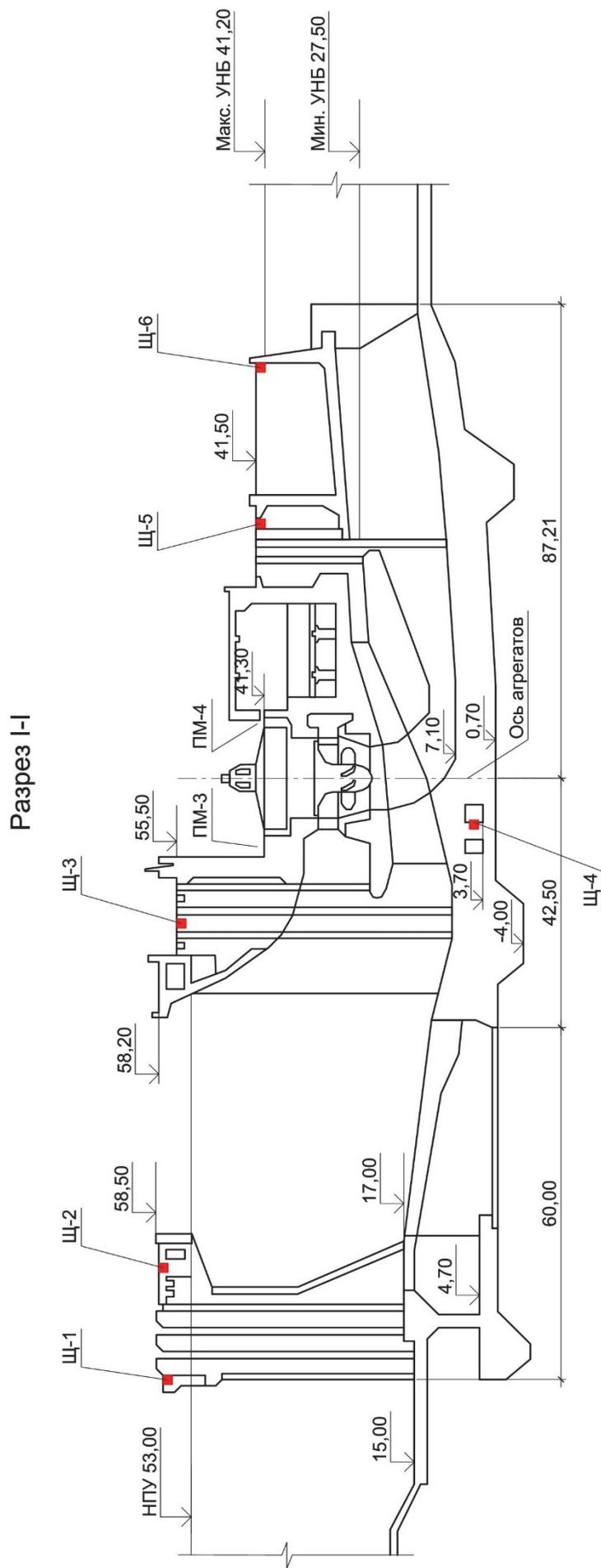


Рис. 1.1.1.17. Схема размещения щелемеров на здании ГЭС. Разрез I-I

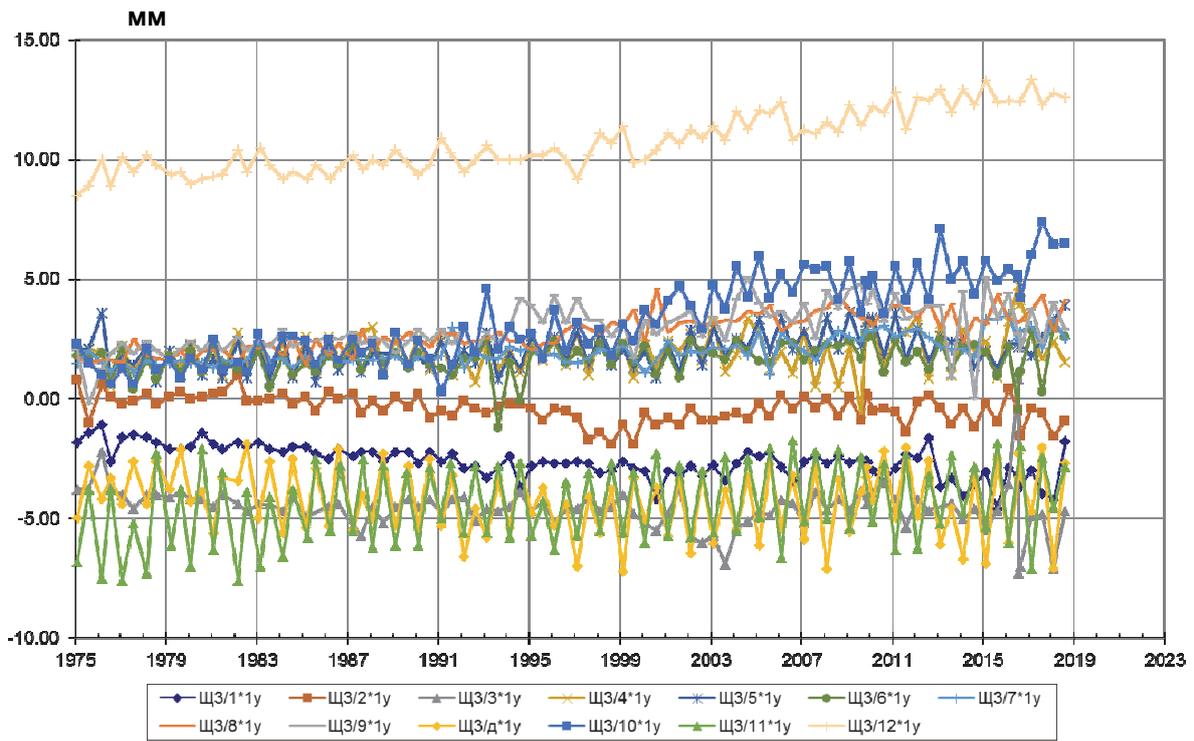


Рис. 1.1.18. Графики изменения показаний щелемеров, расположенных в створе 3 здания ГЭС. Перемещение по оси Y

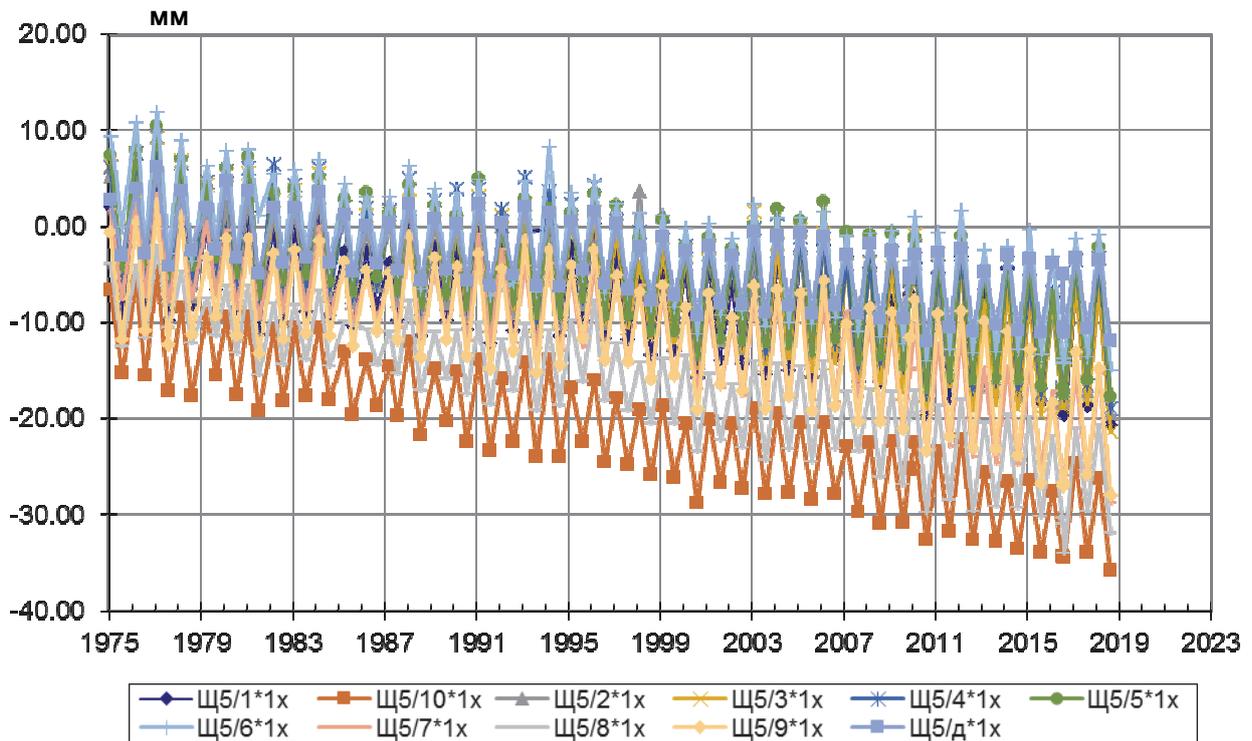


Рис. 1.1.19. Графики изменения показаний щелемеров, расположенных в створе 5 здания ГЭС. Перемещение по оси X

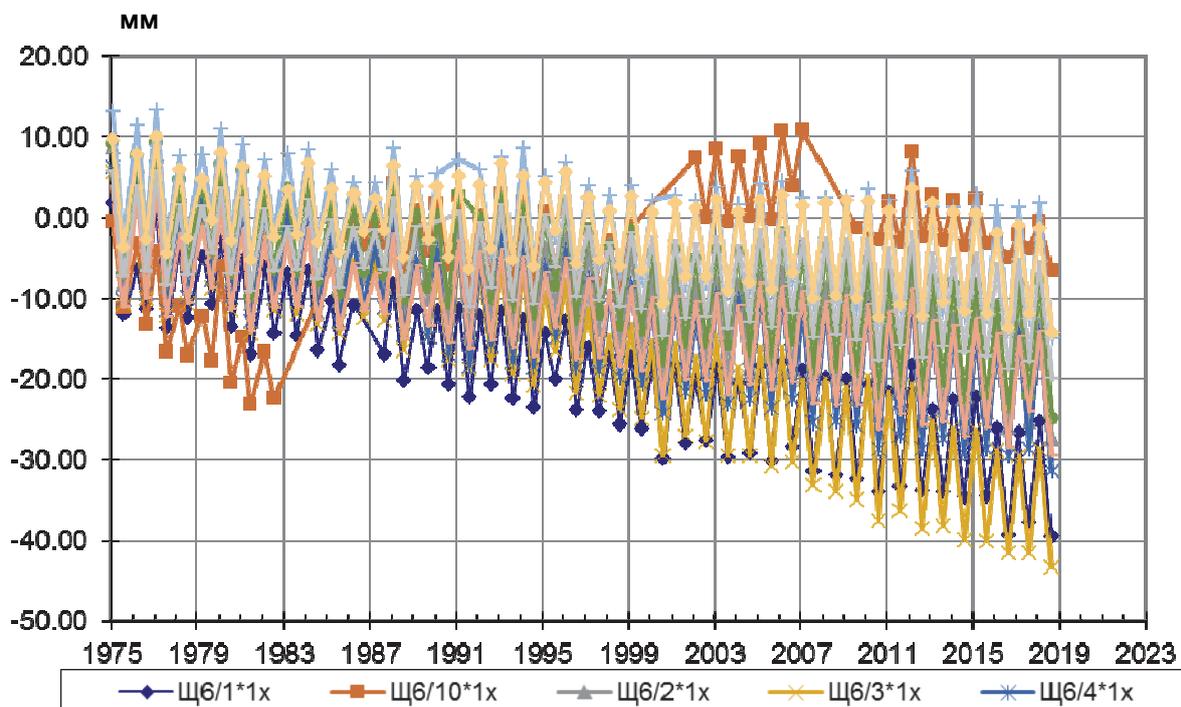


Рис. 1.1.20. Графики изменения показаний щелемеров, расположенных в створе 6 здания ГЭС. Перемещение по оси X

В таблице 1.1.1 представлены критериальные значения осадок секций здания ГЭС.

Таблица 1.1.1

Осадка секций здания ГЭС

№ п/п	Область контроля	Наименование КИА	К1, мм	К2, мм
1	Секция 1 ВБ	Щ3/дВ*1, Щ3/1А*1	-211,2	-216,6
2	Секция 1 НБ	Щ5/1А*1, Щ5/дВ*1	-204,6	-206,0
3	Секция 2 ВБ	Щ3/1В*1, Щ3/2А*1	-172,3	-176,0
4	Секция 2 НБ	Щ5/2А*1, Щ5/1В*1	-178,7	-180,3
5	Секция 3 ВБ	Щ3/2В*1, Щ3/3А*1	-176,3	-179,6
6	Секция 3 НБ	Щ5/3А*1, Щ5/2В*1	-161,7	-163,2
7	Секция 4 ВБ	Щ3/3В*1, Щ3/4А*1	-186,0	-189,4
8	Секция 4 НБ	Щ5/4А*1, Щ5/3В*1	-157,3	-159,1
9	Секция 5 ВБ	Щ3/4В*1, Щ3/5А*1	-204,3	-208,1
10	Секция 5 НБ	Щ5/5А*1, Щ5/4В*1	-163,3	-165,8
11	Секция 6 ВБ	Щ3/5В*1, Щ3/6А*1	-211,5	-214,1
12	Секция 6 НБ	Щ5/5В*1, Щ5/6А*1	-177,0	-179,9
13	Секция 7 ВБ	Щ3/6В*1, Щ3/7А*1	-261,5	-267,3
14	Секция 7 НБ	Щ5/7А*1, Щ5/6В*1	-196,5	-200,2
15	Секция 8 ВБ	Щ3/7В*1, Щ3/8А*1	-287,6	-294,6
16	Секция 8 НБ	Щ5/8А*1, Щ5/7В*1	-223,9	-228,1

№ п/п	Область контроля	Наименование КИА	<i>K1, мм</i>	<i>K2, мм</i>
17	Секция 9 ВБ	Щ3/8В*1, Щ3/9А*1	-317,6	-326,7
18	Секция 9 НБ	Щ5/9А*1, Щ5/8В*1	-220,3	-226,1
19	Секция 10 ВБ	Щ3/9В*1, Щ3/10А*1	-374,5	-387,6
20	Секция 10 НБ	Щ5/10А, Щ5/9В*1	-284,2	-293,1
21	Монтажная	Щ5/дА*1, Щ7/2В*1,	-250,0	-255,5
22	Грязеспуск	Щ3/11А, Щ8/2В*1,	-442,0	-446,8

Сопоставление величин, полученных в ходе натуральных наблюдений, с критериальными значениями показало, что превышений критериальных значений не отмечается.

## 1.2 Осадки водосливной плотины

Водосливная плотина расположена на левобережной пойме реки Волги. В основании плотины залегают мелкие, средние и разнородные пески мощностью 60-70 м. с включением линз и прослоев глин и суглинков. Общая длина плотины между лицевыми гранями устоев составляет 981,2 м. Максимальный напор на плотину 30 м. Водосливная плотина разделена на 19 секций, каждая из которых объединяет по два водосливных пролета шириной 20 м. 17 секций имеют ширину 52 м, две береговые секции 62,5 м.

На секциях водосливной плотины было установлено два створа поверхностных марок (рис. 1.2.1, 1.2.2). Со стороны верхнего бьефа осадки измеряются по створу щелемеров, установленных с двух сторон межсекционных швов. Со стороны нижнего бьефа осадки измерялись по поверхностным маркам 2а и 4а, расположенным в створе вблизи основных затворов водосливов (рис. 1.2.3). Расстояние между створами щелемеров и марок составляет 20 м, поэтому определять неравномерность осадок секции в направлении вдоль потока нецелесообразно из-за короткой измерительной базы. Измеренные осадки по щелемерам по всем секциям больше, чем измеренные осадки по маркам. Это объясняется тем, что марки 2а и 4а были заложены позже щелемеров. На рис. 1.2.4 и 1.2.5 приведены графики измеренных осадок по двум створам марок в секциях 15 и 2.

На рис. 1.2.6 показаны графики осадок всех марок створа 2а, а на рис. 1.2.7 – графики осадок, измеренных по щелемерам. По маркам значения осадок на 2018 год находятся в пределах от 150 до 180 мм. Исключение составляет марка 2а 8.1, расположенная на устое, осадка которой составляет 235 мм. В створе щелемерных марок осадки секции измерены в диапазоне 175-210 мм, только осадки береговой секции превышают этот диапазон на 10-17 мм. Общий характер осадок по длине плотины, измеренный по створкам марок и щелемеров, приведен на рис. 1.2.8.

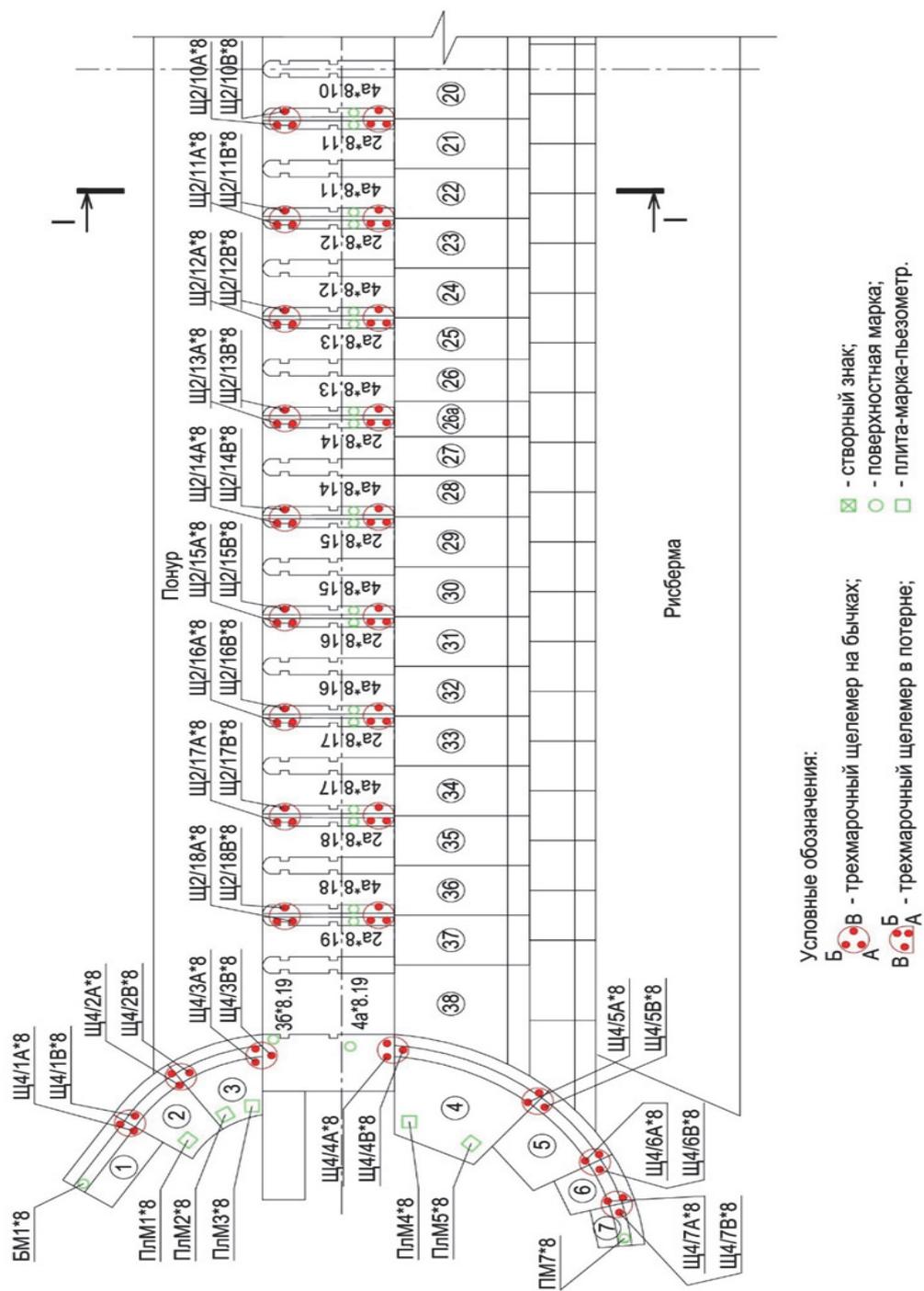
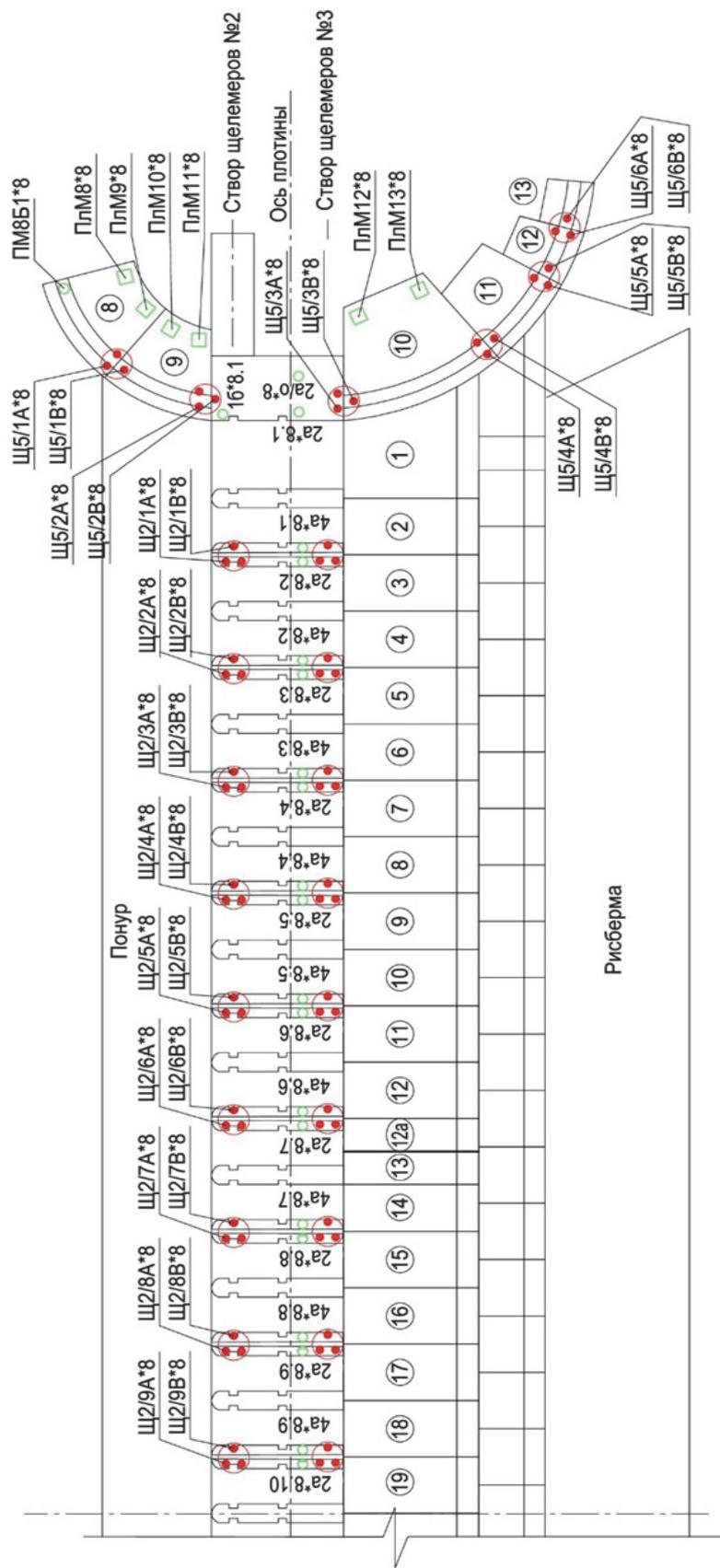
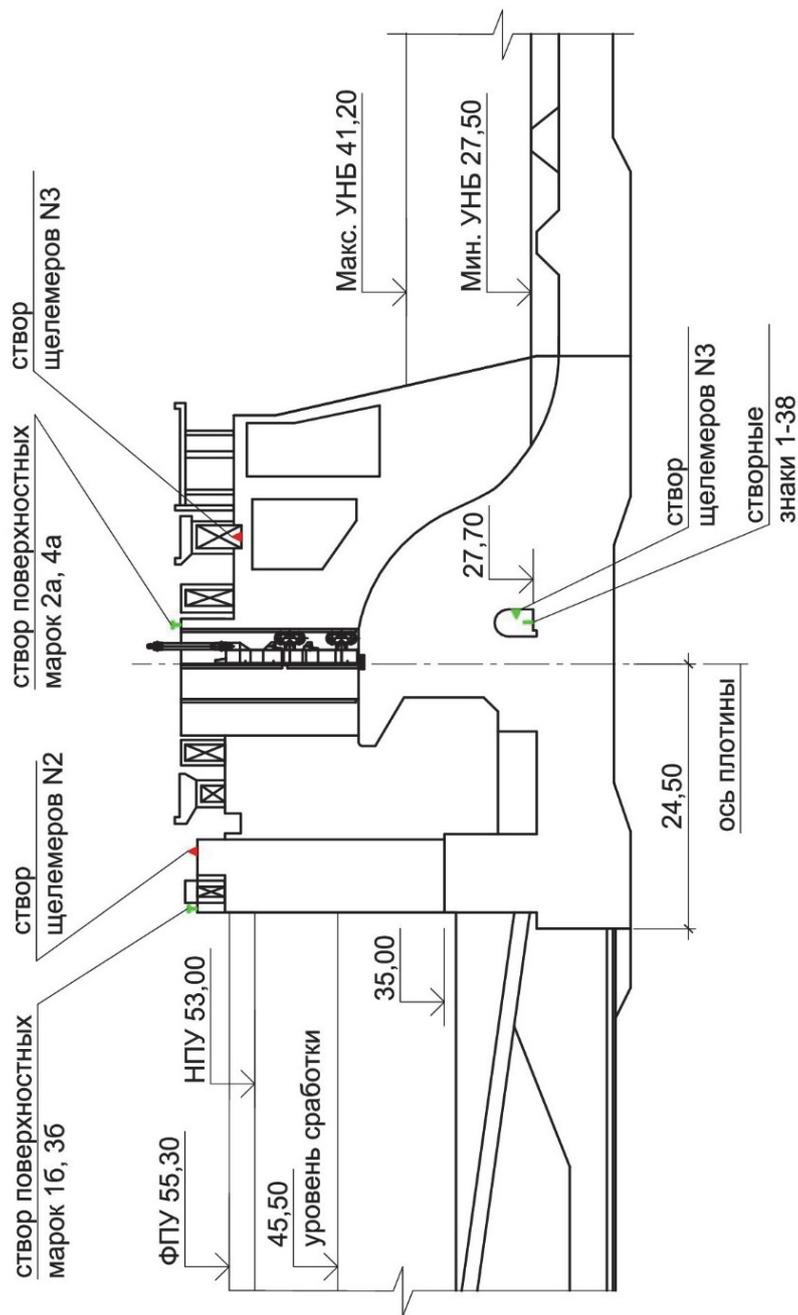


Рис. 1.2.1.1. Схема расположения геодезических марок на водосливной плотине. План (правая часть)



- Условные обозначения:
- В - трехмарочный щелемер на бычках;
  - А - поверхностная марка;
  - В<sub>А</sub> - трехмарочный щелемер в потерне;
  - створный знак;
  - поверхностная марка;
  - плита-марка-пьезометр.

Рис. 1.2.2.2. Схема расположения геодезических марок на водосливной плотине. План (левая часть)



Условные обозначения:

- ▲ - трехмарочный щелемер на бычках;
- ▲ - трехмарочный щелемер в потерне;
- ┆ - створный знак;
- ┆ - поверхность марка.

Рис. 1.2.3. Схема расположения геодезических марок на водосливной плотине. Разрез I-I

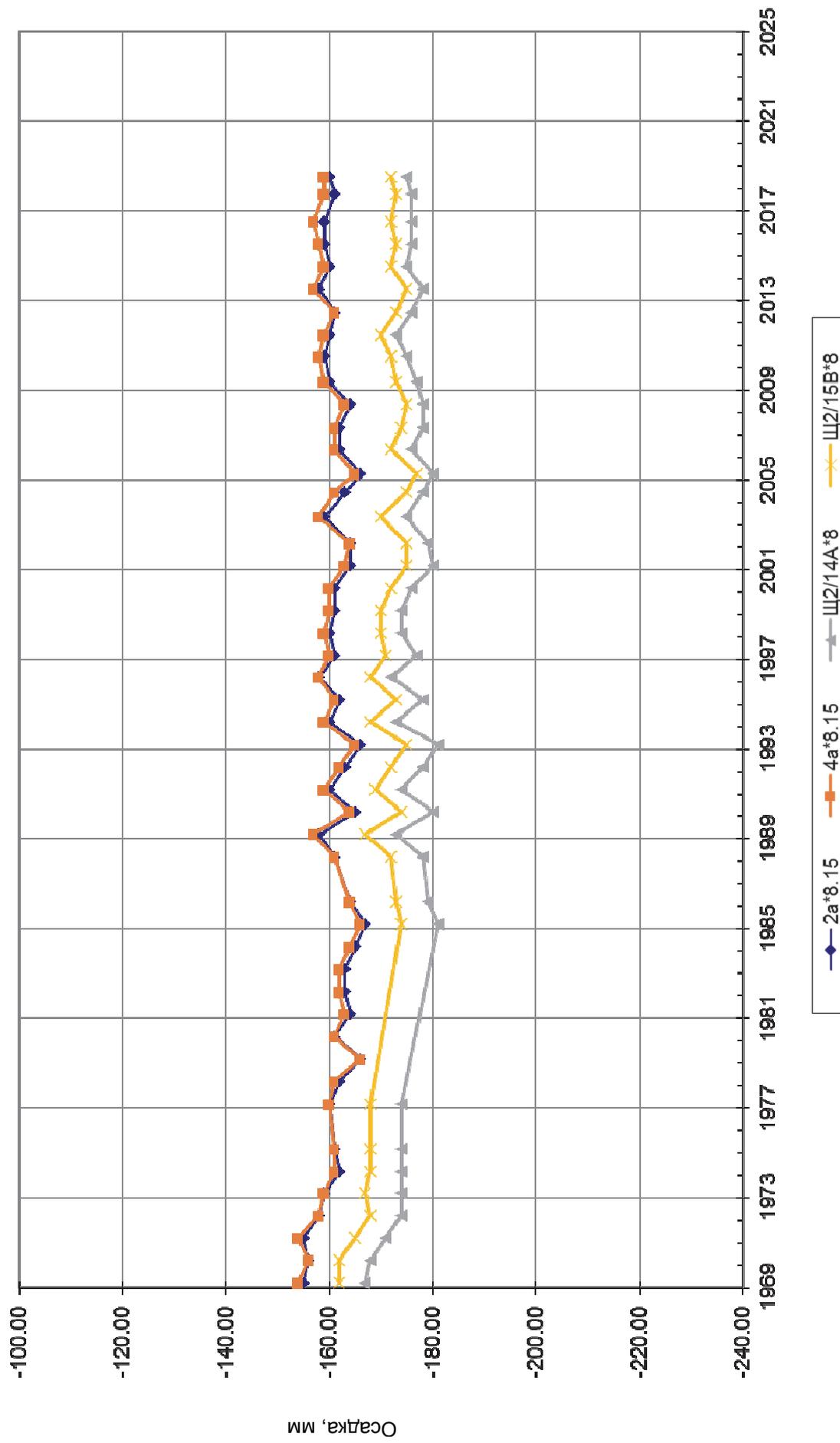


Рис. 1.2.4. Водосливная плотина. Сопоставление осадок по маркам створов 2 и створов 2а, 4а (секция 15)

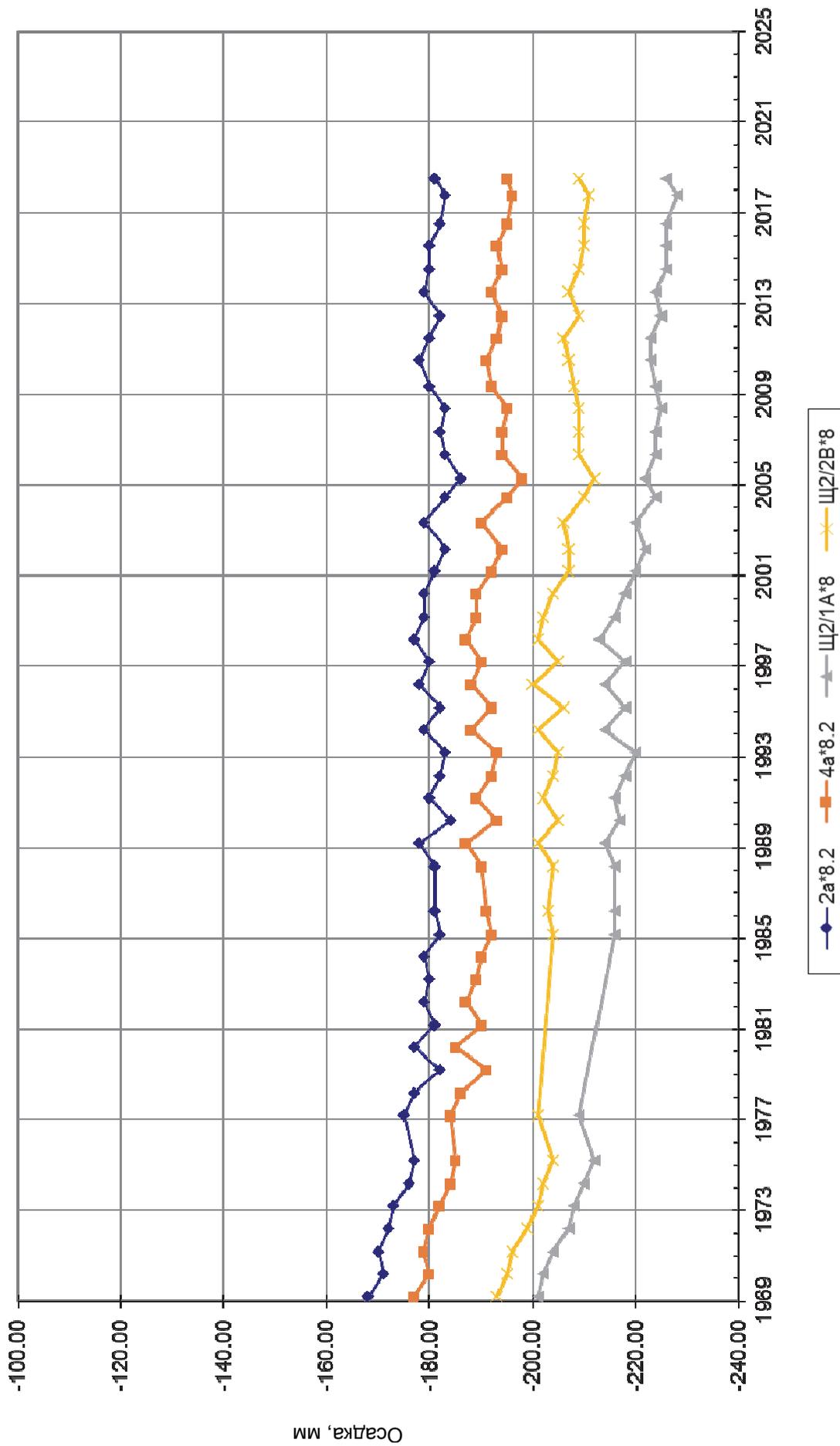


Рис. 1.2.5. Водосливная плотина. Сопоставление осадок по маркам створов 2 и створов 2а, 4а (секция 2)

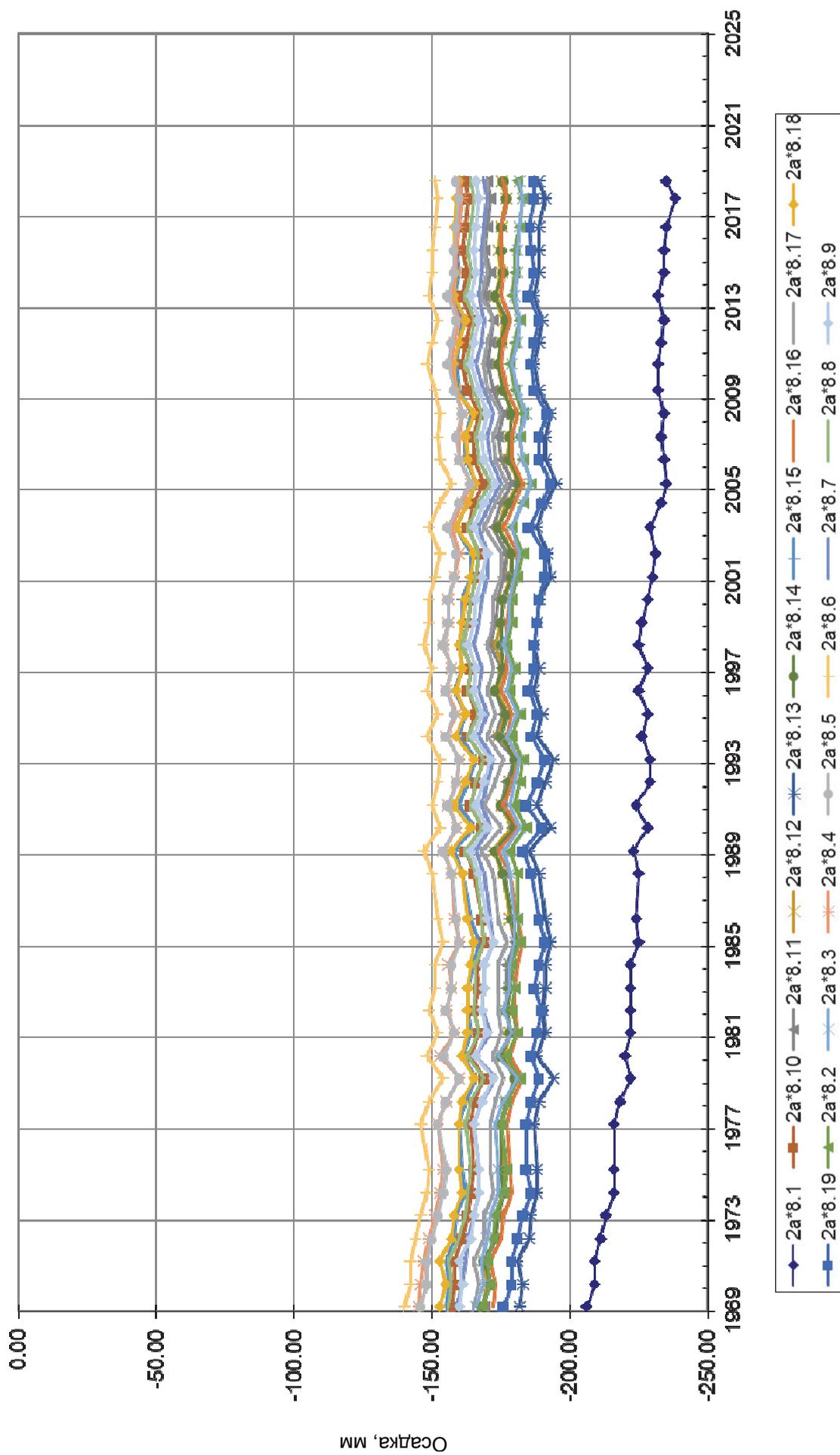


Рис. 1.2.6. Водосливная плотина. Осадки по маркам в створе 2а

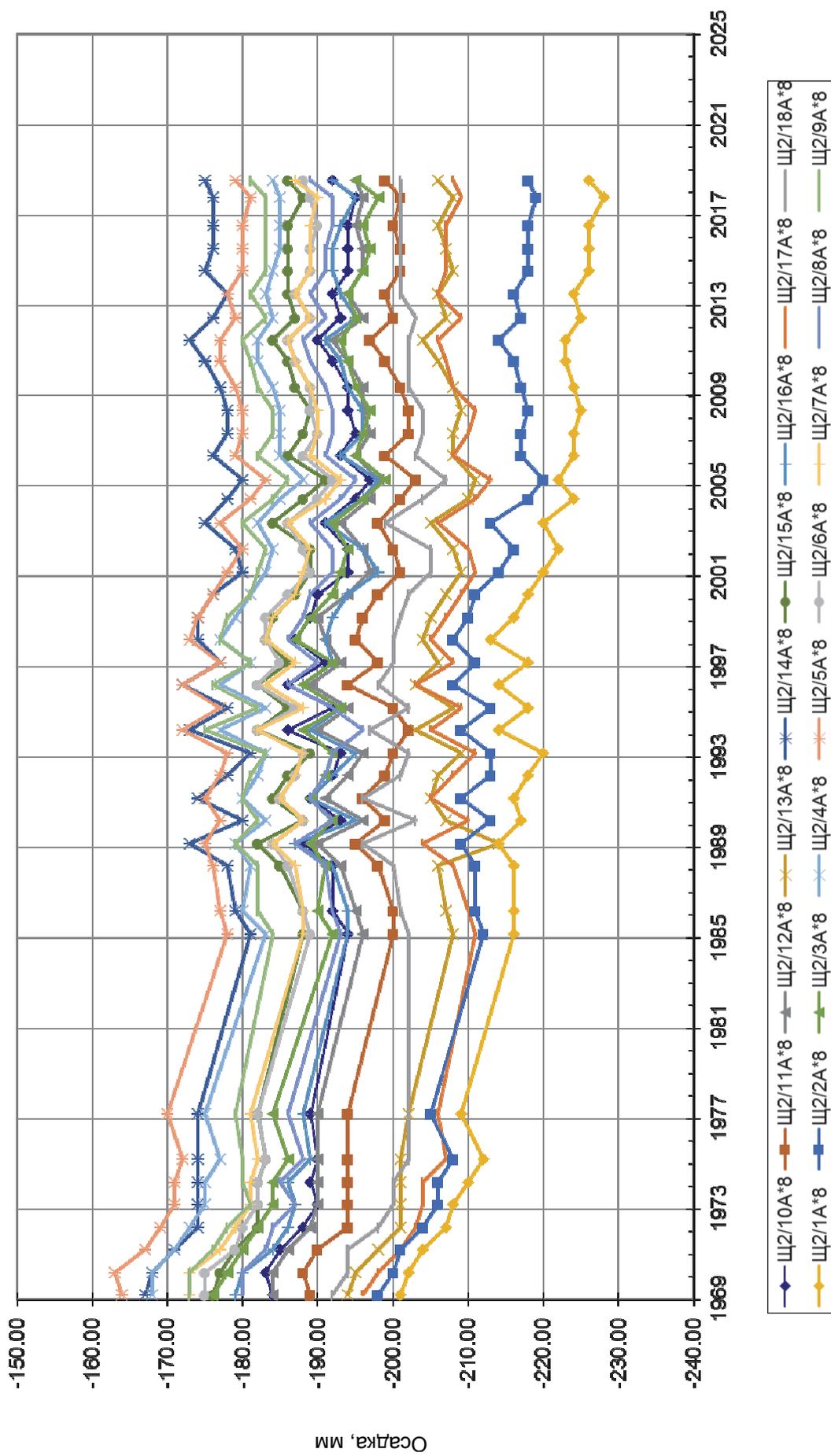
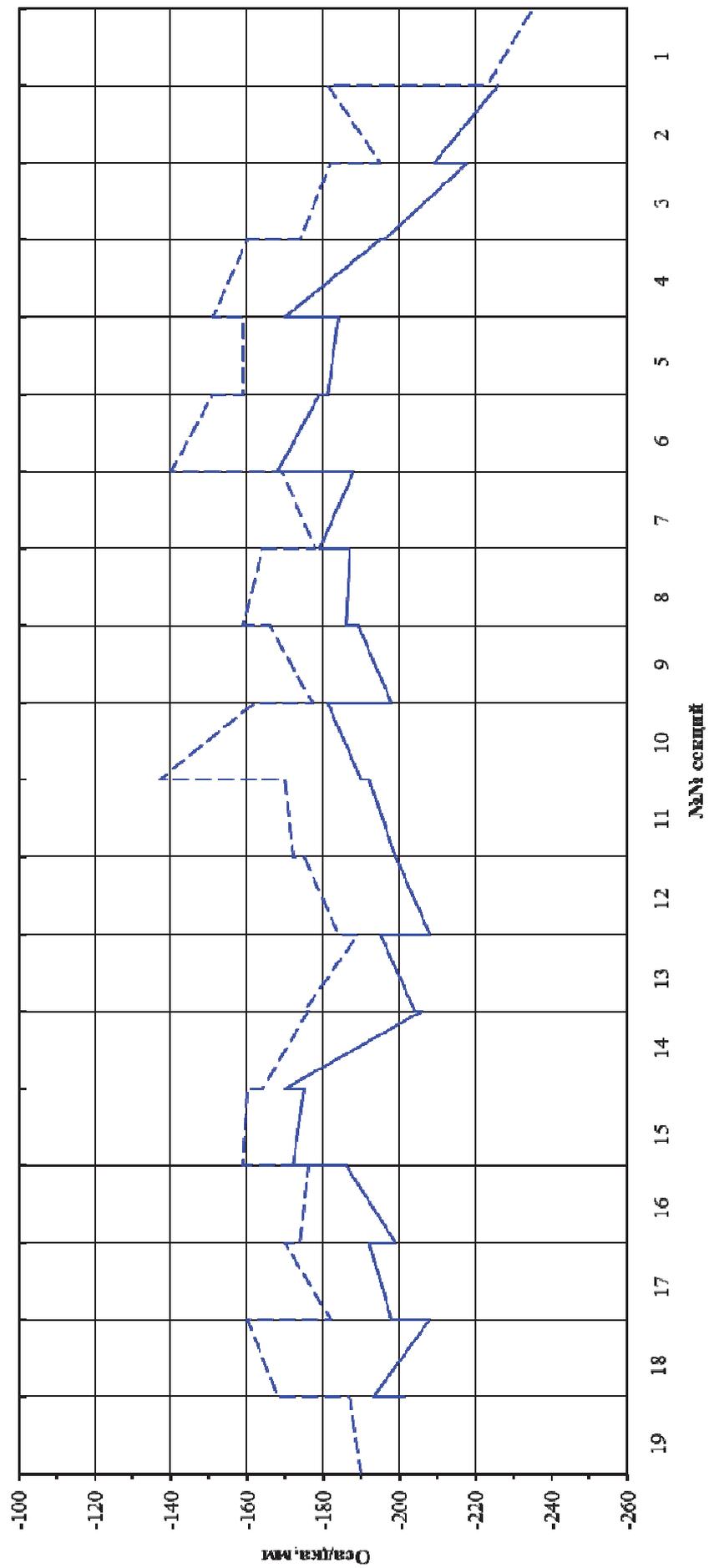


Рис. 1.2.7. Водосливная плотина. Осадка по маркам щелемеров. Створ 2



— Створ 2  
 - - - Створ 2а-4а

Рис. 1.2.8. Эпюра распределения осадок секций водосливной плотины. Створы 2, 2а – 4а

Осадка плотины по длине достаточно равномерная, только в примыкающих секциях 1 и 2 наблюдается увеличение значений осадок.

Наблюдения, ведущиеся с 1969 г., показали, что за этот период интенсивность роста осадок по средним секциям не превышает 0,2-0,3 мм в год. По примыкающим к устоям секциям интенсивность осадок, в среднем за весь период наблюдений, составила 0,5-0,6 мм в год.

Характер изменения осадок секции водосливной плотины во времени свидетельствует о процессе их затухания.

В таблице 1.2.1 представлены критериальные значения осадок секций водосливной плотины.

Таблица 1.2.1

**Осадка секций водосливной плотины**

№ п/п	Область контроля	Наименование КИА	К1, мм	К2, мм
1	Секция 1	2а*8.1, 4а*8.1, Щ2/1В*8	-235,1	-242,4
2	Секция 2	2а*8.2, 4а*8.2, Щ2/1А*8, Щ2/2В*8	-207,9	-212,8
3	Секция 3	2а*8.3, 4а*8.3, Щ2/2А*8, Щ2/3В*8	-197,6	-202,2
4	Секция 4	2а*8.4, 4а*8.4, Щ2/3А*8, Щ2/4В*8	-175,0	-179,0
5	Секция 5	2а*8.5, 4а*8.5, Щ2/4А*8, Щ2/5В*8	-176,1	-180,2
6	Секция 6	2а*8.6, 4а*8.6, Щ2/5А*8, Щ2/6В*8	-165,0	-168,7
7	Секция 7	2а*8.7, 4а*8.7, Щ2/6А*8, Щ2/7В*8	-184,0	-187,3
8	Секция 8	2а*8.8, 4а*8.8, Щ2/7А*8, Щ2/8В*8	-181,5	-184,3
9	Секция 9	2а*8.9, 4а*8.9, Щ2/8А*8, Щ2/9В*8	-188,5	-191,4
10	Секция 10	2а*8.10, 4а*8.10, Щ2/9А*8, Щ2/10В*8	-175,0	-177,6
11	Секция 11	2а*8.11, 4а*8.11, Щ2/10А*8, Щ2/11В*8	-189,4	-192,0
12	Секция 12	2а*8.12, 4а*8.12, Щ2/11А*8, Щ2/12В*8	-196,8	-200,0
13	Секция 13	2а*8.13, 4а*8.13, Щ2/12А*8, Щ2/13В*8	-196,3	-199,5
14	Секция 14	2а*8.14, 4а*8.14, Щ2/13А*8, Щ2/14В*8	-185,3	-188,1
15	Секция 15	2а*8.15, 4а*8.15, Щ2/14А*8, Щ2/15В*8	-172,6	-175,4
16	Секция 16	2а*8.16, 4а*8.16, Щ2/15А*8, Щ2/16В*8	-190,0	-192,8
17	Секция 17	2а*8.17, 4а*8.17, Щ2/16А*8, Щ2/17В*8	-192,1	-195,4
18	Секция 18	2а*8.18, 4а*8.18, Щ2/17А*8, Щ2/18В*8	-187,6	-191,0
19	Секция 19	2а*8.19, 4а*8.19, Щ2/18А*8	-199,6	-202,5

Сопоставление величин, полученных в ходе натуральных наблюдений, с критериальными значениями показало, что превышений критериальных значений не отмечается.

### 1.3. Осадки земляной плотины

Земляная плотина перекрывает русло и левобережную пойму, и находится между водосливной плотиной и зданием ГЭС. Длина земляной плотины 2802,50 м, причем русловая часть плотины имеет длину 1305 м, а пойменная часть имеет длину 1501 м. Наибольшая высота русловой плотины 45 м, пойменной - 28,5 м. Тело плотины сложено из мелкозернистых песков, уложенных с помощью гидромеханизации. Земляная плотина в сопряжениях с водосливной плотиной и зданием ГЭС имеет укрепления, выступающие в виде пирсов в верхний и нижний бьеф (дамбы 49 и 50). Для контроля за осадками земляная плотина и дамбы оснащены большим количеством грунтовых марок (ПК) и рабочих реперов (РР), оставшихся от строительного периода. Грунтовые марки размещены на гребне плотины через каждые 100 м по длине (рис. 1.3.1, 1.3.2). Кроме того, в пяти поперечных створах размещены по три марки ПГМ для определения осадок в поперечном направлении. Для контроля осадок основания по подошве земляной плотины были заложены глубинные плиты - марки, с помощью которых можно было разделить осадку тела плотины и основания (рис. 1.3.3). Глубинные марки были размещены: по четыре плиты-марки во II, III, IV створах, по две плиты – марки в створах V и VII и одна плита-марка в створе VIII.

Рабочие репера, оставшиеся от строительного периода, установлены по нижней бровке гребня. Показания этих реперов совпадали с показаниями поверхностных марок, поэтому они использовались как контрольные и в анализе не участвовали. Для примера, на рис. 1.3.4 приведены графики осадок поверхностной марки (ПК34\*6) и расположенного рядом рабочего репера (Рр34/2\*6).

На рис. 1.3.5 и 1.3.6 приведены осадки всех грунтовых марок, установленных на гребне земляной плотины. Осадки всех марок имеют слабозатухающий характер. В пойменной части их значения находятся в диапазоне от 145 до 190 мм на середину 2018 г. В русловой части максимальные значения осадок достигают 230 мм (ПК 34 и ПК 38). Интенсивность осадок марок в пойменной части оставляет 2,2 мм/год, а в русловой части 3,0 мм/год.

Учитывая, что в основание плотины установлено большое количество глубинных марок (плиты-марки), получена достоверная картина осадок. На рис. 1.3.7 показаны графики осадок с начала наблюдений. Как видно из рис. 1.3.6, осадка земляной плотины строительного периода составила 290-330 мм. Осадка основания за последующие 60 лет эксплуатации находилась в пределах 80-90 мм.

В целом, осадки грунтовой плотины еще продолжаются, причем интенсивность осадки основания плотины составляет 1,5 мм/год, и примерно с такой же интенсивностью консолидируются грунты тела плотины (рис. 1.3.8).

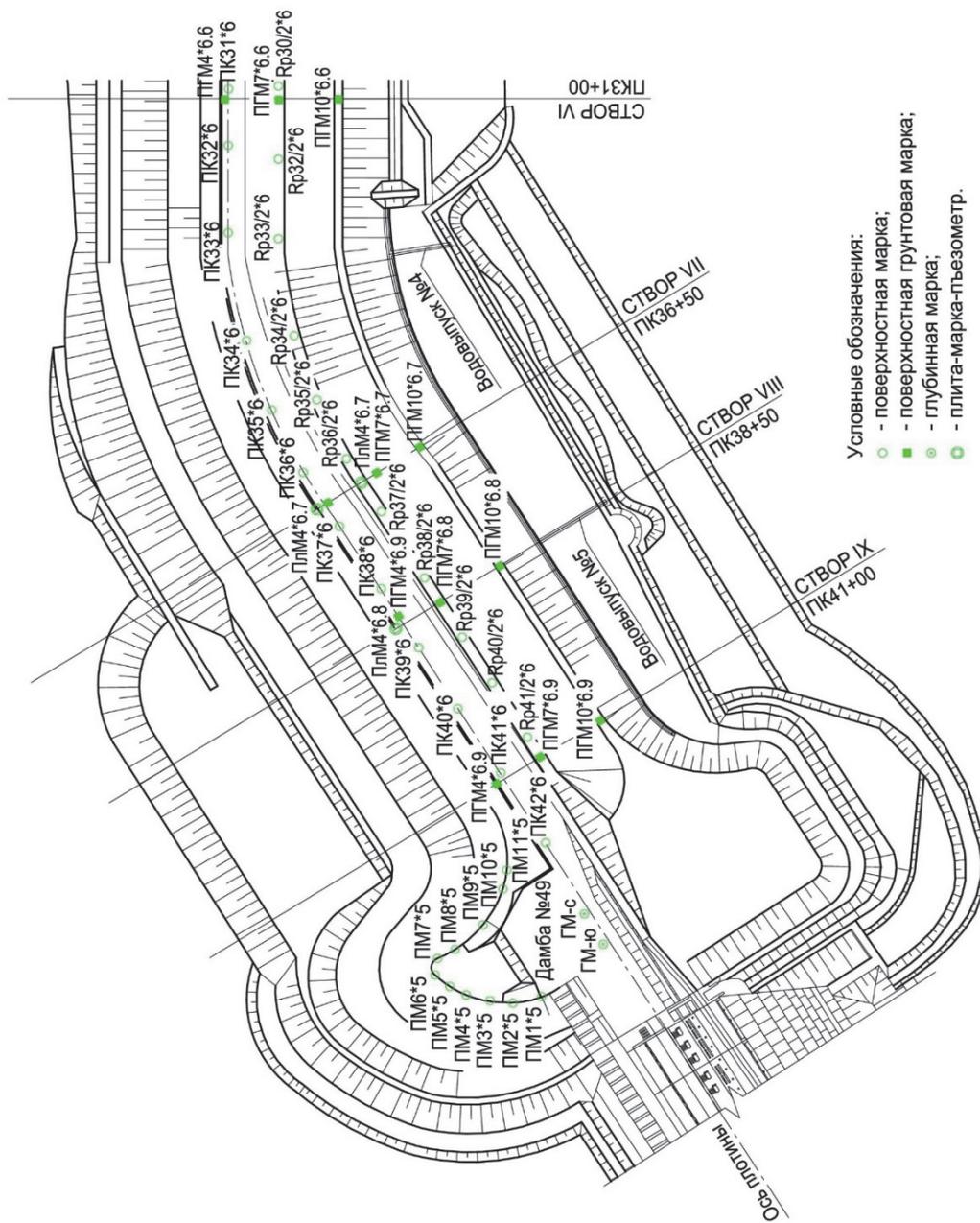


Рис. 1.3.1. Схема размещения геодезических марок на земляной плотине. План (правая сторона)

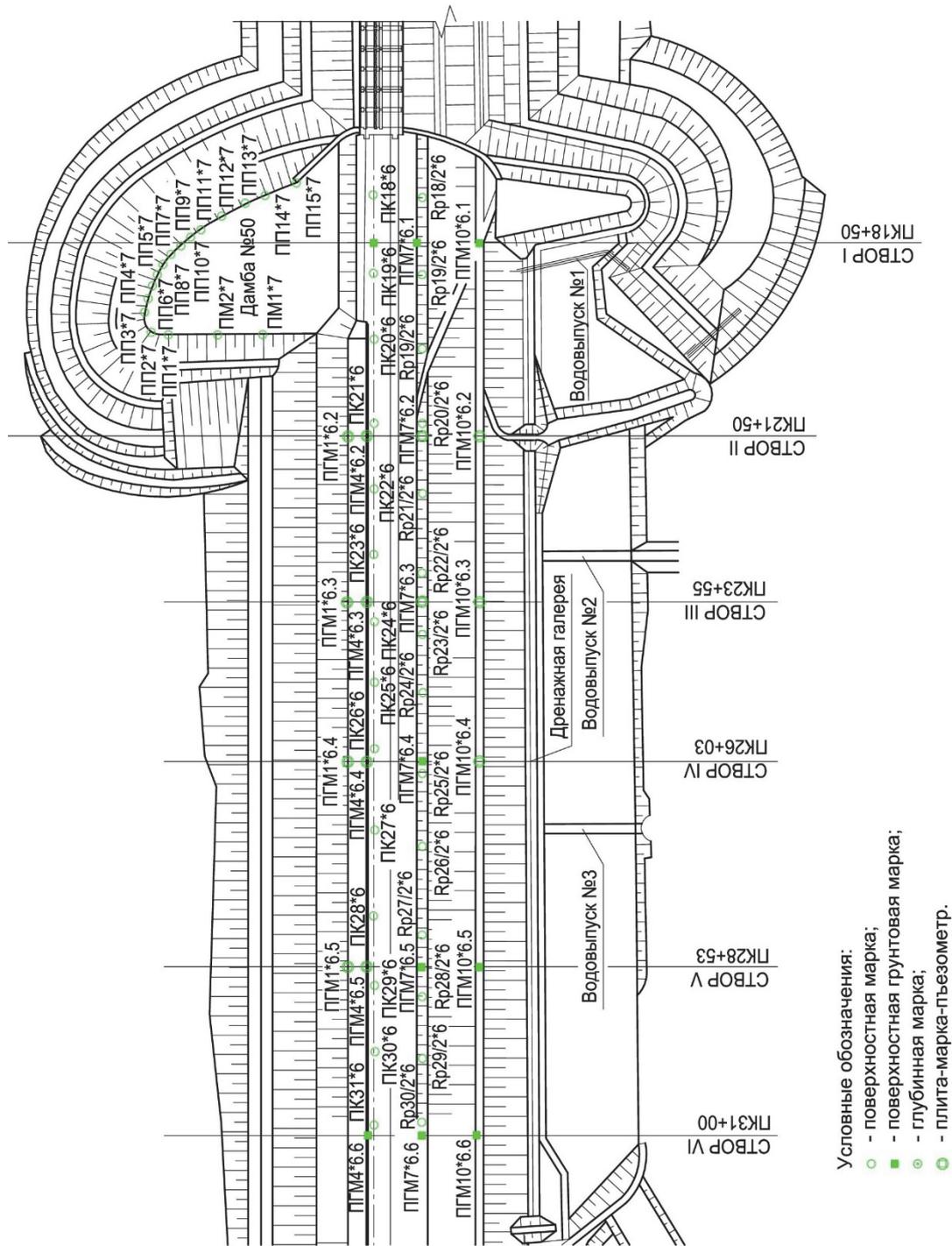


Рис. 1.3.2. Схема размещения геодезических марок на земляной плотине. План (левая сторона)

Сечение I-I  
пойменная часть

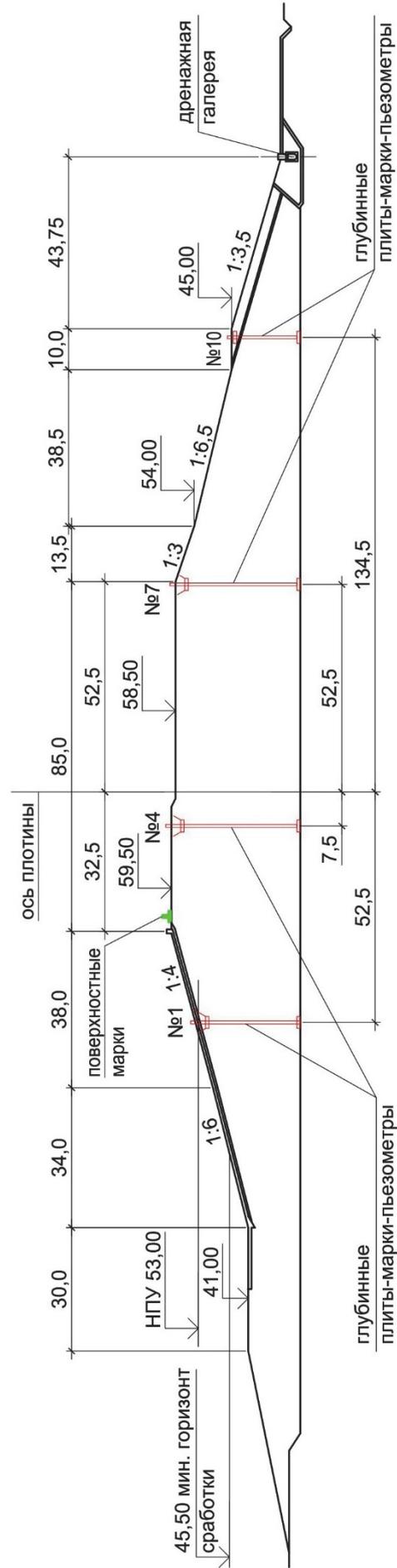


Рис. 1.3.3. Схема размещения геодезических марок на земляной плотине. Пойменная часть. Сечение I-I

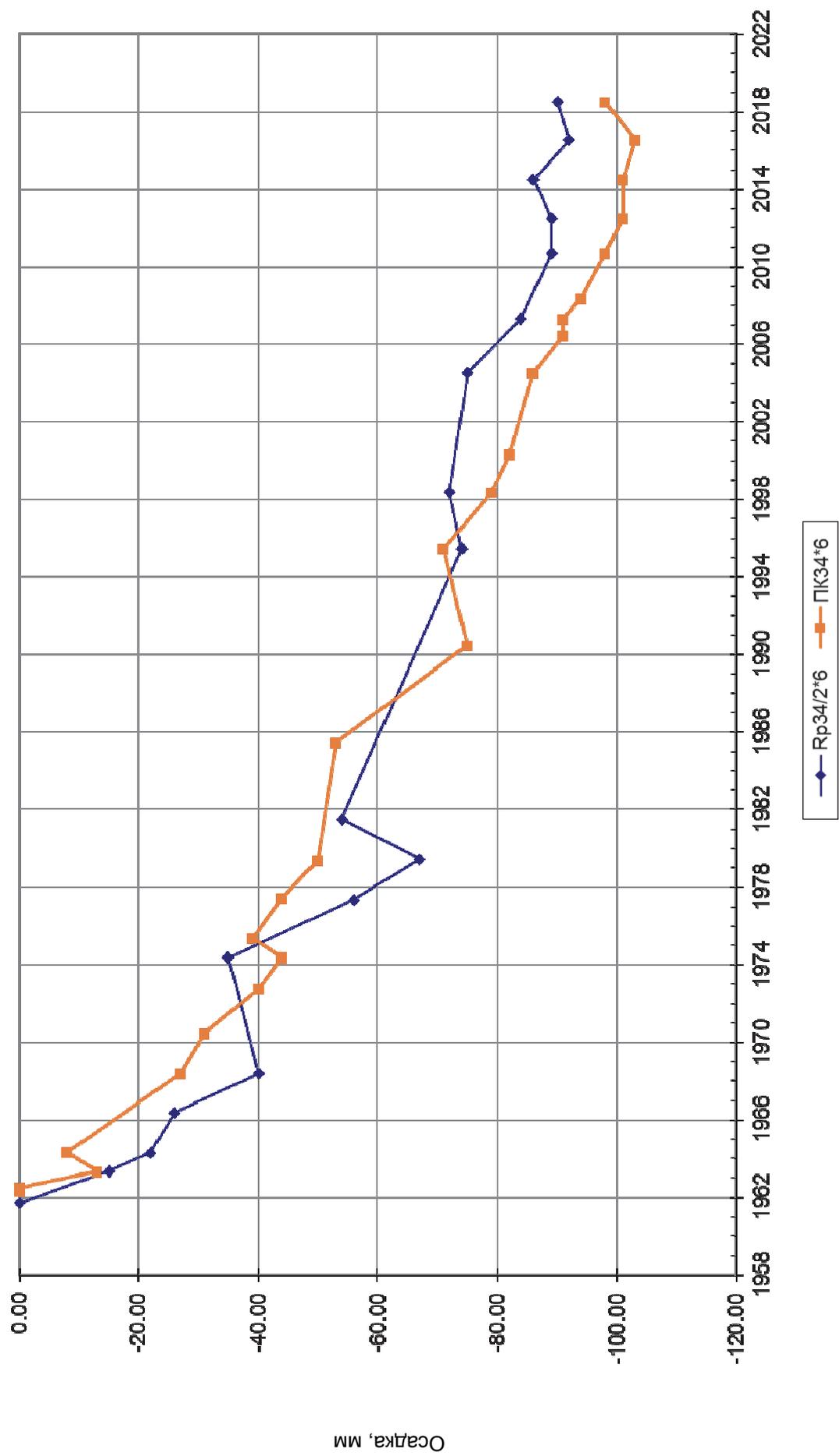


Рис. 1.3.4. Осадки земляной плотины по показаниям поверхностной марки ПК34\*6 и репера Rp34/2\*6

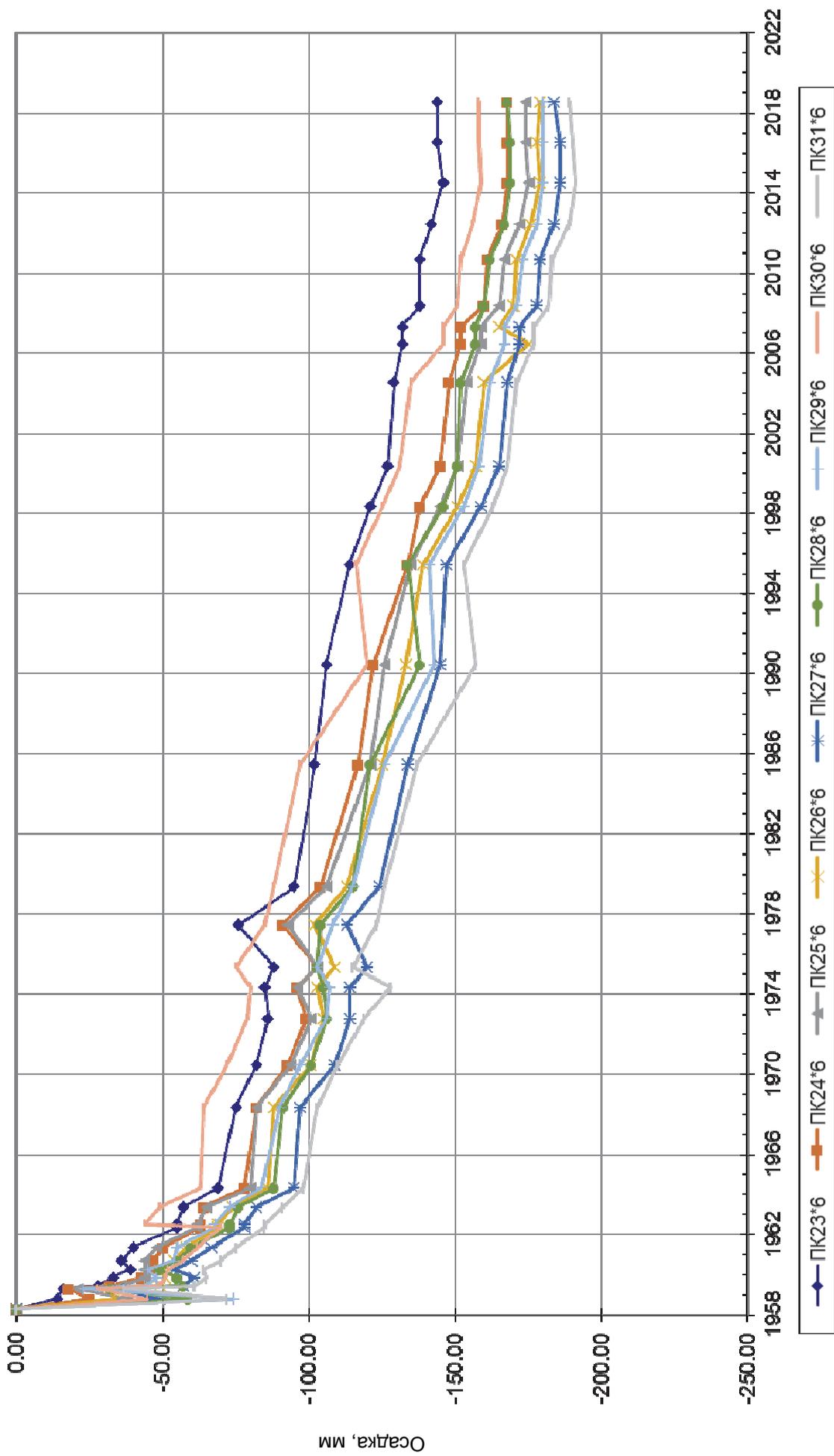


Рис. 1.3.5. Осадки земляной плотины по показаниям поверхностных марок, расположенных на гребне плотины (ПК23\*6...ПК31\*6).

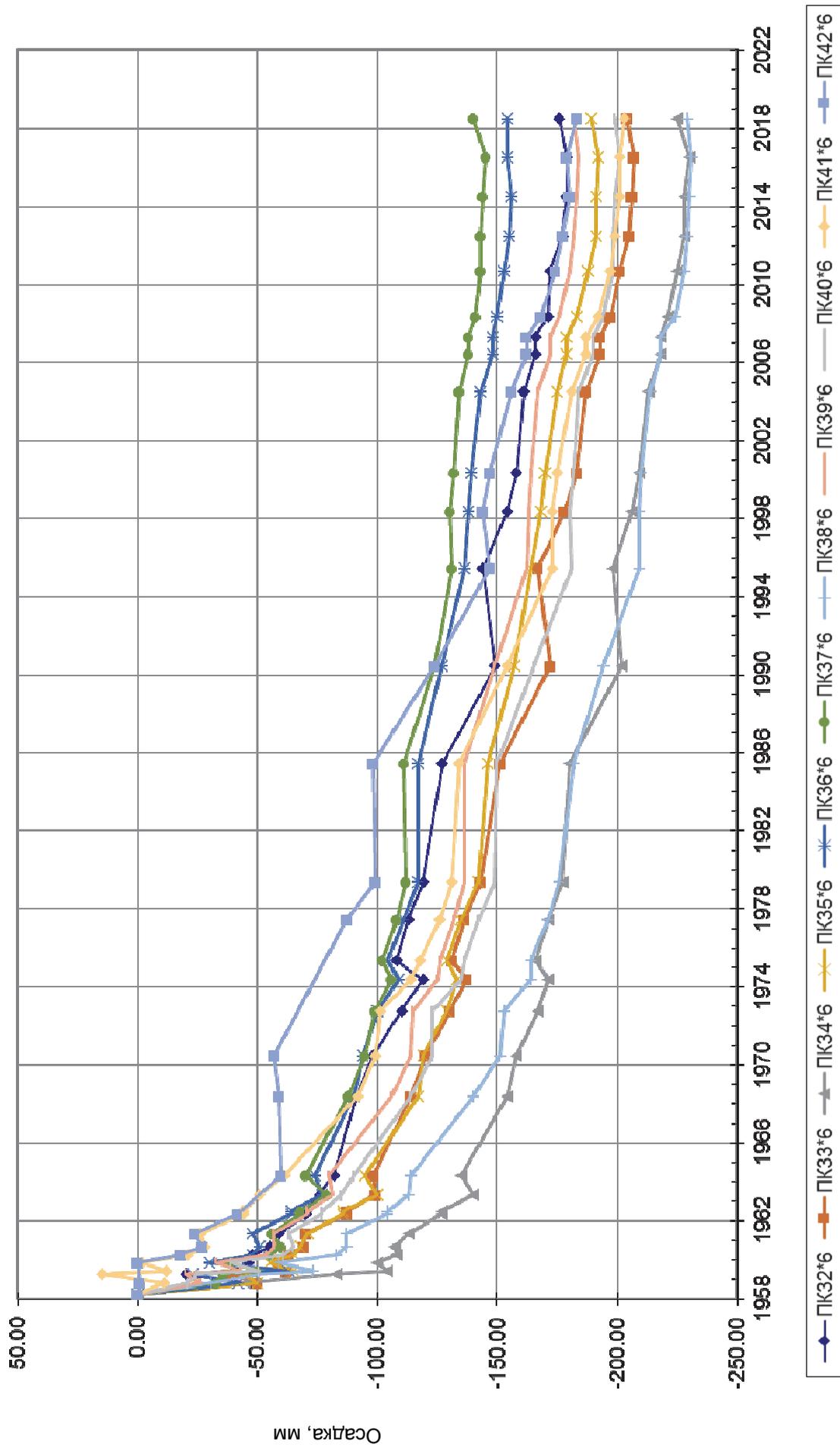


Рис. 1.3.6. Осадки земляной плотины по показаниям поверхностных марок, расположенных на гребне плотины (ПК32\*6...ПК42\*6)

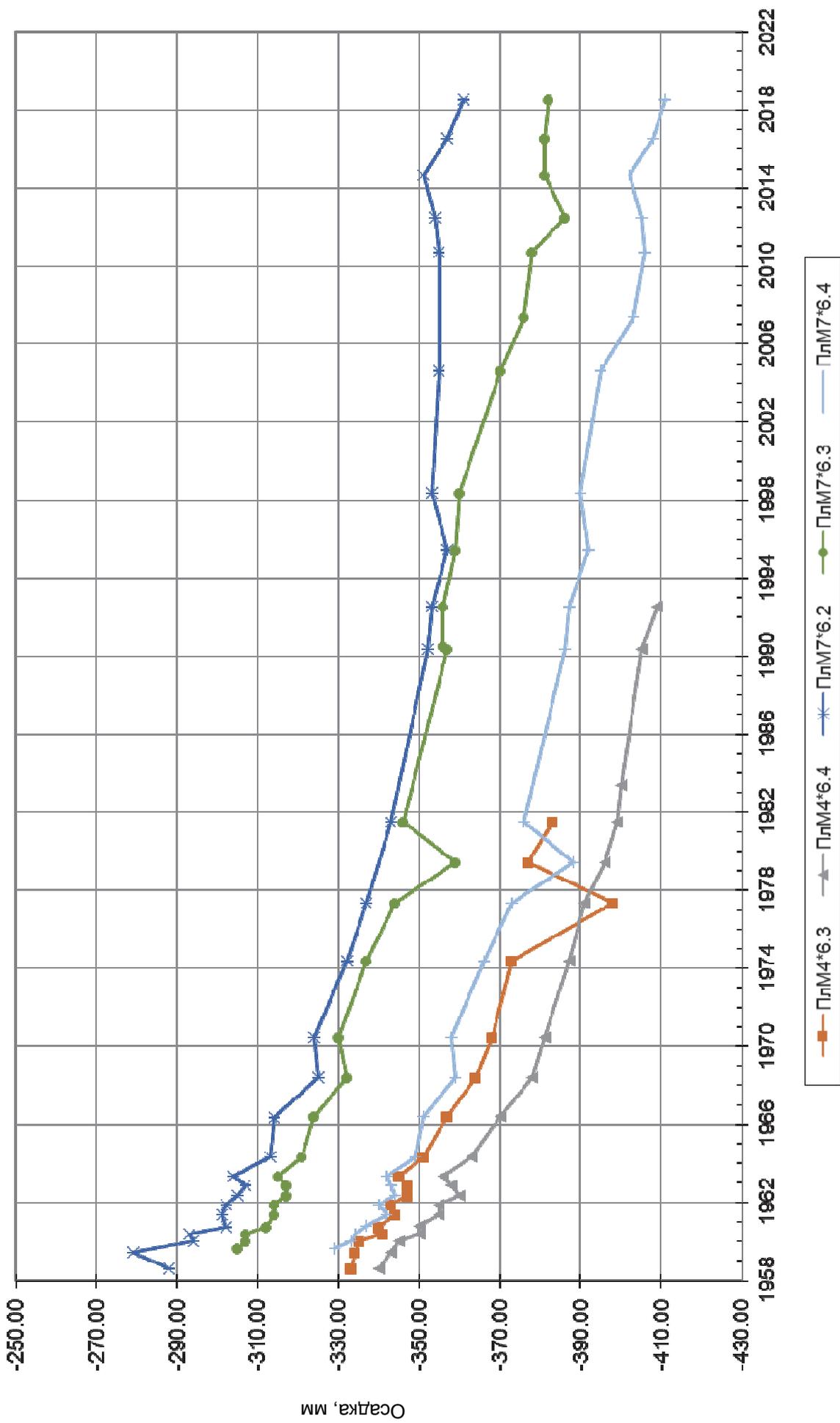


Рис. 1.3.7. Осадки земляной плотины по показаниям плит-марок

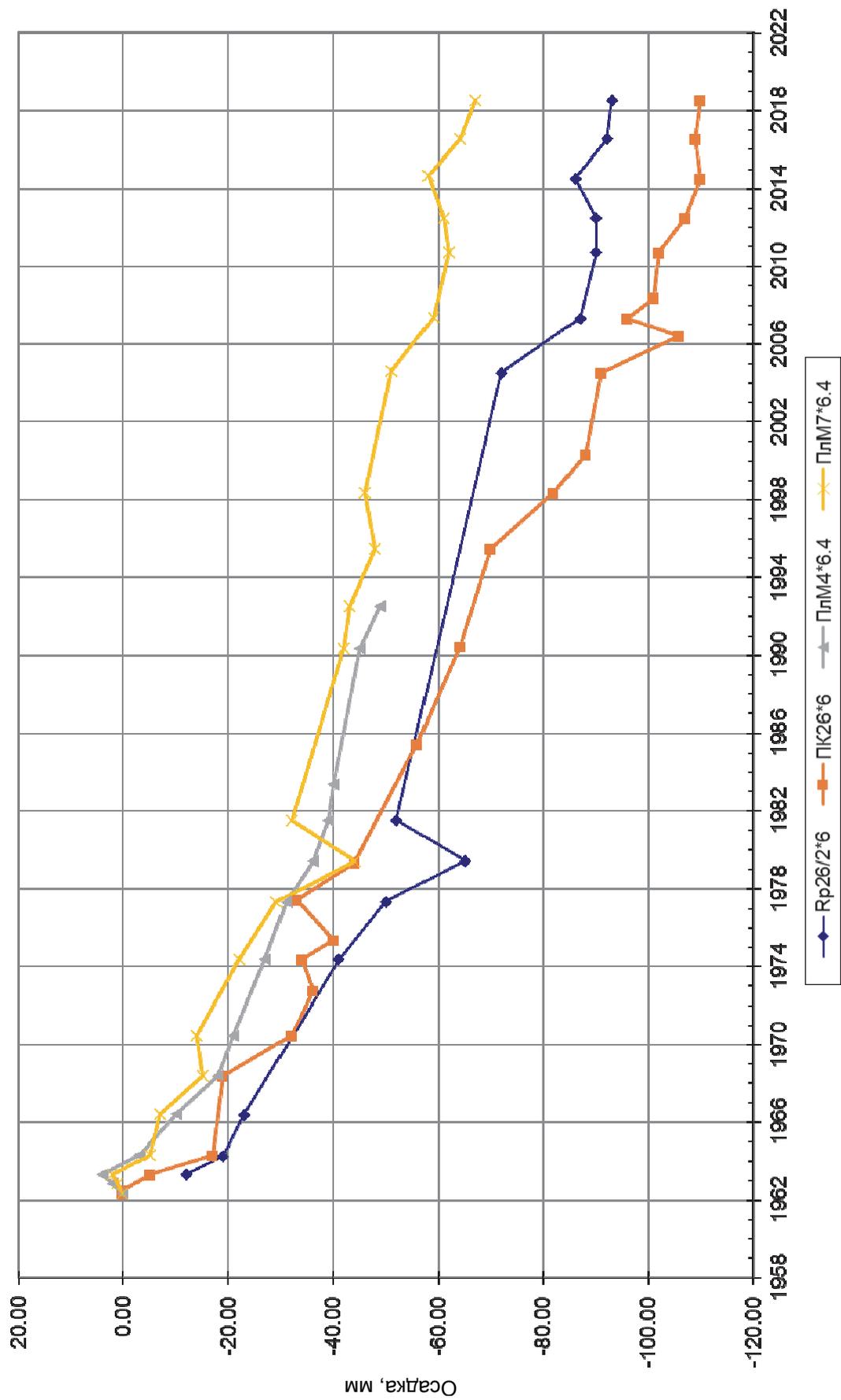


Рис. 1.3.8. Сопоставление показаний глубинных и поверхностных марок, расположенных на земляной плотине

В таблице 1.3.1 представлены критериальные значения осадок гребня земляной плотины.

Таблица 1.3.1

**Осадка гребня земляной плотины**

№ п/п	Область контроля	Наименова- ние КИА	Критериальные значения (мм) по годам						К2
			К1						
			2021	2022	2023	2024	2025		
1	ПК20	ПК20*6	-209,4	-211,7	-214,0	-216,3	-218,6	-234,0	
2	ПК21	ПК21*6	-182,1	-183,6	-185,1	-186,7	-188,2	-191,0	
3	ПК22	ПК22*6	-155,1	-156,3	-157,6	-158,8	-160,0	-162,5	
4	ПК23	ПК23*6	-158,6	-160,0	-161,4	-162,8	-164,2	-166,7	
5	ПК24	ПК24*6	-184,6	-186,3	-188,1	-189,8	-191,5	-194,2	
6	ПК25	ПК25*6	-192,7	-194,5	-196,4	-198,2	-200,1	-203,0	
7	ПК26	ПК26*6	-200,8	-202,6	-204,4	-206,2	-208,0	-212,4	
8	ПК27	ПК27*6	-203,7	-205,4	-207,1	-208,7	-210,4	-213,7	
9	ПК28	ПК28*6	-185,1	-186,6	-188,1	-189,5	-191,0	-194,4	
10	ПК29	ПК29*6	-200,9	-202,7	-204,5	-206,4	-208,2	-211,9	
11	ПК30	ПК30*6	-180,9	-182,8	-184,8	-186,7	-188,6	-193,1	
12	ПК31	ПК31*6	-211,1	-212,8	-214,5	-216,2	-217,9	-222,4	
13	ПК32	ПК32*6	-199,1	-200,8	-202,4	-204,0	-205,6	-210,2	
14	ПК33	ПК33*6	-227,0	-228,8	-230,6	-232,4	-234,2	-238,3	
15	ПК34	ПК34*6	-247,2	-248,7	-250,2	-251,6	-253,1	-257,1	
16	ПК35	ПК35*6	-206,7	-208,2	-209,6	-211,1	-212,6	-215,3	
17	ПК36	ПК36*6	-170,1	-171,2	-172,4	-173,6	-174,8	-177,7	
18	ПК37	ПК37*6	-158,1	-159,0	-160,0	-160,9	-161,9	-165,2	
19	ПК38	ПК38*6	-250,3	-251,9	-253,5	-255,1	-256,7	-260,5	
20	ПК39	ПК39*6	-199,4	-200,8	-202,2	-203,6	-205,0	-208,2	
21	ПК40	ПК40*6	-221,2	-222,8	-224,3	-225,9	-227,5	-231,7	
22	ПК41	ПК41*6	-226,9	-228,9	-231,0	-233,1	-235,2	-239,8	
23	ПК42	ПК42*6	-213,5	-216,1	-218,6	-221,1	-223,7	-230,3	

Сопоставление величин, полученных в ходе натурных наблюдений, с критериальными значениями показало, что превышений критериальных значений не отмечается.

## 2. ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ РЕЖИМ СООРУЖЕНИЙ ЖИГУЛЕВСКОЙ ГЭС

### 2.1. Фильтрационный режим в основании здания ГЭС

В основании здания ГЭС залегают глины киневельской свиты, прикрытые четвертичными глинами и суглинками с включением прослоек галечника. Эти породы характеризуются различной водопроницаемостью от 43,5 м/сутки до 0,05 м/сутки. Гидрологические условия основания характеризуются наличием двух водоносных горизонтов, которые могут служить путями фильтрации из верхнего бьефа в нижний. Наиболее важным для сооружения водоносным горизонтом является нижнечетвертичный базальный слой, имеющий сплошное развитие и лежащий вблизи подошвы или непосредственно под подошвой фундамента здания ГЭС. Понур расположен на слабопроницаемых грунтах, верховой зуб врезан в водоупорные глины. Наиболее водопроницаемые грунты залегают со стороны нижнего бьефа, выполняя функции искусственной дрены под зданием ГЭС.

Пробуренная в 2019 г. изыскательская скважина в основании под зданием ГЭС показала, что под секцией 4 здания ГЭС водопроницаемый слой из гравийно-галечникового материала находится на глубине всего 2-2,5 м от подошвы фундаментной плиты здания ГЭС. Напор фильтрационных вод в этом прослое соответствует уровню нижнего бьефа.

Противофильтрационные мероприятия обеспечиваются фундаментной плитой СУС с зубом и шпунтовой стенкой, анкерным понуром и верховым зубом здания ГЭС. Для контроля фильтрационного режима под зданием ГЭС были установлены 6 створов закладных пьезометров, размещенных под подошвой фундаментной плиты.

Схема размещения пьезометров в разрезе 1-1 здания ГЭС представлена на рис 2.1.1. Схема размещения пьезометров в плане здания ГЭС показана на рис. 2.1.2, 2.1.3.

Наблюдения показали, что по секциям 1, 5, 6, 7 падение напора после шпунта и анкерного понура составило 20-30%, под секциями 3 и 4 падения напора на этом участке практически не наблюдалось, и только в районе секции 8-10 падение напора составило 30-40% от величины напора.





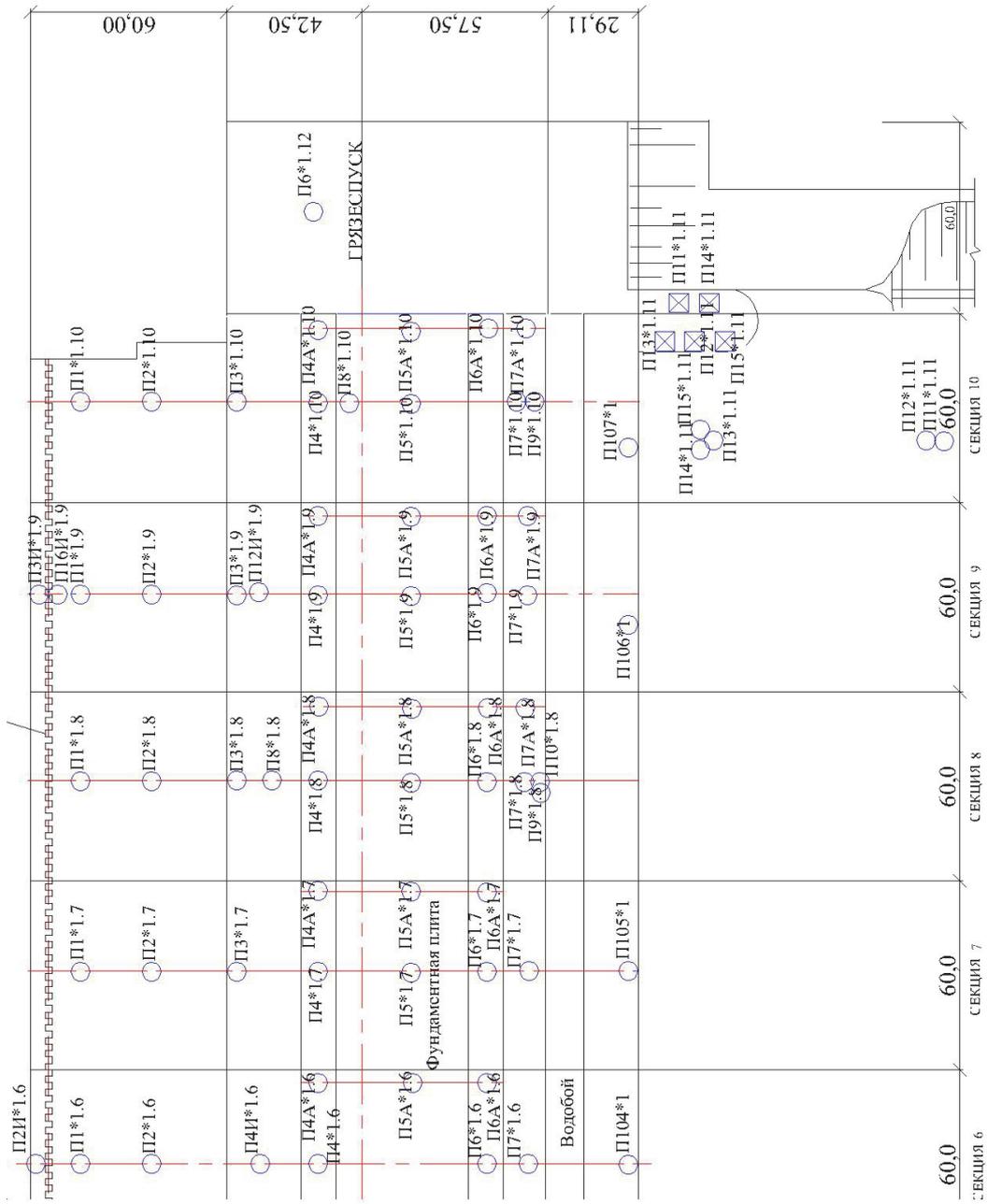
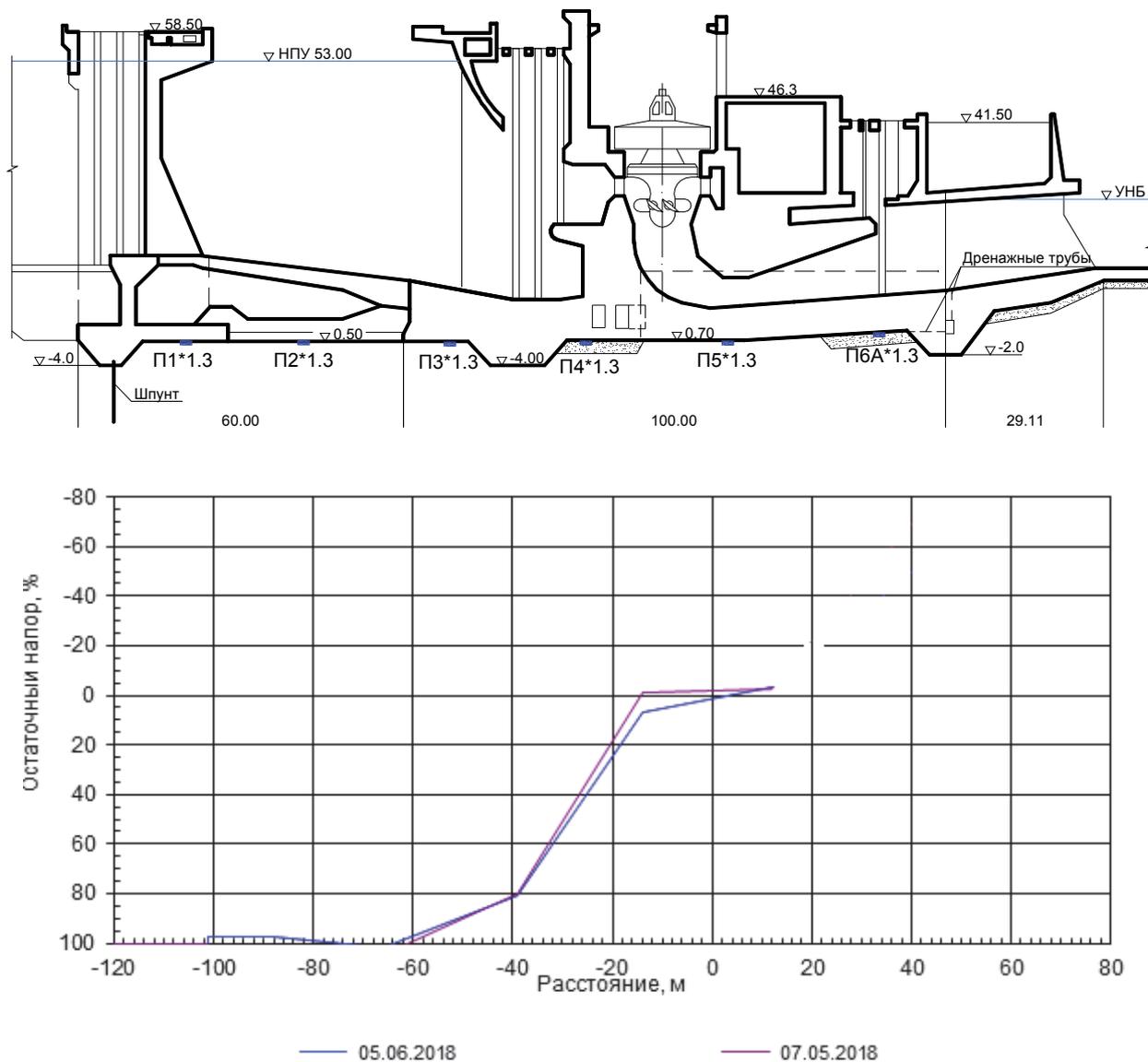


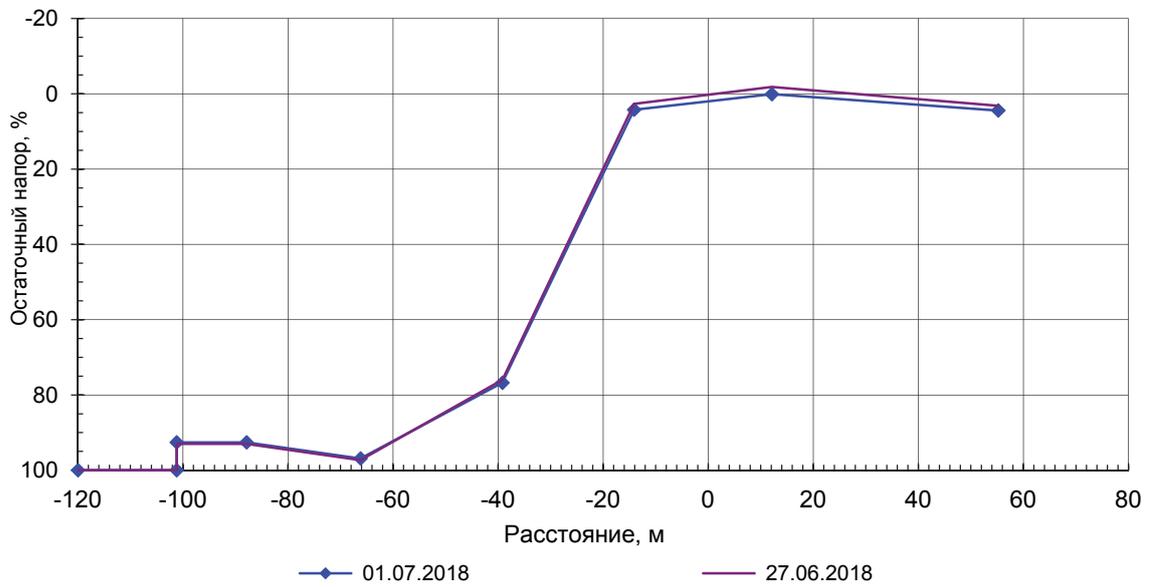
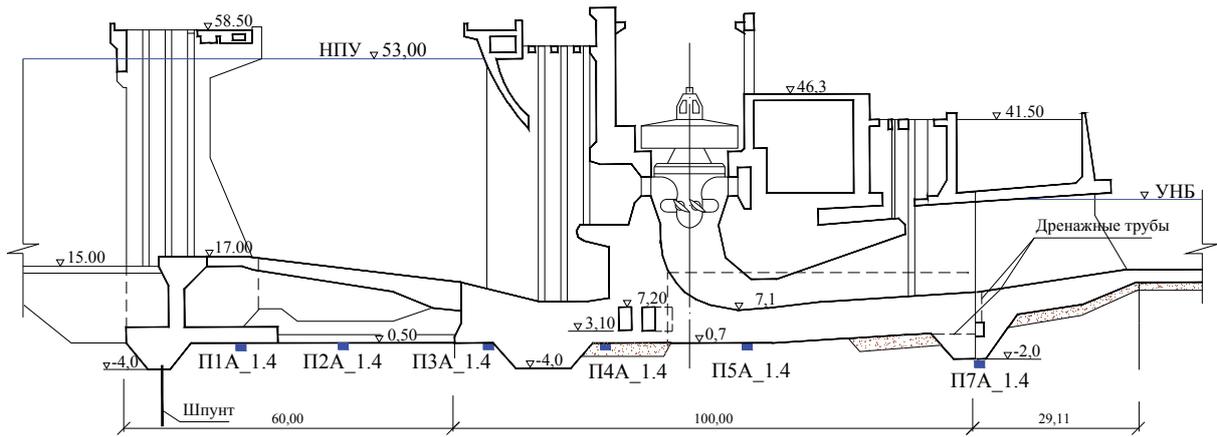
Рис. 2.1.3. Схема размещения пьезометров в здании ГЭС (левая часть)

Основное падение напора происходит на верховом зубе здания ГЭС, который почти по всей длине врезан в кинельские глины. На рис. 2.1.4...2.1.7 в качестве примера приведены эпюры остаточного напора под подошвой четырех секций (3, 4, 7 и 8) здания ГЭС.



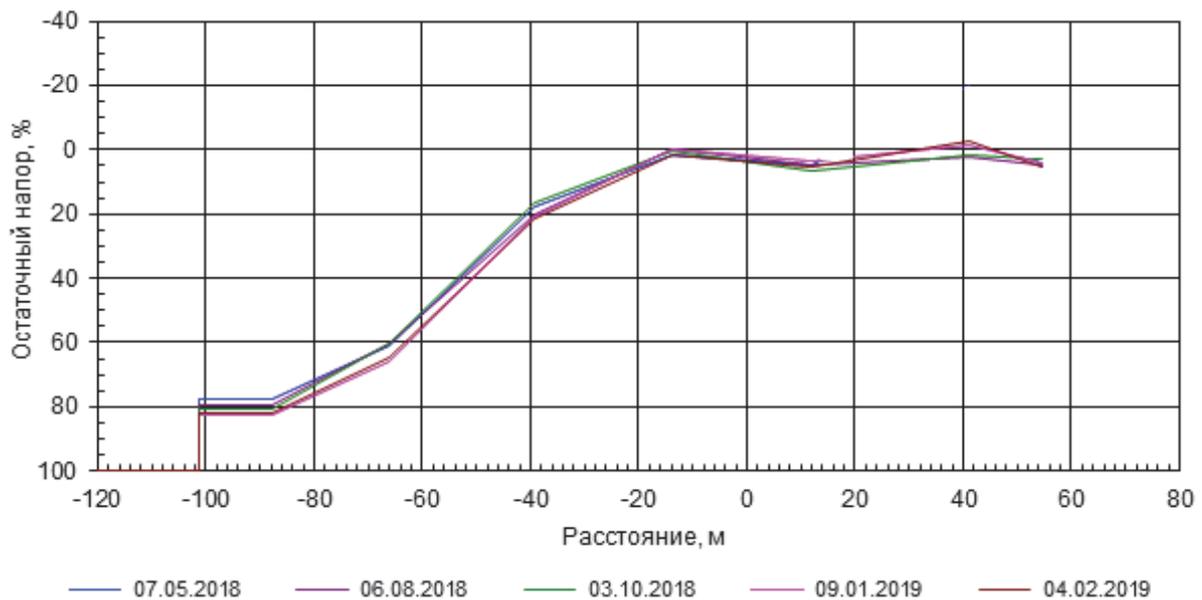
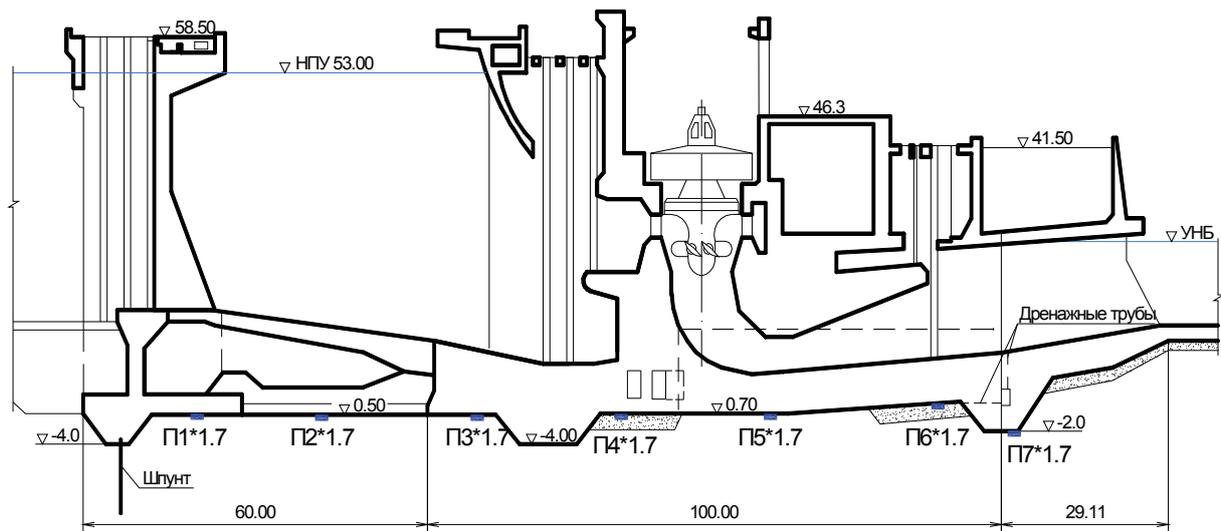
Дата	до верхового зуба			после верхового зуба		
	П1*1.3	П2*1.3	П3*1.3	П4*1.3	П5*1.3	П6А*1.3
05.06.2018	97.19	101.73	80.69	6.87	-2.95	
07.05.2018	107.30	104.41	79.90	-1.20	-2.83	

Рис. 2.1.4. Эпюры распределения остаточного напора на подошву здания ГЭС. Секция 3



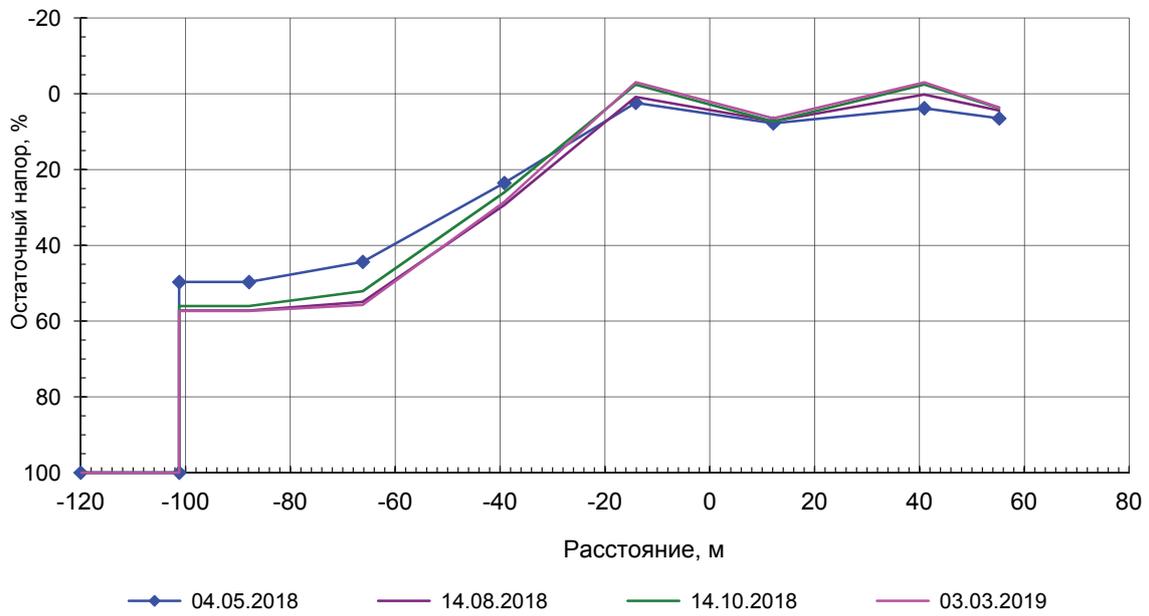
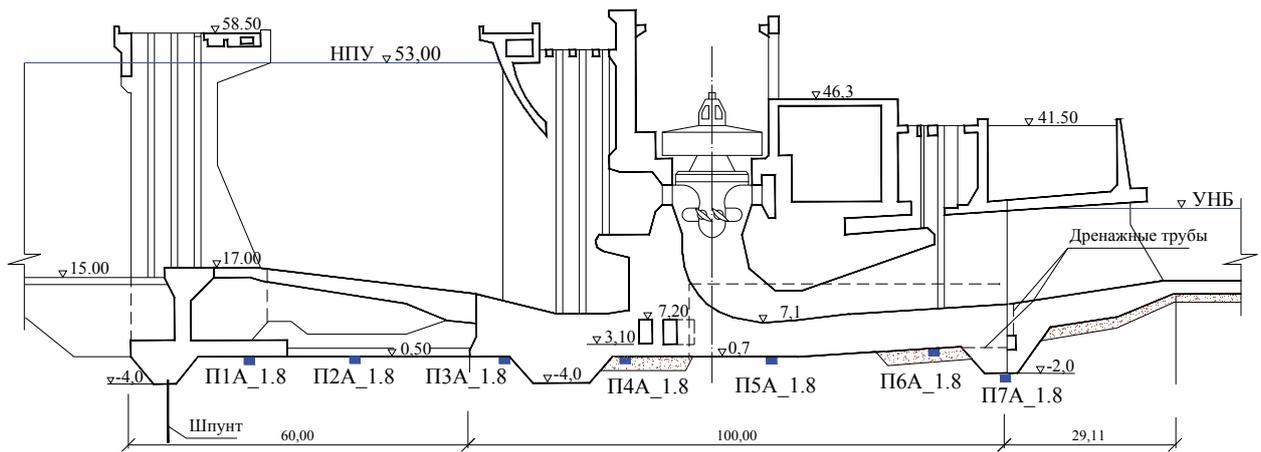
Дата	до верхового зуба			после верхового зуба		
	П1А_1.4	П2А_1.4	П3А_1.4	П4А_1.4	П5А_1.4	П7А_1.4
01.07.2018	92.59	96.87	76.76	4.23	0.10	4.44
27.06.2018	93.00	97.30	75.97	2.66	-1.81	3.19

Рис. 2.1.5. Эпюры распределения остаточного напора на подошву здания ГЭС. Секция 4



Дата	до верхового зуба			после верхового зуба			
	П1*1.7	П2*1.7	П3*1.7	П4*1.7	П5*1.7	П6*1.7	П7*1.7
07.05.2018	77.50	61.09	17.93	1.58	4.84		5.60
06.08.2018	79.31	60.22	20.35	-0.38	4.69	2.15	4.43
03.10.2018	80.66	60.52	16.67	0.58	6.37	1.47	2.99
09.01.2019	82.85	65.95	20.61	-0.10	3.75	-1.54	4.42
04.02.2019	82.09	64.96	21.46	1.95	5.35	-2.43	5.06

Рис. 2.1.6. Эпюры распределения остаточного напора на подошву здания ГЭС. Секция 7



Дата	до верхового зуба			после верхового зуба			
	П1А_1.8	П2А_1.8	П3А_1.8	П4А_1.8	П5А_1.8	П6А_1.8	П7А_1.8
04.05.2018	49.68	44.36	23.53	2.38	7.80	3.81	6.49
14.08.2018	57.22	54.93	29.36	0.83	7.25	0.18	4.42
14.10.2018	56.01	52.09	26.02	-2.40	7.33	-2.45	3.78
03.03.2019	57.34	55.75	28.51	-3.02	6.47	-2.98	3.62

Рис. 2.1.7. Эпюры распределения остаточного напора на подошву здания ГЭС. Секция 8

Фактические значения максимальных напоров и градиентов напоров на различных участках фундаментной плиты показаны в таблице 2.1.1.

Таблица 2.1.1

**Фактические градиенты напора по контакту фундаментной плиты здания ГЭС с основанием на даты максимального напора и минимального действующего напора за период 1999-2019 гг.**

№ прибора	Значение измеренного уровня, м	Расчётный участок	Действующий напор на участке, м	Расстояние прибора от оси агрегатов, м	Протяжённость расчётного участка, м	Фактический градиент фильтрации
<b>КОНТРОЛЬНАЯ СЕКЦИЯ 6</b>						
ВБ*1.6	52.59/53.29	ВБ*1.6 - П2И*1.6	1.47/1.54	-128.5**	29.5	0.05/0.05
П2И*1.6	51.12/51.75	П2И*1.6 - П1*1.6	3.13/3.11	-99.0	22.0	0.14/0.14
П1*1.6	47.99/48.64	П1*1.6 - П2*1.6	5,57/5.07	-87.90	21.70	0.26/0.23
П2*1.6	42.42/43.57	П2*1.6 - П4*1.6	10.92/7.43	-66.20	52.10	0.21/0.14
П4*1.6	29.65/36.14	П4*1.6 - П5А*1.6	0.45/0	-14.10	26.10	0.02/0.00
П5А*1.6	31.05/34.50	П5А*1.6 - П6*1.6	1.22/--	12.0	29.10	0.07/0.0
П6*1.6	29.83/--	П*1.6 - П7*1.6	1.82/--	41.10	13.4	0.14/0.0
П7*1.6	--/31.09	П7*1.6 - НБ*1.6	--/--	54.50	3.00	0.0/0.0
НБ*1.6	28.01/35.62	ВБ*1.6 - НБ*1.6	24.58/17.67	57.50	186.0**	0.13/0.10
<b>СЕКЦИЯ 1</b>						
ВБ*1.1	52.56/53.29	ВБ*1.1 - П1_04*1.1	18.43/11.30	-128.5**	40.6	0.45/0.28
П1_04*1.1	46.48/46.99	П1_04*1.1 - П3*1.1	9.5/8.84	-87.90	48.7	0.20/0.18
П3*1.1	36.98/38.15	П3*1.1 - П*4*1.1	8.82/2.55	-39.2	25.1	0.35/0.10
П4*1.1	28.16/35.60	П4*1.1 - П8*1.1	0/0	-14.10	57.10	--/--
П6*1.1	28.26/35.23	П6*1.1 - НБ*1.1	0/0	43.0	14.50	--/--
НБ*1.1	28.05/35.69	ВБ*1.1 - НБ*1.1	24.51/17.60	57.50	186.0**	0.13/0.09
<b>СЕКЦИЯ 2</b>						
ВБ*1.2.	52.56/53.27	ВБ*1.2 - П3*1.2	15.87/15.56	-128.5**	89.2	0.18/0.17
П3*1.2	36.69/37.71	П3*1.2 - П4*1.2	7.23/5.79	-39.20	25.1	0.29/0.27
П4*1.2	29.46/31.92	П4*1.2 - П5*1.2	0.03/--	-14.10	26.2	0.00/--
П5*1.2	29.43/35.19	П5*1.2 - П6*1.2	1.32/--	12.10	28.8	0.05/--
П6*1.2	28.11/34.94	П6*1.2 -	0.06/--	41.20	29.1.6	0.00/--

№ прибора	Значение измеренного уровня, м	Расчётный участок	Действующий напор на участке, м	Расстояние прибора от оси агрегатов, м	Протяжённость расчётного участка, м	Фактический градиент фильтрации
		НБ*1.2				
НБ*1.2	28.05/35.69	ВБ*1.2 – НБ1.2	24.51/17.58	57.50	186.0**	0.13/0.10
<b>СЕКЦИЯ 3</b>						
ВБ*1.3	52.56/53.27	ВБ*1.3- П1*1.3	0.69/--	-128.5**	40.6	
П1*1.3	51.87/52.62	П1*1.3 – П2*1.3	2.05/--	-87.90	21.7	0.09/--
П2*1.3	49.82/45.49	П2*1.3 – П3*1.3	1.82/--	-66.20	27.0	0.07/--
П3*1.3	48.00/48,99	П3*1.3 - П4*1.3	18.46/--	-39.20	25.1	0.74/--
П4*1.3	29.54/25.0	П4*1.3 - П5*1.3	--/--	-14.10	26.2	--/--
П5*1.3	--/33.1	П5*1.3 – П6А*1.3	--/--	12.10	28.8	--/--
П6А*1.3	--/--	П6*1.3 – НБ*1.3	1.64/--	40.90	16.6	0.1/--
НБ*1.2	28.02/35.62	ВБ*1.3 – НБ1.3	24.54/17.58	57.50	186.0**	0.13/0.09
<b>СЕКЦИЯ 4</b>						
ВБ*1.4	52.56/53.27	ВБ*1.4- П1*1.4	0.49/1.41	-128.5**	40.6	0.10/0.03
П1*1.4	52.07/51.86	П1*1.4 – П2*1.4	0.45/--	-87.90	21.7	0.02/--
П2*1.4	51.62/52.08	П2*1.4 – П3*1.4	5.01/3.78	-66.20	27.0	0.19/0.14
П3*1.4	46.61/48.30	П3*1.4 – П4*1.4	15.00/12.74	-39.20	25.1	0.6/0.51
П4*1.4	31.00/35.56	П4*1.4 – П5*1.4	2.35/0.00	-14.10	26.2	0.09/--
П5*1.4	28.65/35.56	П5*1.4 – П7*1.4	--/0.02	12.10	46.2	--/--
П7*1.4	29.85/35.54	П7*1.4- НБ**1.4	1.80/--	54.30	3.2	0.03/--
НБ*1.4	28.05/35.69	ВБ*1.4 - НБ4*1.4	24.51/17.58	57.50	186.0**	0.13/0.09
<b>СЕКЦИЯ 5</b>						
ВБ*1.5	52.56/53.27	ВБ*1.5- П1*1.5	5.58/5.77	-128.50**	40.6	0.14/0.14
П1*1.5	46.98/47.50	П1*1.5- П2*1.4	0.49/0.49	-87.90	21.7	0.02/0.02
П2*1.4	46.49/47.01	П2*1.4- П3*1.5	3,34/3.47	-66.20	27.0	0.12/0.13
П3*1.5	43.15/43.54	П3*1.5- П4А*1.5	14,61/9.4	-39.20	25.1	0.58/0.37
П4А*1.5	28.54/34.14	П4А*1.5- П6*1.5	0.16/0	-14.10	55.3	0.00/0.00
П6*1.5	28.38/34.70	П6*1.5- П7*1.5	0/0	41.20	13.3	--/--

№ прибора	Значение измеренного уровня, м	Расчётный участок	Действующий напор на участке, м	Расстояние прибора от оси агрегатов, м	Протяжённость расчётного участка, м	Фактический градиент фильтрации
П7*1.5	29.57/36.13	П7*1.5-НБ*1.5	1.52/--	54.50	3.0	0.51/--
НБ*1.5	28.05/35.67	НБ*1.5-ВБ*1.5	24.51/17.60	57.50	186.0	0.13/0.09
<b>СЕКЦИЯ 7</b>						
ВБ*1.7	52.59/53.27	ВБ*1.7-П1*1.7	5.17/4.84	-128.50**	40.6	0.13/0.12
П1*1.7	47.42/48.45	П1*1.7-П2*1.7	3.51/3.92	-87.90	21.7	0.16/0.18
П2*1.7	43.91/44.53	П2*1.7-П3*1.7	11.49/7.44	-66.20	27.0	0.43/0.28
П3*1.7	32.42/37.09	П3*1.7-П4А*1.7	4.14/2.93	-39.20	25.1	0.16/12
П4А*1.7	28.28/34.86	П4А*1.7-П5А*1.7	--/0.52	-14.10	26.1	--/0.02
П5А*1.7	30.92/34.34	П5А*1.7-П6*1.7	0.03/--	12.0	29.2	--/--
П6*1.7	30.89/26.68	П6*1.7-П7*1.7	1.75/--	41.20	13.3	0.13/--
П7*1.7	29.14/34.42	П7*1.7-НБ*1.7	1.13/--	54.50	3.0	0.38/--
НБ*1.7	28.01/35.62	ВБ*1.7 - НБ*1.7	24.58/17.67	57.50	186.0**	0.13/0.09
<b>СЕКЦИЯ 8</b>						
ВБ*1.8	52.59/53.29	ВБ*1.8-П1*1.8	10.92/10.26	-128.50**	40.6	0.27/0.25
П1*1.8	41.67/43.03	П1*1.8-П2*1.8	0.52/--	-87.90	21.7	0.02/--
П2*1.8	41.15/43.49	П2*1.8-П3*1.8	7.00/5.99	-66.20	27.0	0.26/0.22
П3*1.8	34.15/37.50	П3*1.8-П4*1.8	4.99/1.97	-39.20	25.1	0.20/0.08
П4*1.8	29.16/35.53	П4*1.8-П5*1.8	--/0.63	-14.10	26.1	--/0.02
П5*1.8	29.29/34.90	П5*1.8-П6*1.8	0.65/--	12.0	29.2	0.02/--
П6*1.8	28.64/35.54	П6*1.8-П7*1.8	--/0.50	41.20	13.3	--/0.01
П7*1.8	28.92/35.04	П7*1.8-НБ*1.8	--/--	54.50	3.0	--/--
НБ*1.8	28.01/35.62	НБ*1.8-ВБ*1.8	24.58/17.67	57.50	186.0**	0.13/0.09
<b>СЕКЦИЯ 9</b>						
ВБ*1.9	52.59/53.29	ВБ*1.9-П1*1.9	5.64/5.28	-128.5**	40.6	0.14/0.13
П1*1.9	46.95/48.01	П1*1.9-П2*1.9	3.95/3.37	-87.90	21.7	0.18/0.16
П2*1.9	43.00/44.64	П2*1.9-П3*1.9	9.89/8.36	-66.20	27.0	0.37/0.31
П3*1.9	33.11/36.28	П3*1.9-П4*1.9	4.79/0.58	-39.20	25.1	0.04/0.02

№ прибора	Значение измеренного уровня, м	Расчётный участок	Действующий напор на участке, м	Расстояние прибора от оси агрегатов, м	Протяжённость расчётного участка, м	Фактический градиент фильтрации
П4*1.9	28.32/35.24	П4*1.9- П5*1.9	--/2.39	-14.10	26.1	--/0.09
П5*1.9	28.59/34.66	П5*1.9- П6*1.9	0.39/2.39	12.0	29.2	0.01/0.08
П6*1.9	28.20/32.27	П6*1.9- П7*1.9	--/--	41.20	13.3	--/--
П7*1.9	28.68/34.87	П7*1.9- НБ*1.9	0.67/--	54.50	3.0	0.22/--
НБ*1.9	28.01/35.62	ВБ*1.9- НБ*1.9	24.58/17.67	57.50	186.0**	0.13/0.09
<b>СЕКЦИЯ 10</b>						
ВБ*1.10	52.59/53.29	ВБ*1.10- П1*1.10	6.78/5.91	-128.5**	40.6	0.17
П1*1.10	45.83/47.38	П1*1.10- П2*1.10	0.34/0.05	-87.90	21.7	0.02/--
П2*1.10	45.49/47.33	П2*1.10- П3*1.10	4.21/4.34	-66.20	27.0	0.16/0.16
П3*1.10	41.28/42.99	П3*1.10- П4*1.10	13.03/7.71	-39.20	25.1	0.51/0.31
П4*1.10	28.25/35.28	П4*1.10- П5*1.10	0.24/0.35	-14.20	26.1	0.01/0.01
П5*1.10	28.36/34.93	П5*1.10- П6А*1.10	0.35/--	12.0	29.2	0.03/--
П6А*1.10	32.72/38.10	П6А*1.10- П7*1.10	2.12/2.53	41.80	13.3	0.16/0.19
П7А*1.10	24.26/26.92	П7*1.10- НБ*1.10	0.25/--	54.40	3.0	0.08/--

\*\* - длина пути контактной фильтрации с учетом глубины забивки шпунтов и формы плиты.

Как видно из таблицы, максимальные градиенты напора наблюдаются на верховом зубе и перед верховым зубом. Для глин предельные градиенты напора составляют 1,35, а для суглинков 0,8. Сравнение этих значений с предельными значениями градиентов на разных участках фундаментной плиты показывает, что все предельные измеренные градиенты меньше допустимых. Наибольшие градиенты наблюдаются на зубе в секциях 3 (градиент 0,74) и 4 (градиент 0,60) между пьезометрами П3 и П4 (см. выше рис. 2.1.4 и 2.1.5).

Значительные градиенты на этих двух секциях наблюдаются в результате того, что в основании этих секций снижение напора на верховом зубе СУС и шпунте не происходит, в отличие от остальных секций.

На рис. 2.1.8 и 2.1.9 показан характер изменения пьезометрических уровней за весь период эксплуатации по пьезометрам под анкерным понуром (П2) и по пьезометрам, расположенным непосредственно под зубом (П3). Как

видно из графиков за весь период наблюдений измеренные уровни увеличились лишь по ПЗ\*1.7 в среднем на 4 м и по П2\*1.4 в среднем на 5 м, причем в последнем случае изменения уровней до 1988 г. вызывают сомнения, так как в период с 1971 г. по 1988 г. пропущены практически все наблюдения.

Измеренные колебания уровней связаны с колебаниями уровней верхнего бьефа, это отмечено на рис. 2.1.10 и 2.1.11, где приведено сравнение показаний пьезометров и уровней верхнего бьефа. Пьезометр П2\*1.3 в секции 3 в последние 8 лет начал фиксировать уровни, не соответствующие характеру изменения верхнего бьефа (рис. 2.1.12).

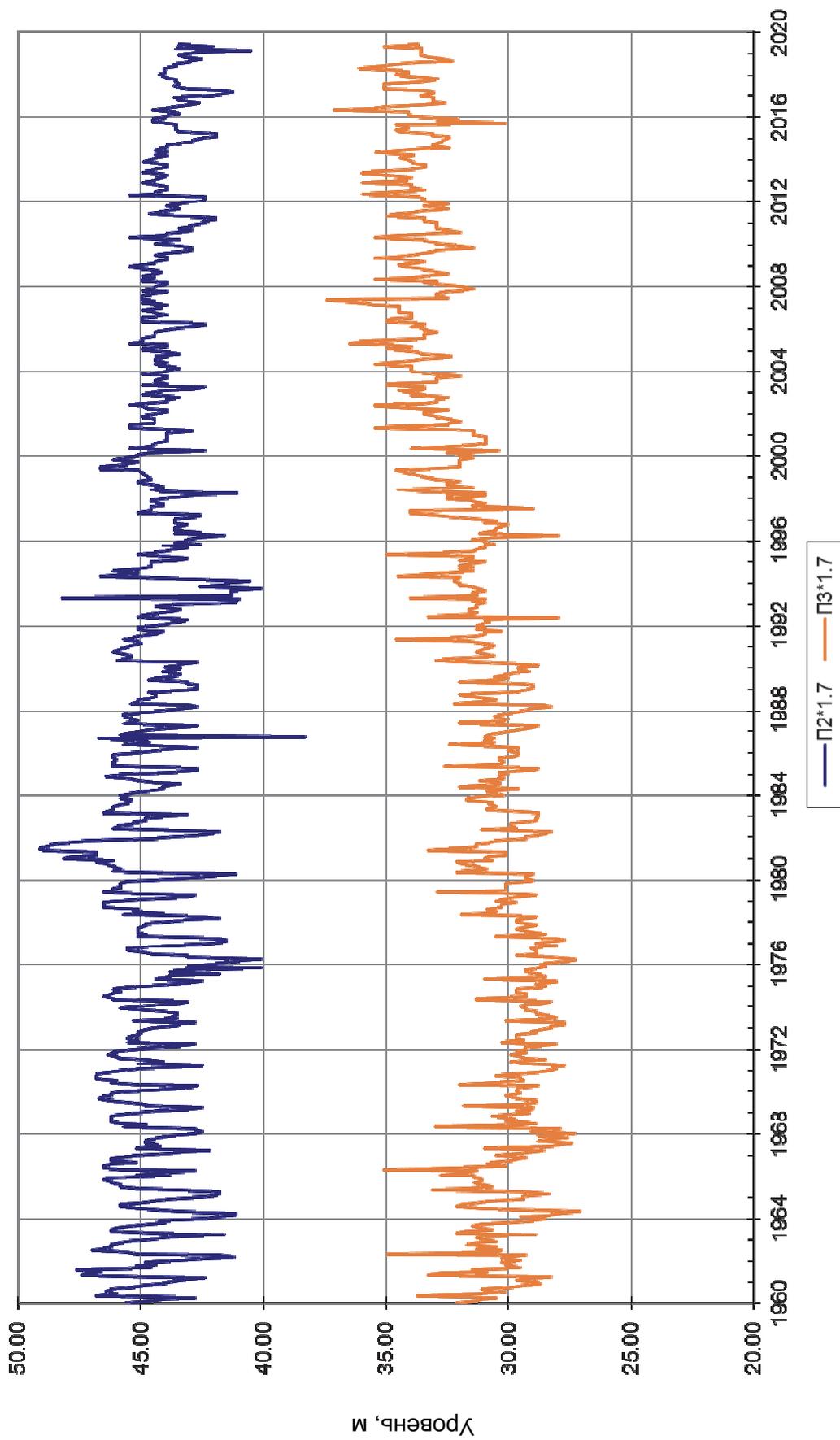


Рис. 2.1.8. Графики изменения показаний напорных пьезометров здания ГЭС. Секция 7

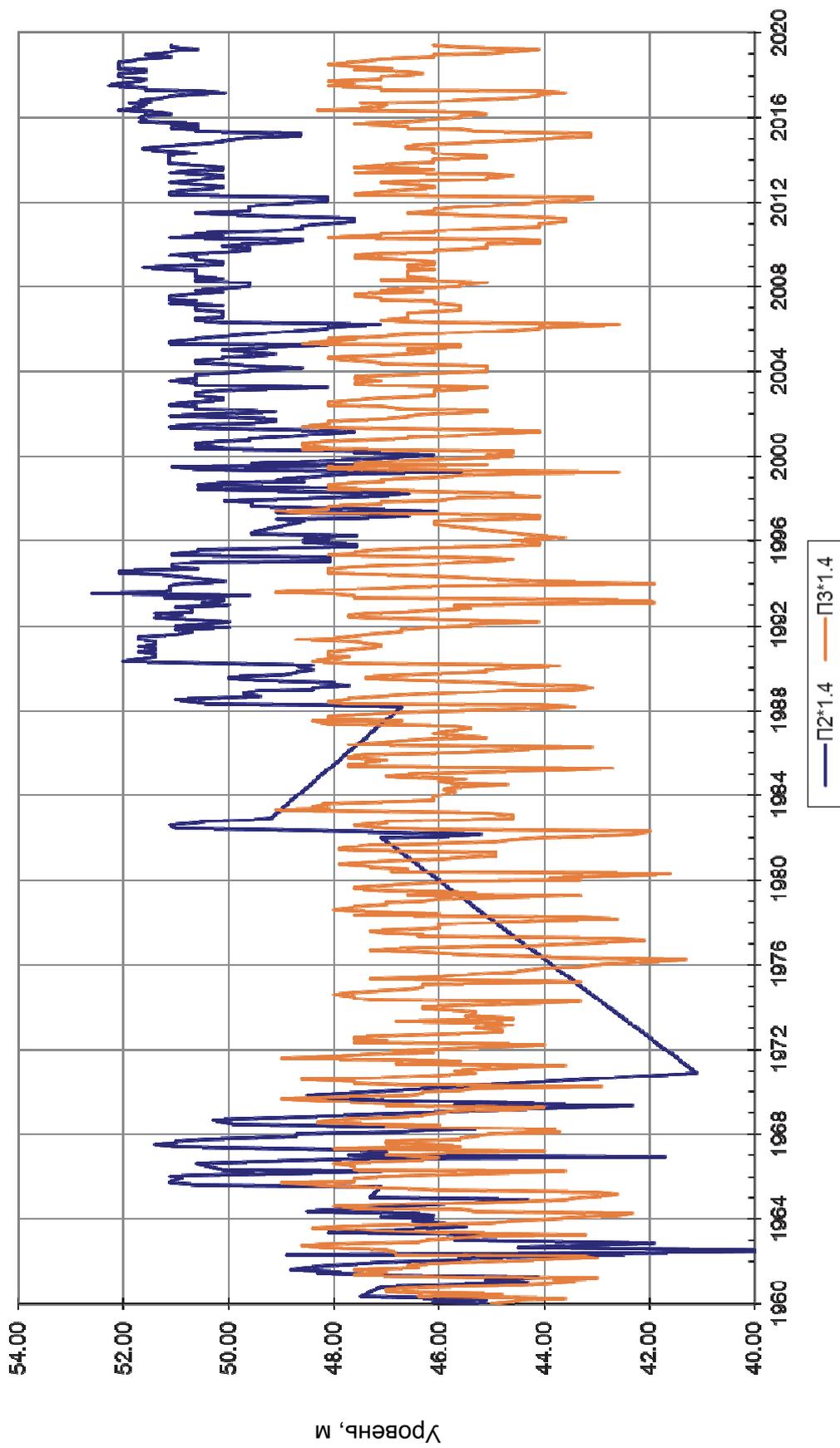


Рис. 2.1.9. Графики изменения показаний напорных пьезометров здания ГЭС. Секция 4

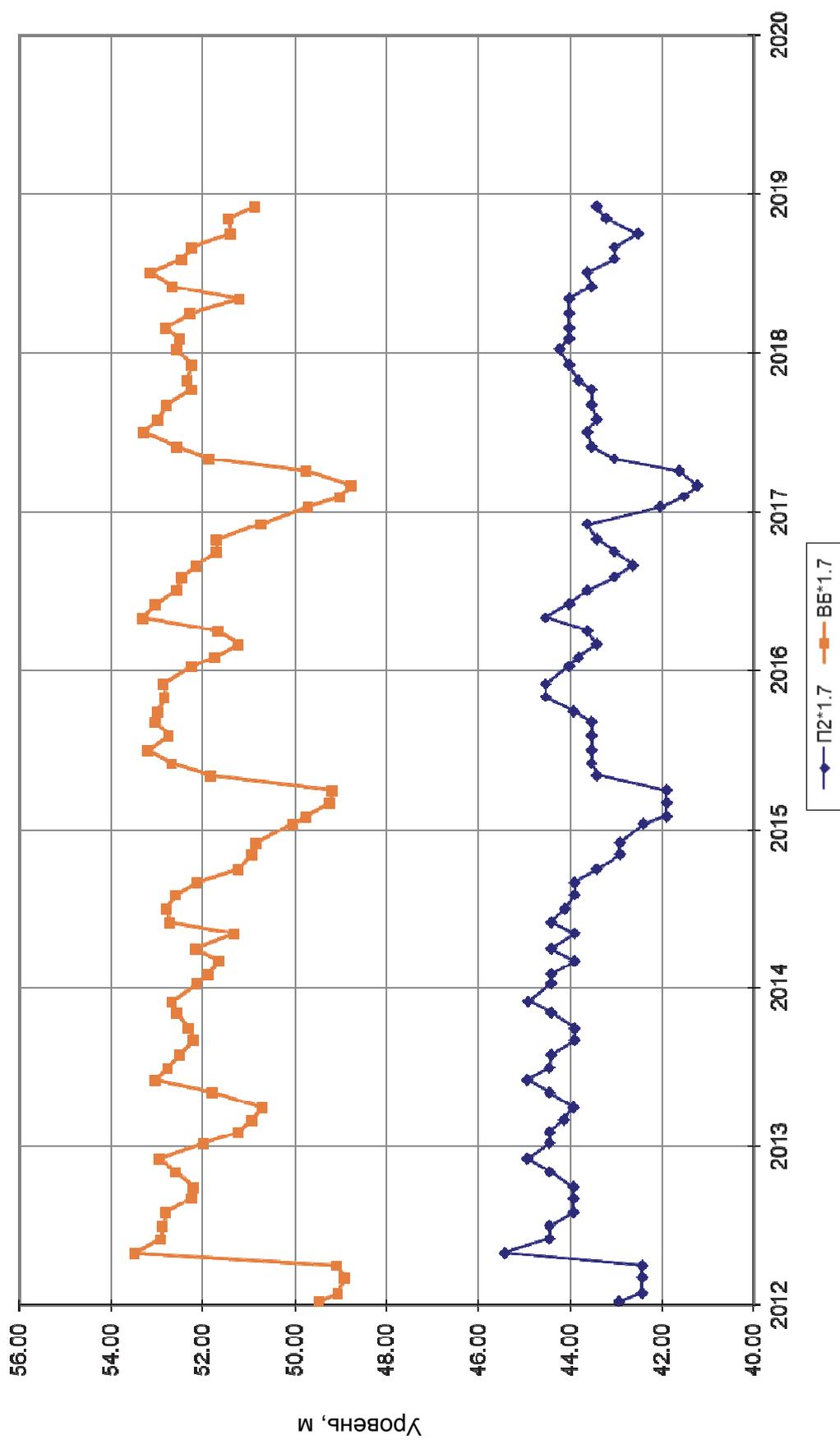


Рис. 2.1.10. Сравнение УВБ и показаний пьезометра 2 в секции 7

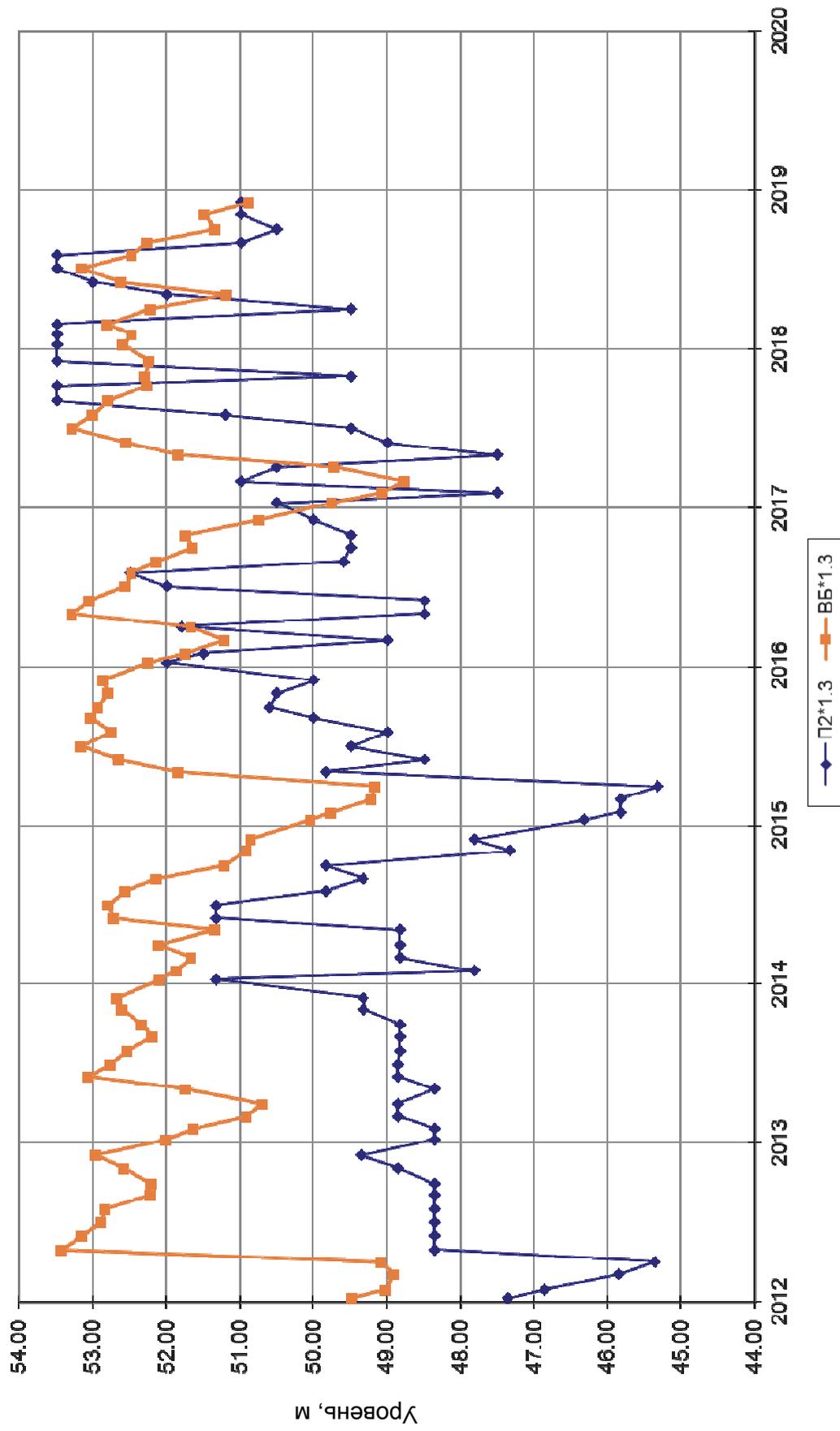


Рис. 2.1.1.11. Сравнение УВБ и показание пьезометра секции 3

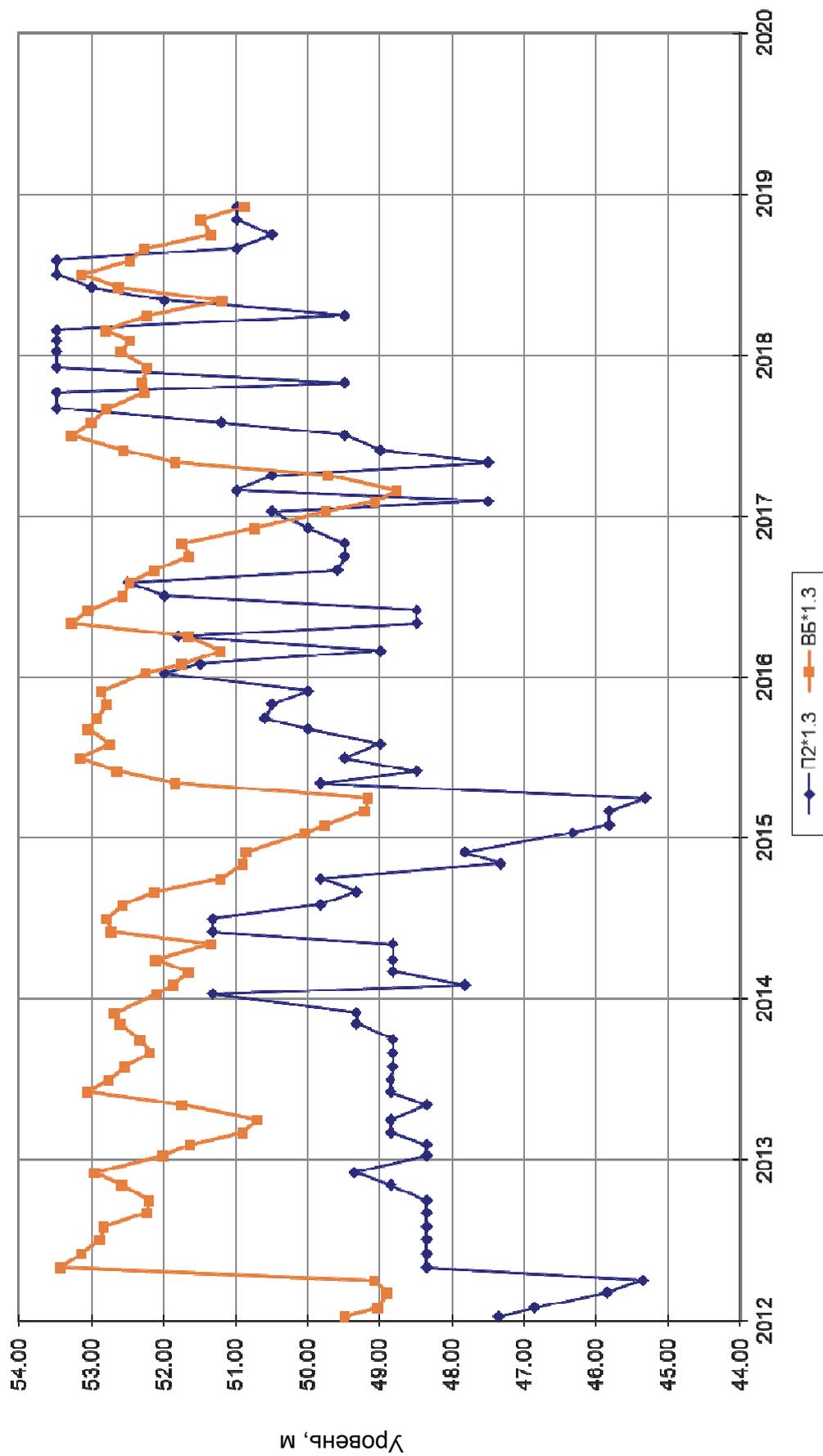


Рис. 2.1.12. Сравнение уровней ВБ и показаний пьезометра П2\*1.3 в секции 3

Для оценки влияния колебаний уровней в верхнем и нижнем бьефах на показания пьезометров для каждого из них были построены корреляционные зависимости взаимовлияния. Результаты расчетов приведены в таблице 2.1.2.

Таблица 2.1.2

**Коэффициенты корреляции показаний пьезометров, расположенных в здании ГЭС, с уровнями ВБ и НБ**

Тип пьезометра	№ пьезометра	№ секции	Корреляция от ВБ	Корреляция от НБ	Примечание
Опускной безнапорный	П1_04*1.1	1	0,89	0,12	
Напорный	П2*1.1	1	0,67	0,05	
Напорный	П3*1.1	1	0,53	0,4	
Напорный	П4*1.1	1	0,16	0,84	
Напорный	П6*1.1	1	0,18	0,98	
Напорный	П8*1.1	1	0,42	0,68	
Напорный	П9*1.1	1	0,31	0,95	
Напорный	П1*1.2	2	0,67	0,07	
Напорный	П2*1.2	2	0,54	0,04	
Напорный	П3*1.2	2	0,38	0,33	
Напорный	П4*1.2	2	0,23	0,54	
Напорный	П5*1.2	2	0,26	0,93	
Напорный	П6*1.2	2	0,19	0,89	
Напорный	П7*1.2	2	0,31	0,86	
Опускной безнапорный	П102*1	2	-0,46	-0,77	
Напорный	П1*1.3	3	0,84	0,18	
Напорный	П2*1.3	3	0,58	0,02	
Напорный	П3*1.3	3	0,88	0,13	
Напорный	П4*1.3	3	0,24	0,13	
Напорный	П4А*1.3		0,14	0,43	
Напорный	П5*1.3	3	-0,08	0,44	
Напорный	П5И*1.3	3	0,15	0,93	
Напорный	П5А*1.3	3	0,25	0,93	
Напорный	П6А*1.3	3	-0,09	0,17	
Напорный	П8*1.3	3	0,48	0,67	
Напорный	П9*1.3	3	0,3	0,2	
Напорный	П10*1.3	3	0,31	0,75	
Опускной безнапорный	П1_12*1.3	3	0,98	-0,04	
Опускной безнапорный	П15И*1.4	4	0,96	0,13	
Напорный	П1*1.4	4	0,85	0,15	
Напорный	П3*1.4	4	0,83	0,25	
Напорный	П4А*1.4	4	0,46	0,42	
Напорный	П5*1.4	4	0,19	0,96	
Напорный	П5А*1.4	4	0,22	0,92	
Напорный	П7*1.4	4	0,22	0,95	

Тип пьезометра	№ пьезометра	№ секции	Корреляция от ВБ	Корреляция от НБ	Примечание
Опускной безнапорный	П103*1	4	-0,8	0,68	
Напорный	П1*1.5	5	0,83	0,16	
Напорный	П2*1.5	5	0,85	0,13	
Напорный	П3*1.5	5	0,7	0,26	
Напорный	П4*1.5	5	0,17	0,17	
Напорный	П4А*1.5	5	0,16	0,88	
Напорный	П5*1.5	5	0,2	0,95	
Напорный	П5А*1.5	5	0,22	0,88	
Напорный	П6*1.5	5	0,25	0,9	
Напорный	П7*1.5	5	0,26	0,94	
Напорный	П8*1.5	5	0,4	0,9	
Напорный	П9*1.5	5	0,26	0,93	
Опускной безнапорный	П2И*1.6	6	0,93	0,14	
Опускной безнапорный	П4И*1.6	6	0,87	0,43	
Напорный	П1*1.6	6	0,93	0,28	
Напорный	П2*1.6	6	0,74	0,31	
Напорный	П4*1.6	6	0,41	0,56	
Напорный	П4А*1.6	6	0,17	0,04	
Напорный	П5А*1.6	6	0,2	0,92	
Напорный	П6*1.6	6	0	0,12	
Напорный	П6А*1.6	6	-0,17	0	
Напорный	П7*1.6	6	0,03	0,63	
Опускной безнапорный	П104*1		-0,35	0,85	
Напорный	П1*1.7	7	0,89	0,23	
Напорный	П2*1.7	7	0,59	0,27	
Напорный	П3*1.7	7	0,33	0,64	
Напорный	П4*1.7	7	0,2	0,97	
Напорный	П4А*1.7	7	0,21	0,98	
Напорный	П5*1.7	7	0,29	0,91	
Напорный	П5А*1.7	7	0,2	0,92	
Напорный	П6*1.7	7	0,24	0,22	
Напорный	П6А*1.7	7	0,14	-0,05	
Напорный	П7*1.7	7	0,26	0,86	
Опускной безнапорный	П105*1	7	0,18	0,21	
Напорный	П1*1.8	8	0,74	0,28	
Напорный	П2*1.8	8	0,83	0,39	
Напорный	П3*1.8	8	0,45	0,36	
Напорный	П4*1.8	8	0,21	0,95	
Напорный	П4А*1.8	8	0,15	0,96	
Напорный	П5*1.8	8	0,22	0,92	
Напорный	П5А*1.8	8	0,2	0,95	
Напорный	П6*1.8	8	0,19	0,97	

Тип пьезометра	№ пьезометра	№ секции	Корреляция от ВБ	Корреляция от НБ	Примечание
Напорный	П6А*1.8	8	0,18	0,96	
Напорный	П7*1.8	8	0,17	0,97	
Напорный	П7А*1.8	8	0,39	0,72	
Напорный	П8*1.8	8	0,47	0,8	
Напорный	П9*1.8	8	0,21	0,9	
Напорный	П10*1.8	8	0,26	0,93	
Опускной безнапорный	П12И*1.9	9	0,36	0,57	
Опускной безнапорный	П16И*1.9	9	0,86	0,36	
Опускной безнапорный	П3И*1.9	9	0,55	0,38	
Напорный	П1*1.9	9	0,67	0,21	
Напорный	П2*1.9	9	0,77	0,35	
Напорный	П3*1.9	9	0,45	0,68	
Напорный	П4*1.9	9	0,18	0,97	
Напорный	П4А*1.9	9	0,18	0,97	
Напорный	П5*1.9	9	0,22	0,94	
Напорный	П5А*1.9	9	0,19	0,97	
Напорный	П6А*1.9	9	0,16	0,57	
Напорный	П7*1.9	9	0,19	0,96	
Напорный	П7А*1.9	9	0,19	0,88	
Опускной безнапорный	П106*1	9	-0,53	0,8	
Напорный	П1*1.10	10	0,85	0,37	
Напорный	П2*1.10	10	0,85	0,31	
Напорный	П3*1.10	10	0,57	0,35	
Напорный	П4*1.10	10	0,18	0,97	
Напорный	П4А*1.10	10	0,14	0,97	
Напорный	П5*1.10	10	0,14	0,92	
Напорный	П5А*1.10	10	0,21	0,92	
Напорный	П6А*1.10	10	0,23	0,43	
Напорный	П7*1.10	10	0,25	0,94	
Напорный	П7А*1.10	10	0,14	0,62	
Напорный	П8*1.10	10	0,5	0,78	
Напорный	П9*1.10	10	0,22	0,72	
Опускной безнапорный	П107*1	10	-0,49	0,95	
Закладной безнапорный	П1*1.11		0,17	0,99	
Закладной безнапорный	П2*1.11		0,17	0,99	
Закладной безнапорный	П3*1.11		0,16	0,96	
Закладной безнапорный	П5*1.11		0,18	0,97	
Закладной безнапорный	П7*1.11		0,16	0,98	
Закладной безнапорный	П8*1.11		0,11	0,71	
Закладной безнапорный	П9*1.11		0,18	0,97	
Закладной безнапорный	П10*1.11		0,19	0,98	
Закладной безнапорный	П11*1.11		0,14	0,98	

Тип пьезометра	№ пьезометра	№ секции	Корреляция от ВБ	Корреляция от НБ	Примечание
Закладной безнапорный	П12*1.11		0,16	0,98	
Закладной безнапорный	П13*1.11		0,16	0,98	
Закладной безнапорный	П14*1.11		0,1	0,66	
Закладной безнапорный	П15*1.11		0,19	0,98	

Большинство пьезометров ведут себя закономерно, пьезометры в трех первых створах: под СУС (П2), под понуром (П1) и под фундаментной плитой перед верховым зубом (П3) имеют хорошую корреляцию с уровнем ВБ, остальные пьезометры хорошо коррелируют с колебаниями НБ.

Исключение составляет ряд пьезометров, водоприемники которых заглублены в прослой суглинков (глин), например, в секции 3 пьезометр П2\*1.3, в секциях 5 и 6 пьезометры – П4, в секции 8 пьезометр ПЗ.

В таблице 2.1.3 представлены критериальные значения пьезометрических уровней в основании секций здания ГЭС

Таблица 2.1.3

#### Пьезометрические уровни в основании секций здания ГЭС

№ п/п	№ секции	Область контроля	Наименование КИА	К1, м	К2, м
1	Секция 1	Начало верхового зуба	ПЗ*1.1	41,5	44,6
2	Секция 2		ПЗ*1.2	40,6	44,0
3	Секция 3		ПЗ*1.3	51,0	53,8
4	Секция 4		ПЗ*1.4	50,1	53,6
5	Секция 5		ПЗ*1.5	46,6	49,8
6	Секция 7		ПЗ*1.7	39,0	43,3
7	Секция 8		ПЗ*1.8	39,9	43,3
8	Секция 9		ПЗ*1.9	38,1	41,9
9	Секция 10		ПЗ*1.10	44,2	46,8
10	Секция 1		Верховой зуб	П4*1,1	36,5
11	Секция 2	П4*1,2		34,8	38,9
12	Секция 3	П4*1.3		36,4	40,4
13	Секция 4	П4А*1.4		36,0	40,5
14	Секция 5	П4А*1.5		35,7	40,7
15	Секция 6	П4*1.6		36,3	45,8
16	Секция 7	П4*1.7		36,1	41,7
17	Секция 8	П4*1.8		36,3	42,0
18	Секция 9	П4*1.9		36,2	42,0
19	Секция 10	П4*1.10		36,2	42,0

Сопоставление величин, полученных в ходе натуральных наблюдений, с критериальными значениями показало, что превышений критериальных значений не отмечается.

## **2.2. Фильтрационный режим в основании водосливной плотины**

Водосливная плотина имеет длину по напорному фронту 981 м. В качестве противофильтрационного устройства плотина снабжена понуром со шпунтовой стенкой в верховом его зубе, а также шпунтовой стенкой в верховом зубе фундаментной плиты. Обе шпунтовые стенки перекрывают базальный горизонт и заглублены до отм. -1,25 м. Поперечный разрез показан на рис. 2.2.1, 2.2.2

В основании всех секций водосливной плотины располагаются преимущественно пески пляжной фации мощностью 2-4 м. Исключение составляют секции 1 и 2, основание которых сложено глинистыми мелкозернистыми песками и суглинками, занимающими под этими секциями более 50% площади.

Для контроля фильтрационного режима в основании водосливной плотины по ее подошве установлено 6 рядов закладных пьезометров: ряд П-2 непосредственно за понурным шпунтом, ряд П-1 в середине понура, П-3 перед королёвым шпунтом, П-4 – за королёвым шпунтом, П7 и П8 под фундаментной плитой плотины со стороны нижнего бьефа (рис. 2.2.3).

Некоторые из указанных пьезометров уже в период строительства вышли из строя, однако основная масса пьезометров работоспособна и успешно контролирует фильтрационный режим в основании водосливной плотины.

По данным наблюдений за установленными пьезометрами были построены эпюры остаточного напора под каждой секцией плотины.

Практически под всеми секциями эпюра остаточного напора имеет одинаковый характер. Он характеризуется следующим: верховой понурный шпунт очень эффективен и гасит около 70% напора, остальную часть напора гасит королёвый шпунт (30%), непосредственно под фундаментной плитой водосливной плотины остаточный напор отсутствует.

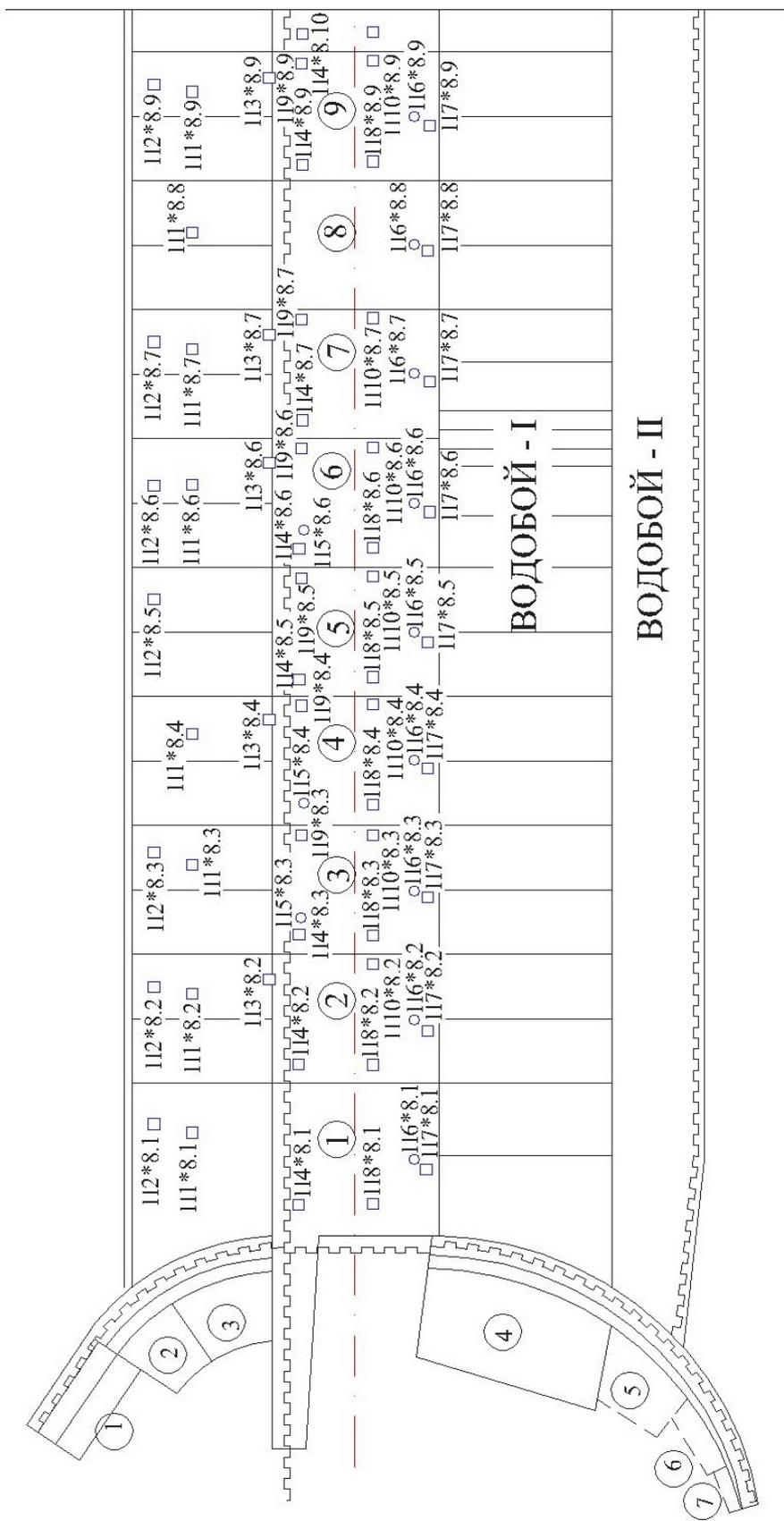


Рис. 2.2.1. Схема размещения пьезометров на водосливной плотине. План (правая часть)

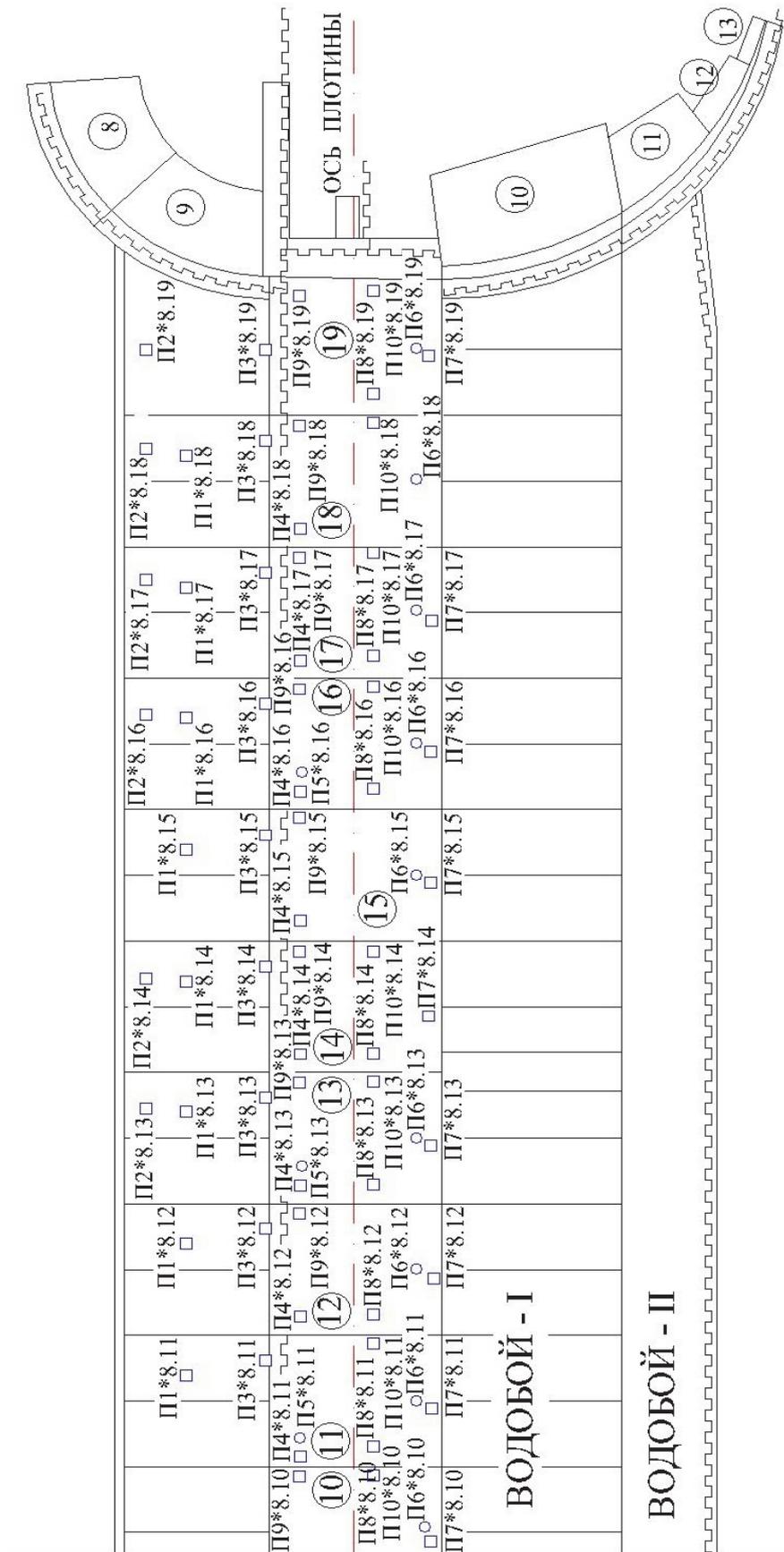
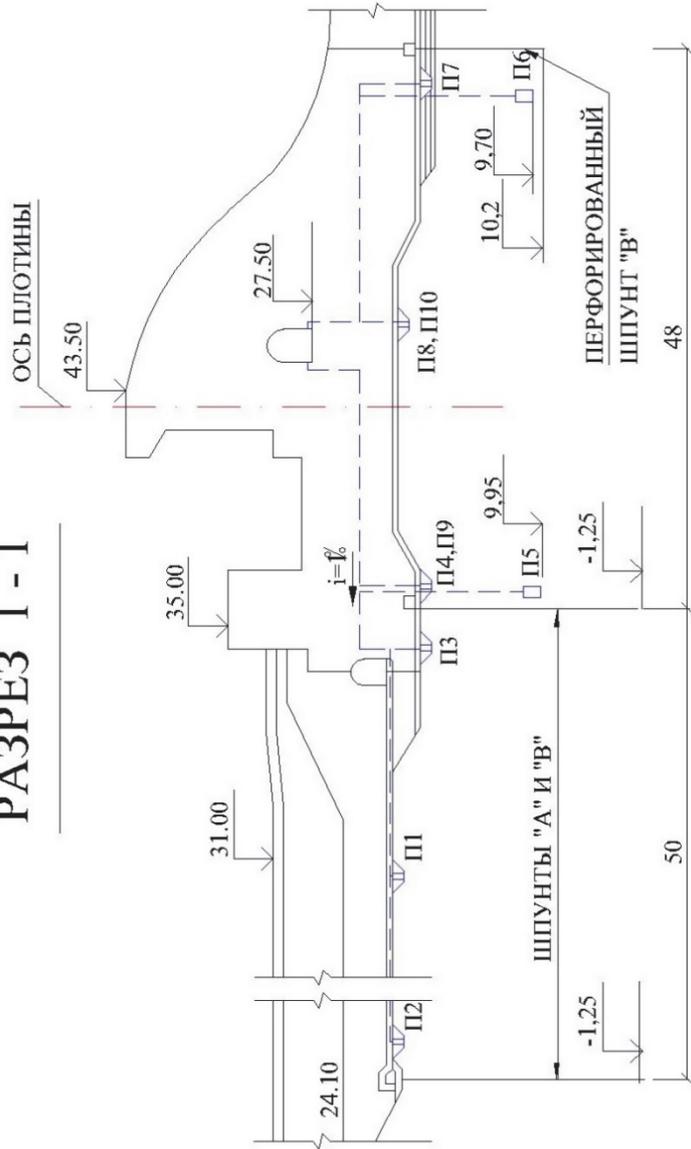


Рис. 2.2.2. Схема размещения пьезометров на водосливной плотине. План (левая часть)

# РАЗРЕЗ 1 - 1

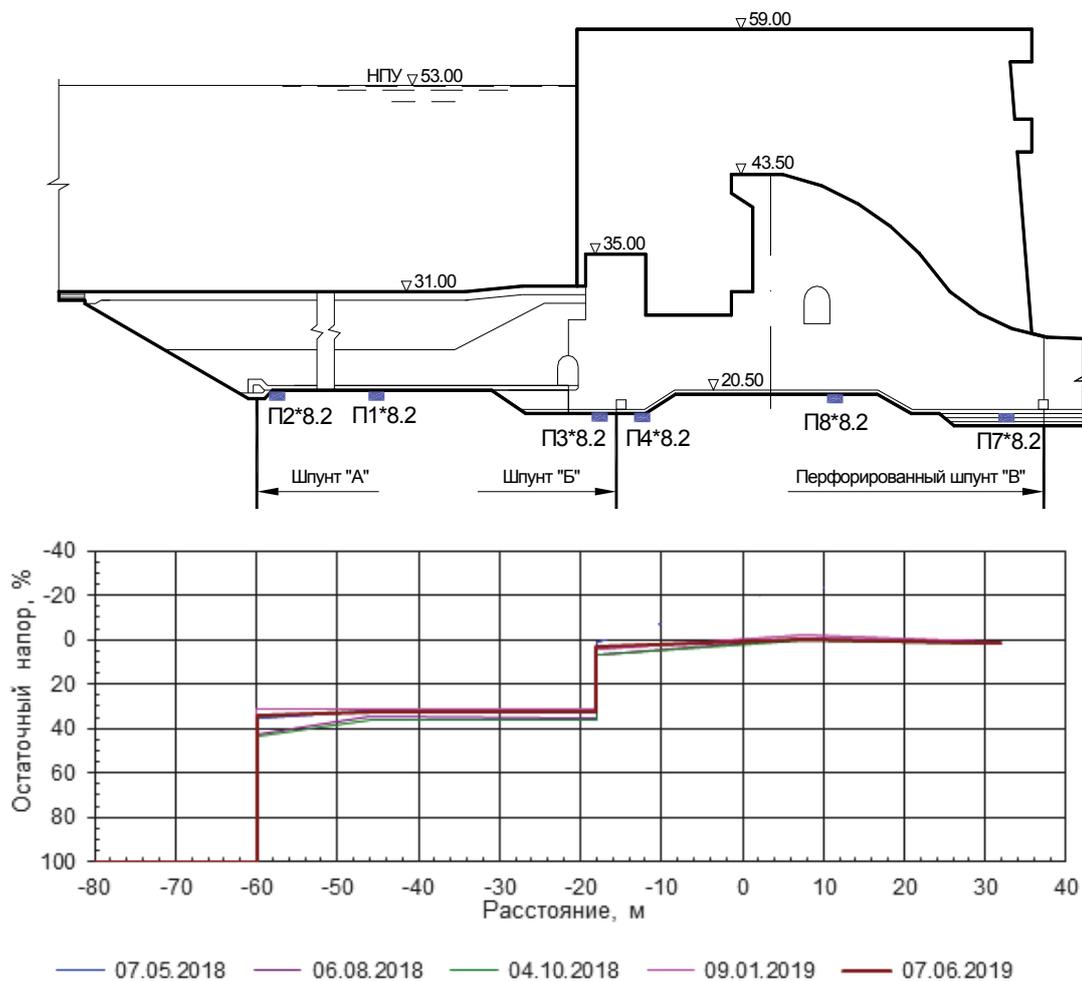


УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

на разрезе	на плане	
□	○	Глубинные пьезометры
▽	□	Закладные пьезометры

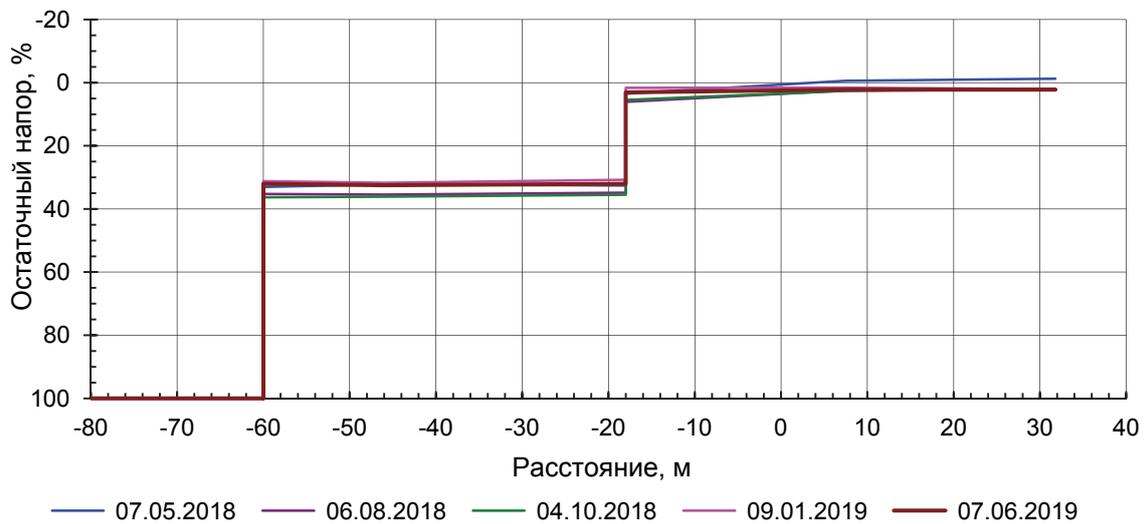
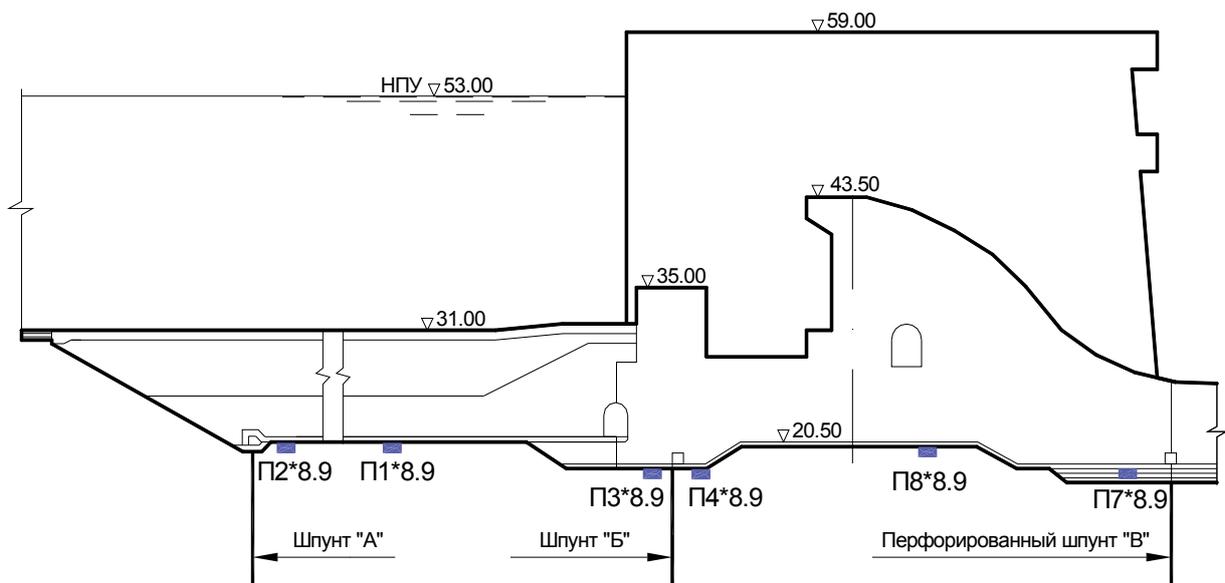
Рис. 2.2.3. Схема размещения пьезометров на водосливной плотине. Разрез 1-1

В качестве примера на рис. 2.2.4...2.2.7 приведены эпюры остаточных напоров под секциями 2, 9, 14, 18.



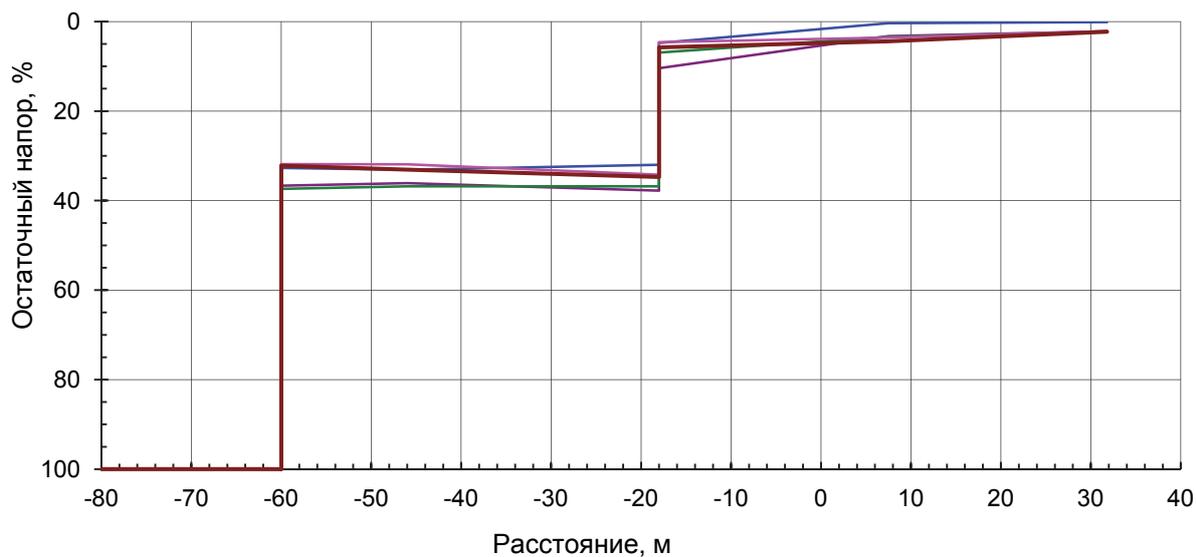
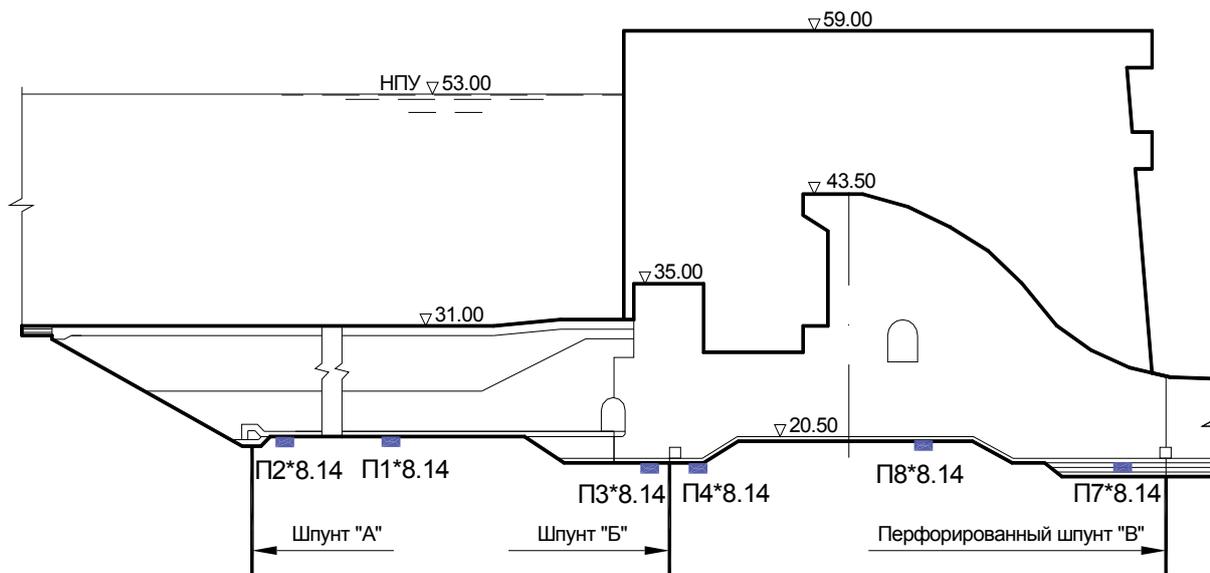
Дата	между понурным шпунтом и верховым зубом			после верхового зуба		
	П2*8.2	П1*8.2	П3*8.2	П4*8.2	П8*8.2	П7*8.2
07.05.2018	35.71	32.44	32.28	1.42	-	-1.91
06.08.2018	42.34	34.76	35.48	6.57	-0.38	1.47
04.10.2018	43.32	35.85	36.16	6.85	0.04	1.54
09.01.2019	31.23	31.18	31.13	4.13	-2.14	1.14
07.06.2019	33.76	32.44	32.83	2.80	-0.25	1.82

Рис. 2.2.4. Эпюры распределения остаточного напора на подошву водосливной плотины. Секция 2



Дата	между понурным шпунтом и верховым зубом			после верхового зуба		
	П2*8.9	П1*8.9	П3*8.9	П4*8.9	П8*8.9	П7*8.9
07.05.2018	33.04	32.23	32.55	3.48	-0.60	-1.25
06.08.2018	35.23	35.44	34.85	6.06	2.48	1.98
04.10.2018	36.34	36.12	35.50	5.45	2.59	2.07
09.01.2019	31.18	31.70	30.75	1.61	1.57	2.04
07.06.2019	32.02	32.49	32.06	3.09	2.20	2.20

Рис. 2.2.5. Эпюры распределения остаточного напора на подошву водосливной плотины. Секция 9



— 07.05.2018    — 06.08.2018    — 04.10.2018    — 09.01.2019    — 07.06.2019

Дата	между понурным шпунтом и верховым зубом			после верхового зуба		
	П2*8.14	П1*8.14	П3*8.14	П4*8.14	П8*8.14	П7*8.14
07.05.2018	32.72	33.10	32.01	4.79	0.38	0.11
06.08.2018	36.66	36.11	37.79	10.44	3.24	2.19
04.10.2018	37.39	36.82	36.82	6.94	3.38	2.28
09.01.2019	31.85	31.89	34.22	4.60	3.56	2.14
07.06.2019	32.19	33.08	34.73	5.76	4.40	2.29

Рис. 2.2.6. Эпюры распределения остаточного напора на подошву водосливной плотины. Секция 14

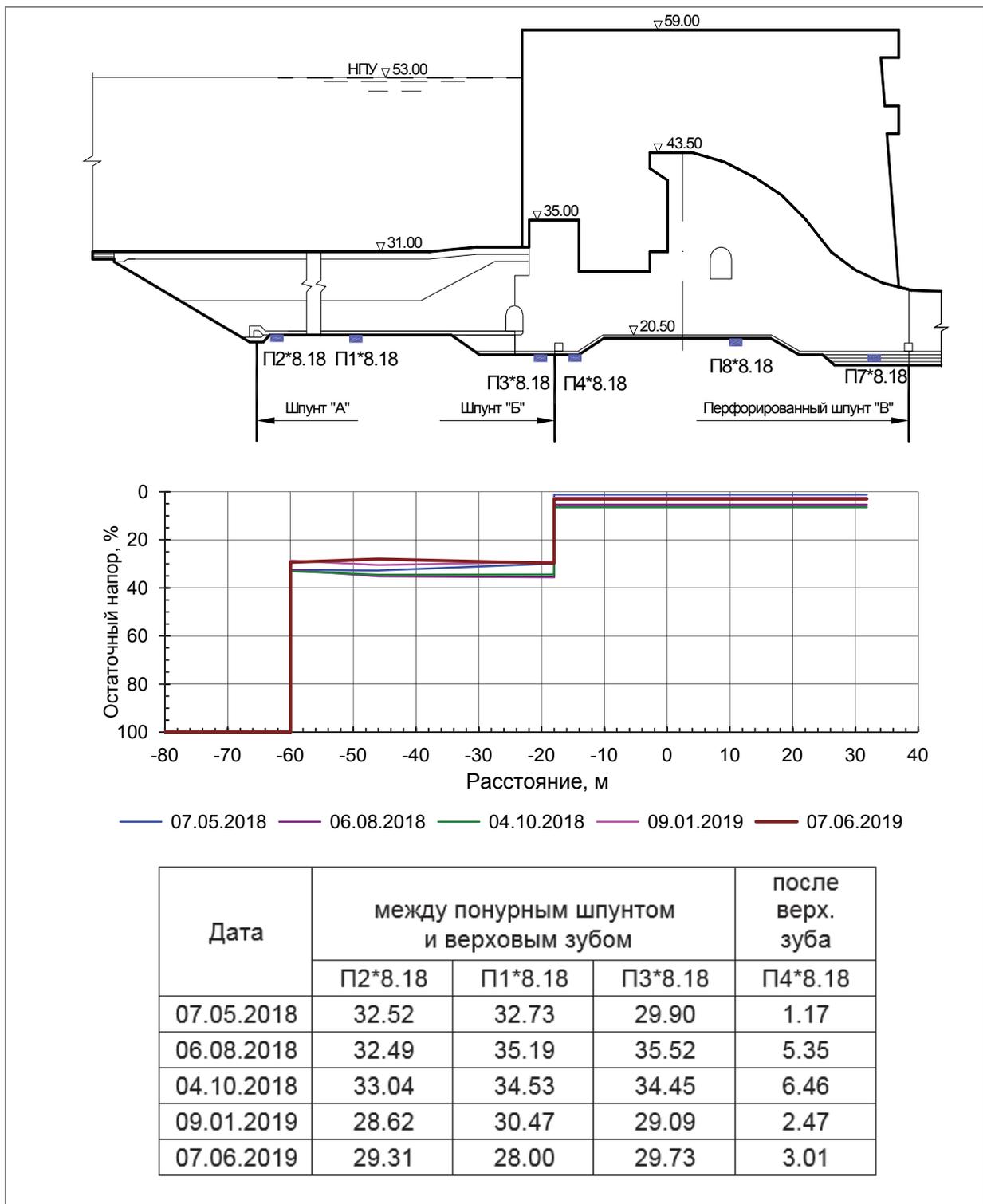


Рис. 2.2.7. Эпюры распределения остаточного напора на подошву водосливной плотины. Секция 18

Все эти эпюры сформировались в самом начале эксплуатации гидроузла, доказательством чему служат приведенные на рис. 2.2.8 и 2.2.9 графики изменений пьезометрических напоров по пьезометрам, расположенным в основании секций 1, 2 и 8, начиная с 1960 г.

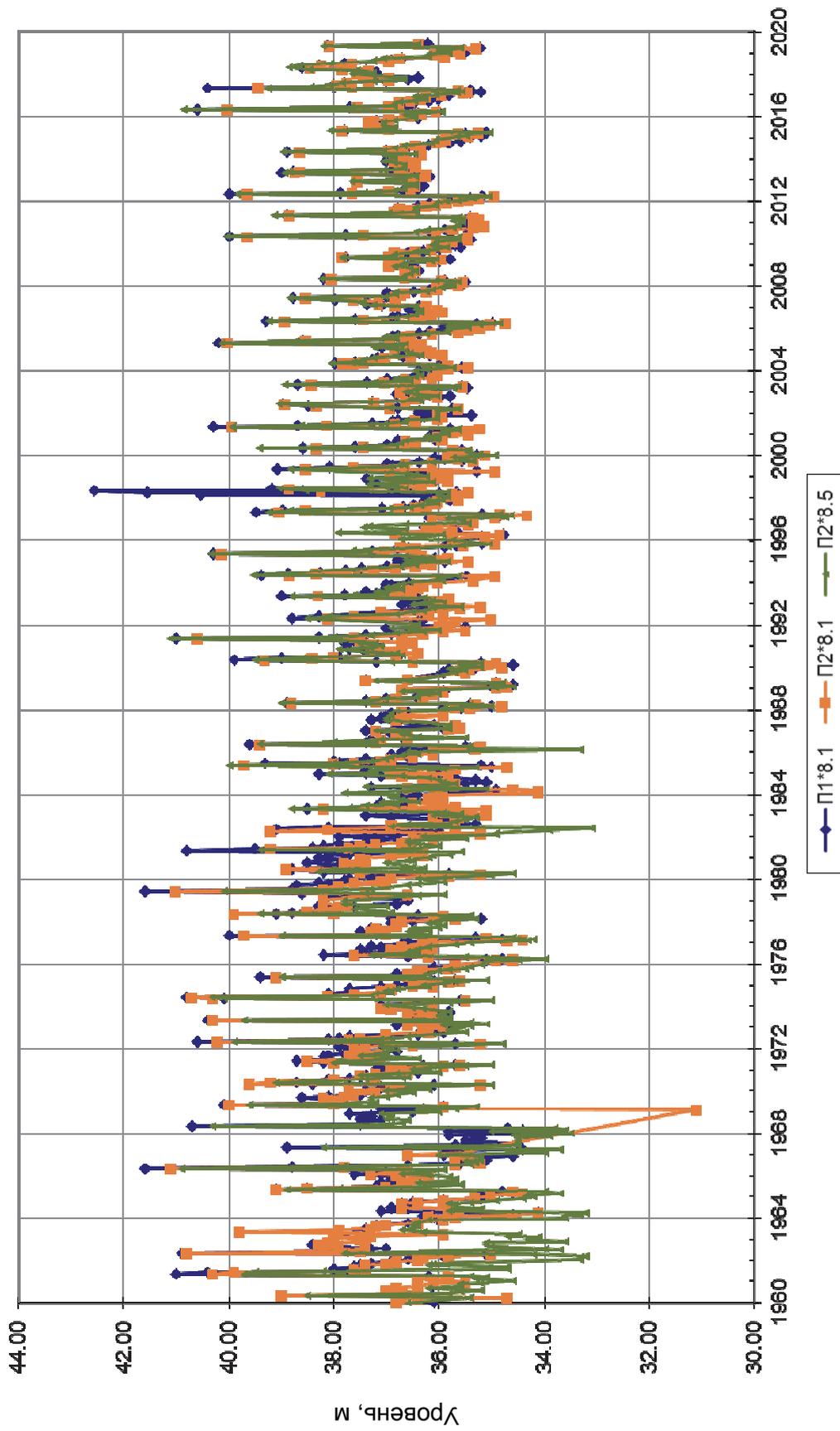


Рис. 2.2.8. Графики изменения показаний напорных пьезометров в основании понура водосливной плотины. Секции 1 и 2

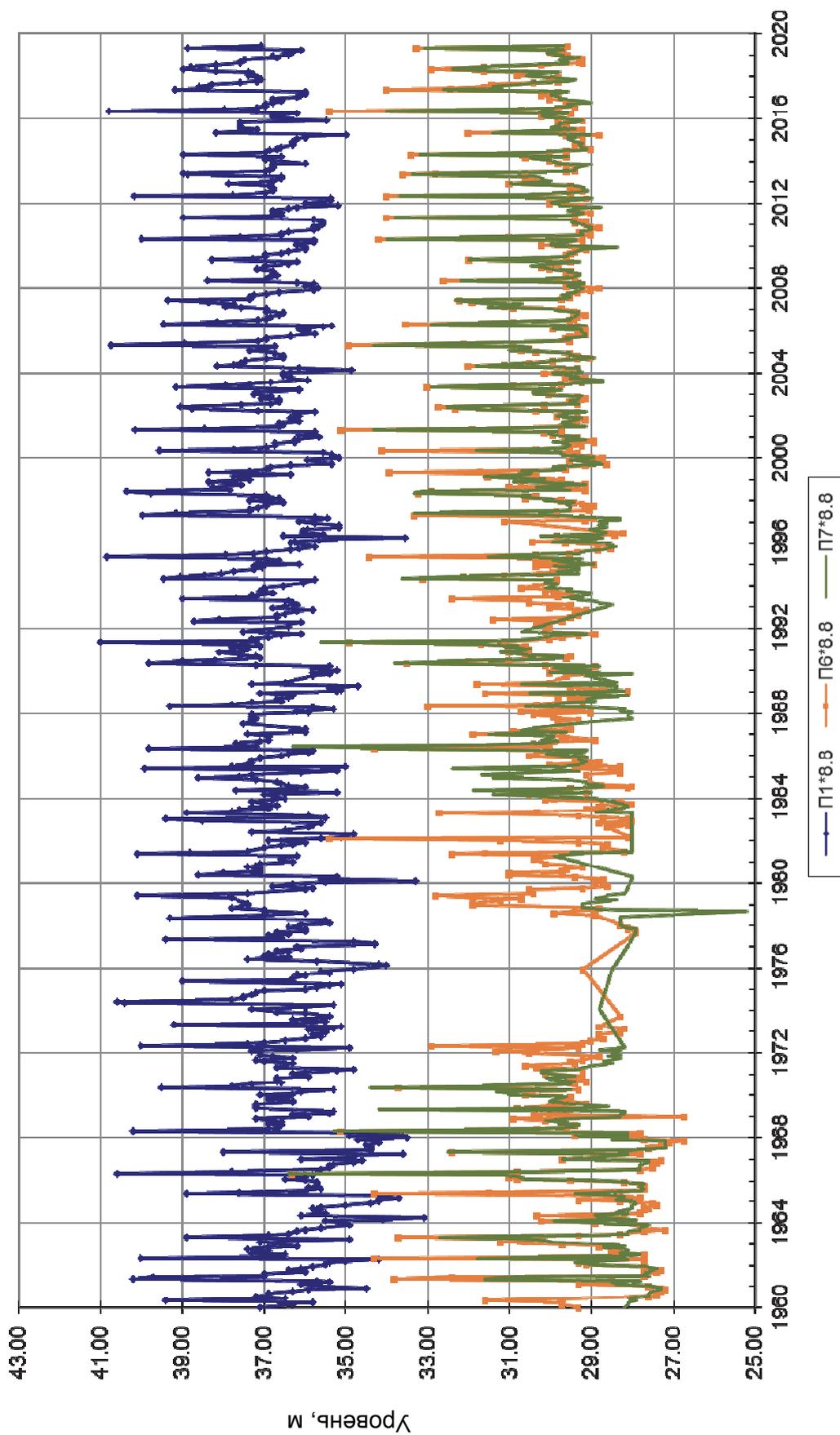


Рис. 2.2.9. Графики изменения показаний напорных пьезометров водосливной плотины. Секция 8

Как видно из графиков, за 59 лет измеренные значения пьезометрических уровней практически не изменялись. Обращает внимание колебание значений измеренных пьезометрических уровней в годовом цикле. Для анализа причин были построены совместные графики измеренных напоров по пьезометрам 1, 2 под секциями 1 и 5 (рис. 2.2.10), а также 1, 6, 7 под секцией 8 (рис. 2.2.11). Из сопоставления видно, что все показания синхронны, а колебания уровней в пьезометрах 1 и 2, а также 6 и 7 практически совпадают между собой.

Для того, чтобы выявить, какие факторы являются определяющими для этих колебаний, были построены сопоставительные графики показаний пьезометра П6\*8 с графиком колебаний уровней воды нижнего бьефа (рис. 2.2.12). Как видно из рисунка, колебания уровней воды в пьезометрах под фундаментной плитой плотины синхронно совпадают с колебаниями уровней воды нижнего бьефа.

Для пьезометров, расположенных под понуром секции 1 (П1\*8.1) приведено сопоставление их показаний с уровнями верхнего и нижнего бьефов, измеренными за последний период наблюдений (рис. 2.2.13).

Как видно из сопоставления, график изменения уровней в пьезометре более соответствует графику колебаний уровней нижнего бьефа. Абсолютно аналогичная картина наблюдается по пьезометру П1 в секции 9, здесь отмечается полная синхронизация пьезометрических колебаний уровня нижнего бьефа (рис. 2.2.14).

Были проверены фильтрационные условия с точки зрения допустимых градиентов фильтрации по контакту фундаментной плиты.

Фактические данные действующих напоров и градиентов по контакту фундаментной плиты водосливной плотины с основанием на даты максимального и минимального действующего напора в период 1999-2019 гг. для двух крайних и одной центральной секции (11 секция) приведены в таблице 2.2.1.

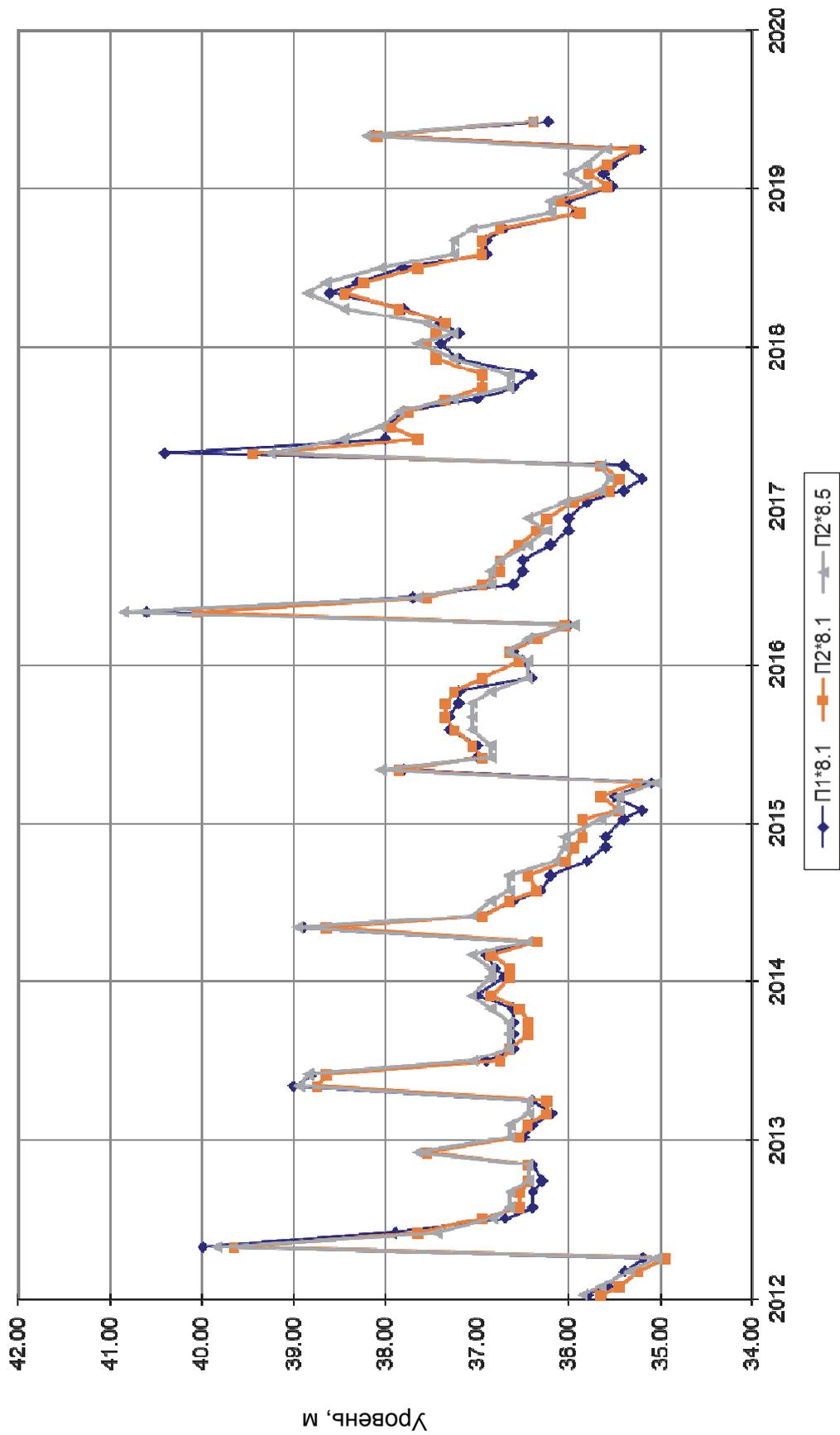


Рис. 2.2.10. Графики изменения показаний напорных пьезометров в основании понура водосливной плотины. Секции 1 и 5

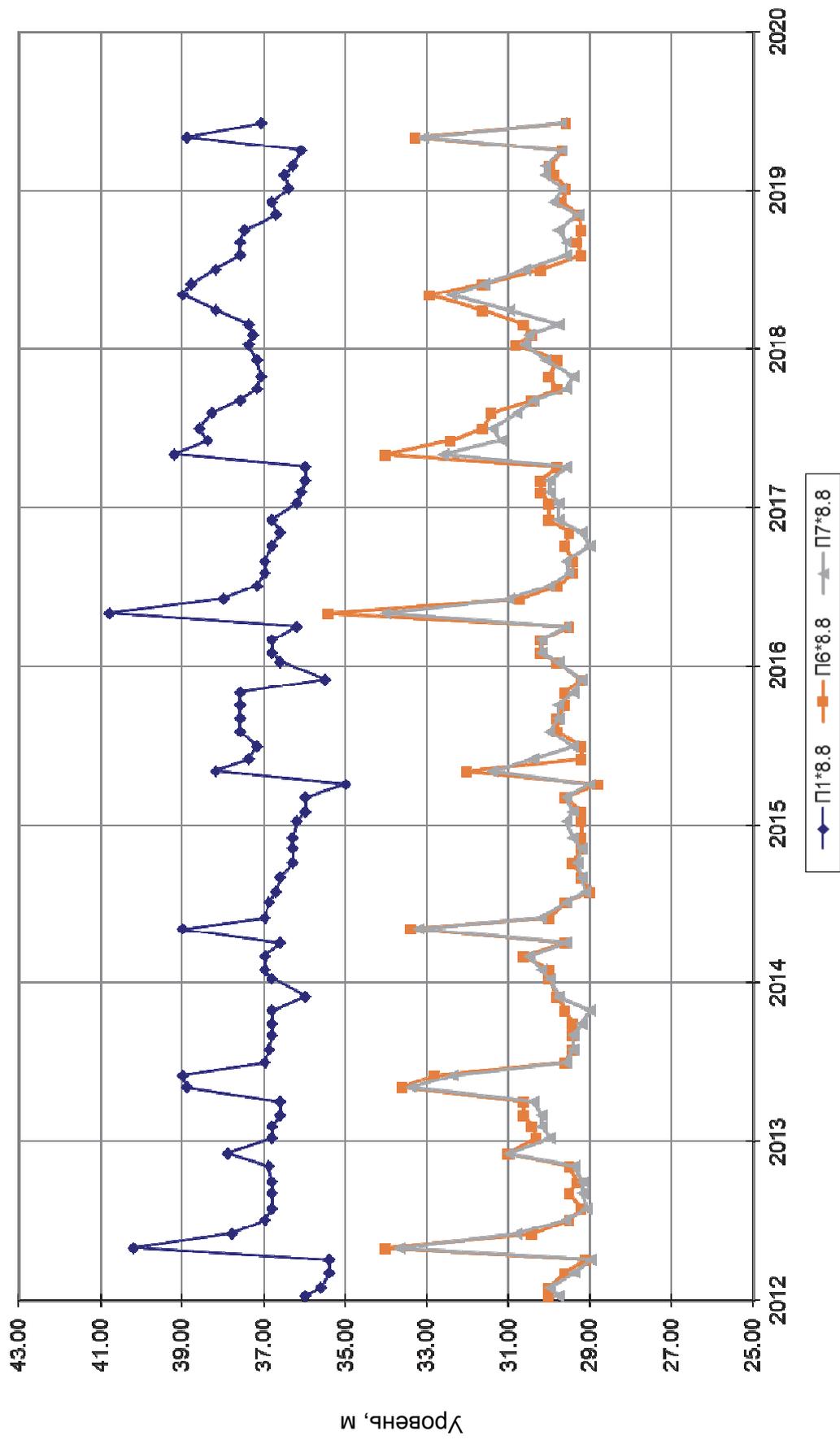


Рис. 2.2.1.1. Графики изменения показаний напорных пьезометров водосливной плотины. Секция 8 (с 2012 года)

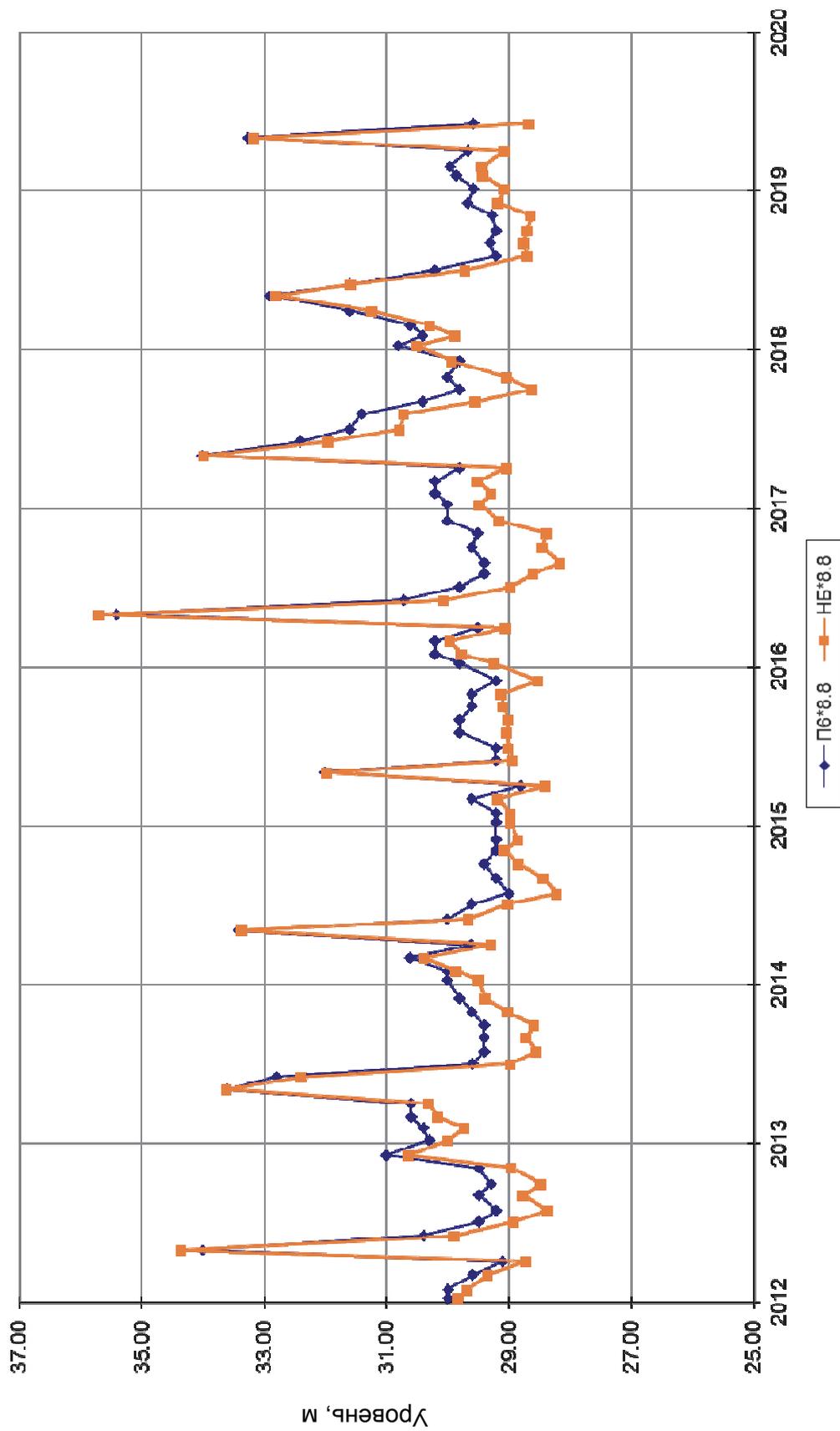


Рис. 2.2.12. Сопоставление показаний пьезометра П6\*8 и УНБ

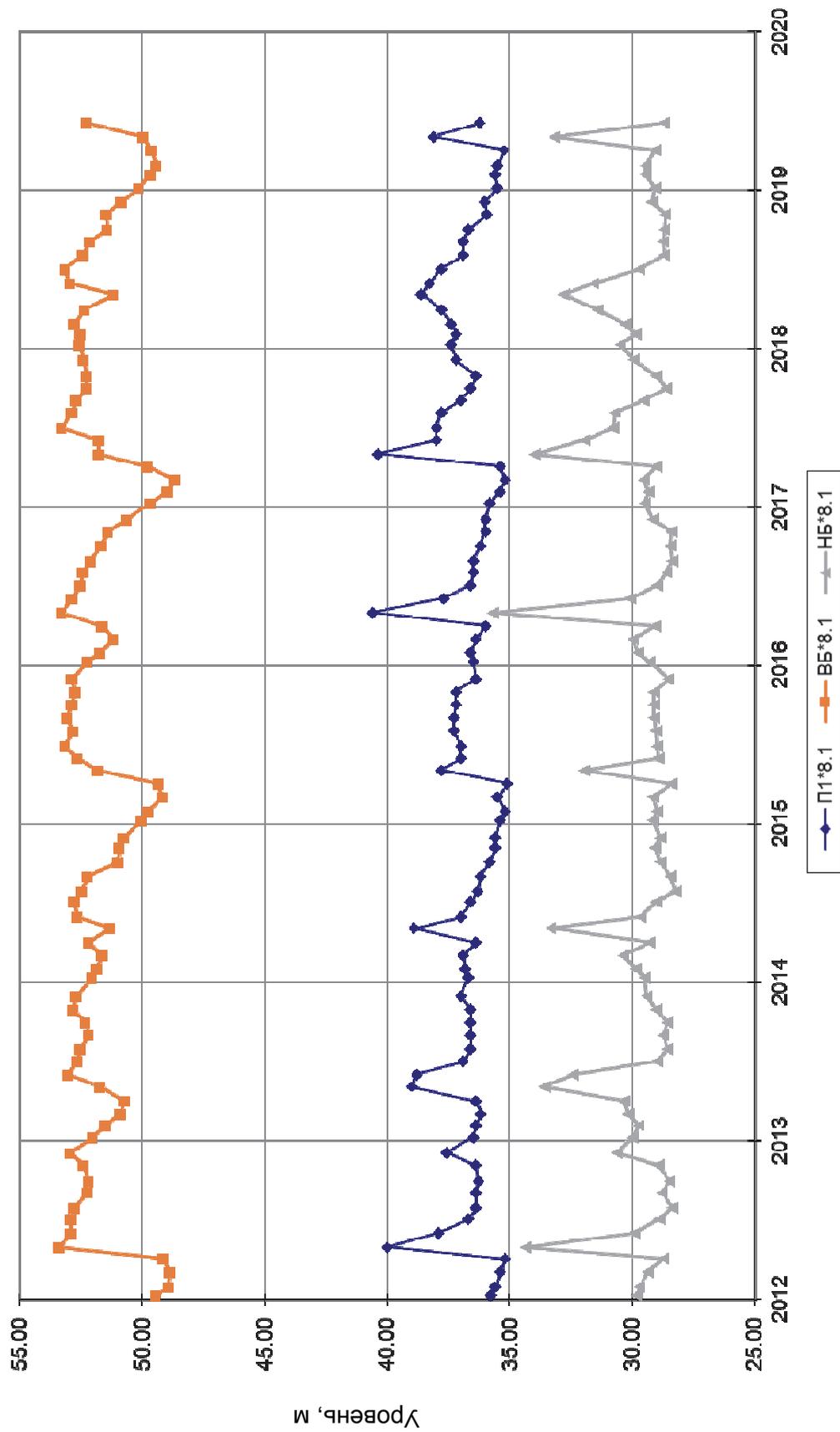


Рис. 2.2.13. Сопоставление показаний пьезометра П1\*8.1 секции 1 с УВБ и УНБ

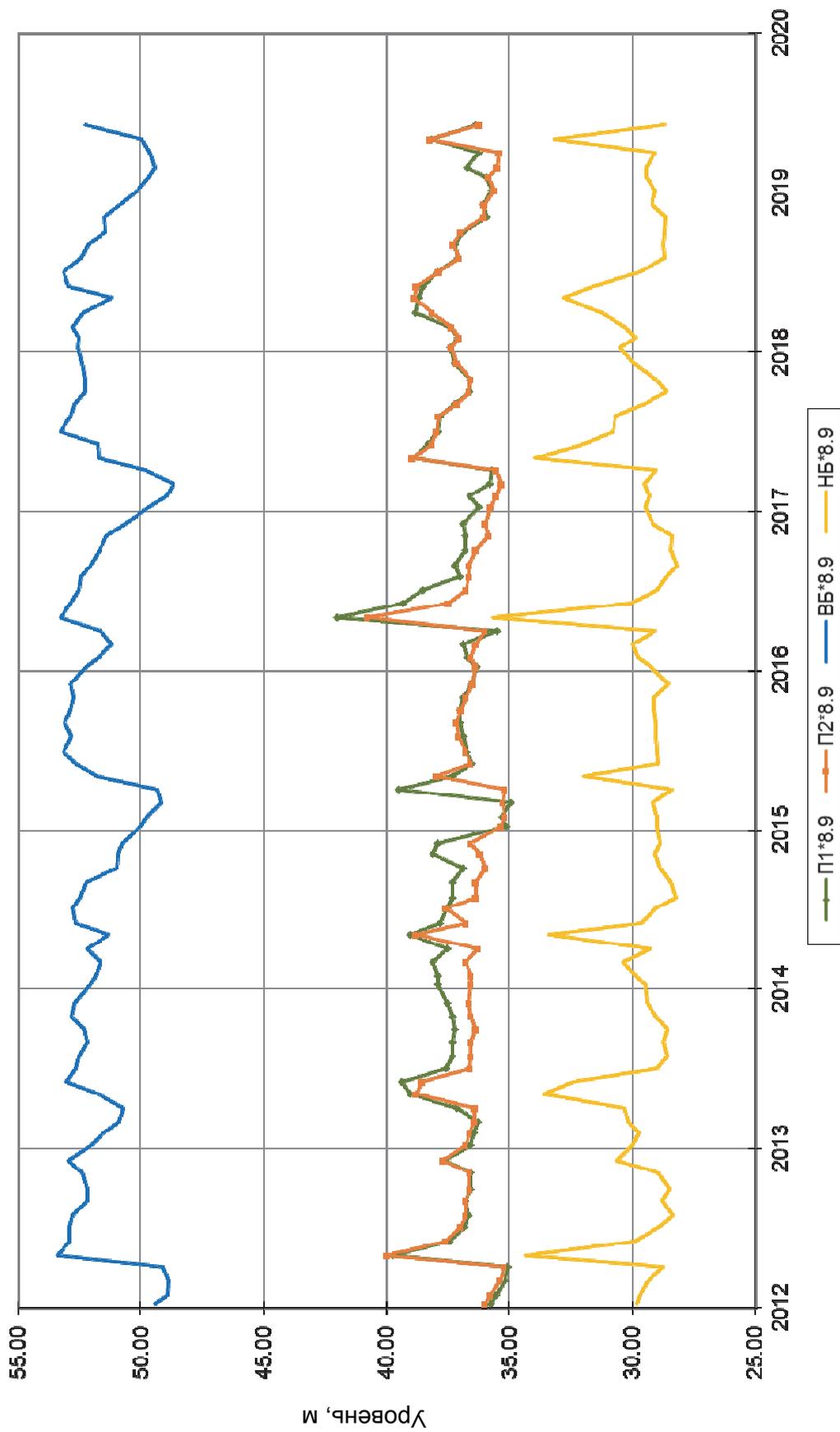


Рис. 2.2.14. Сопоставление показаний пьезометра П1 секции 9 с УВБ и УНБ

Таблица 2.2.1

**Фактические градиенты напора по контакту фундаментной плиты водосливной плотины с основанием на даты максимального и минимального действующего напора за период 1999-2019 гг.**

№ прибора	Значение измеренного уровня, м	Расчетный участок	Действующий напор на участке	Расстояние прибора от оси плотины	Протяженность расчетно-го участка	Фактический градиент фильтрации
<b>СЕКЦИЯ 1 НА 04.10.2001/04.05.2016</b>						
ВБ*8.1	52.19/53.27	ВБ*8.1-П2*8.1	16.26/13.23	104.0	45.00**	0.36/0.29
П2*8.1	35.93/40.04	П2*8.1-П1*8.1	-0,25/-0,20	-62,00	16.0	0/0
П1*8.1	36.18/40.60	П1*8.1-П4*8.1	7.14/5.19	-46,00	73.00(31)	0.1/0.07
П4*8.1	29.04/35.41	П4*8.1-П8*8.1	0,75/1.14	-15.00	22.50	0/0.05
П8*8.1	29.79/34.27	П8*8.1-П7*8.1	0,65/-0.05	7.50	20.00	0.03/0
П7*8.1	28.91/33.92	П7*8.1-НБ*8.1	0.87-1.77	27.50	13.00	0.07/0
НБ*8.1	28.04/35.69	ВБ*8.1-НБ*8.1	24.15/17.58	-	188.00**	0.13/0.10
<b>СЕКЦИЯ 11</b>						
ВБ*8.11	52.49/53.27	ВБ*8.11-П1*8.11	16.14/12.71	1104.0**	58.0	0.28/0.22
П1*8.11	36.35/40.55	П1*8.11-П3*8.11	-0.14/5.38	-46.0	26.0	0/0.21
П3*8.11	36.49/35.17	П3*8.11-П4*8.11	7.58/3.72	-20.0	26**	0.29/0.14
П4*8.11	28.91/31.45	П4*8.11-П8*8.11	-2.45/-3.87	-15.0	22.5	0/0
П7*8.11	28.92/35.13	П7*8.11-НБ*8.11	0.70/-0.56	45.0	14.50	0.05/0
НБ*8.11	28.22/35.69	ВБ*8.11-НБ*8.11	22.27/17.58		188.0**	0.13/0.10
<b>СЕКЦИЯ 19</b>						
ВБ*8.19.	52.49/53.27	ВБ*8.19-П2*8.19	16.87/13.05	-104.0**	45.0	0.37/0.29
П2*8.19	35.62/40.22	П2*8.19-П3*8.19	0.16/0.34	-62.0	42.0	0/0
П3*8.19	35.78/39.88	П9*8.19-П8*8.19	6.46/4.46	-20.0	45.0	0.14/0.10
П9*8.19	29.32/35.42	П9*8.19-П8*8.19	-0.21/0.51	-15.0	22.5	0/0
П8*8.19	29.53/35.93	П8*8.19-П7*8.19	-2.29/-1.49	7.5	28.8	0/0
П7*8.19	31.82/37.42	П7*8.19-НБ*8.19	3.60/1.73	27.50	20.0	0.19/0.09
НБ*8.19	28.22/35.69	ВБ*1.2-НБ1.2	24.27/17.58		188.0**	0.13/0.10

\*\* - длина пути контактной фильтрации с учетом глубины забивки шпунтов и формы плиты.

Градиенты напора не превышают допустимые значения.

Приведенные в таблице и на рисунках результаты свидетельствуют о надежной работе существующих противофильтрационных и дренажных устройств водосливной плотины.

Для оценки достоверности получаемых по пьезометрам результатов также, как и для пьезометров здания ГЭС, были рассчитаны корреляционные зависимости показаний пьезометров от верхнего и нижнего бьефов.

Как видно из таблицы 2.2.2. у пьезометров, расположенных под понуром и верхним зубом фундаментной плиты, корреляция достаточно высокая с уровнями воды в водохранилище, и прослеживается корреляция с колебаниями уровней воды в нижнем бьефе.

По всем остальным пьезометрам, как расположенным по контакту П4, П9, П8, П10, П7, так и по глубинным П5 и П6, наблюдается очень хорошая корреляция с уровнем нижнего бьефа.

Таблица 2.2.2

**Коэффициенты корреляции показаний пьезометров, расположенных под подошвой водосливной плотины, с уровнями ВБ и НБ**

Тип пьезометра	№ пьезометра	№ секции	Корреляция от ВБ	Корреляция от НБ	Примечание
Напорный	П1*8.1	1	0,62	0,82	
Напорный	П2*8.1	1	0,6	0,8	
Напорный	П4*8.1	1	0,21	0,98	
Напорный	П6*8.1	1	0,28	0,92	
Напорный	П7*8.1	1	0,21	0,88	
Напорный	П8*8.1	1	0,23	0,77	
Напорный	П1*8.2	2	0,63	0,83	
Напорный	П2*8.2	2	0,58	0,72	
Напорный	П3*8.2	2	0,63	0,82	
Напорный	П4*8.2	2	0,2	0,94	
Напорный	П6*8.2	2	0,2	0,65	
Напорный	П7*8.2	2	0,22	0,99	
Напорный	П8*8.2	2	0,03	0,03	
Напорный	П10*8.2	2	0,18	0,97	
Напорный	П1*8.3	3	0,62	0,84	
Напорный	П2*8.3	3	0,62	0,76	
Напорный	П4*8.3	3	0,22	0,99	
Напорный	П5*8.3	3	0,24	0,98	
Напорный	П6*8.3	3	0,21	0,99	
Напорный	П7*8.3	3	0,21	0,98	
Напорный	П8*8.3	3	0,21	0,98	
Напорный	П9*8.3	3	0,22	0,95	
Напорный	П10*8.3	3	0,21	0,99	
Напорный	П1*8.4	4	0,63	0,83	
Напорный	П3*8.4	4	0,61	0,82	
Напорный	П5*8.4	4	0,22	0,99	
Напорный	П6*8.4	4	0,18	0,88	
Напорный	П7*8.4	4	0,23	0,99	
Напорный	П8*8.4	4	0,21	0,98	
Напорный	П9*8.4	4	0,21	0,98	
Напорный	П10*8.4	4	0,21	0,98	
Напорный	П2*8.5	5	0,62	0,84	
Напорный	П4*8.5	5	0,23	0,9	

Тип пьезометра	№ пьезометра	№ секции	Корреляция от ВБ	Корреляция от НБ	Примечание
Напорный	П6*8.5	5	0,23	0,99	
Напорный	П7*8.5	5	0,21	0,97	
Напорный	П8*8.5	5	0,21	0,96	
Напорный	П9*8.5	5	0,24	0,98	
Напорный	П10*8.5	5	0,22	0,98	
Напорный	П1*8.6	6	0,63	0,83	
Напорный	П2*8.6	6	0,65	0,82	
Напорный	П3*8.6	6	0,64	0,81	
Напорный	П4*8.6	6	0,21	0,98	
Напорный	П5*8.6	6	0,26	0,97	
Напорный	П6*8.6	6	0,22	0,99	
Напорный	П7*8.6	6	0,1	0,92	
Напорный	П8*8.6	6	0,24	0,98	
Напорный	П9*8.6	6	0,22	0,93	
Напорный	П10*8.6	6	0,23	0,98	
Напорный	П1*8.7	7	0,66	0,79	
Напорный	П2*8.7	7	0,65	0,74	
Напорный	П3*8.7	7	0,65	0,73	
Напорный	П4*8.7	7	0,21	0,98	
Напорный	П6*8.7	7	0,19	0,98	
Напорный	П7*8.7	7	0,22	0,99	
Напорный	П9*8.7	7	0,24	0,93	
Напорный	П10*8.7	7	0,23	0,98	
Напорный	П1*8.8	8	0,59	0,82	
Напорный	П6*8.8	8	0,23	0,98	
Напорный	П7*8.8	8	0,23	0,94	
Напорный	П1*8.9	9	0,39	0,71	
Напорный	П2*8.9	9	0,61	0,83	
Напорный	П3*8.9	9	0,64	0,83	
Напорный	П4*8.9	9	0,24	0,96	
Напорный	П6*8.9	9	0,21	0,93	
Напорный	П7*8.9	9	0,22	0,99	
Напорный	П8*8.9	9	0,23	0,97	
Напорный	П9*8.9	9	0,24	0,96	
Напорный	П10*8.9	9	0,24	0,98	
Напорный	П4*8.10	10	0,11	0,65	
Напорный	П6*8.10	10	0,22	0,93	
Напорный	П7*8.10	10	0,22	0,99	
Напорный	П8*8.10	10	0,22	0,98	

<b>Тип пьезометра</b>	<b>№ пьезометра</b>	<b>№ секции</b>	<b>Корреляция от ВБ</b>	<b>Корреляция от НБ</b>	<b>Примечание</b>
Напорный	П9*8.10	10	0,23	0,98	
Напорный	П10*8.10	10	0,23	0,98	
Напорный	П1*8.11	11	0,64	0,82	
Напорный	П3*8.11	11	0,61	0,81	
Напорный	П4*8.11	11	0,19	0,98	
Напорный	П5*8.11	11	0,22	0,8	
Напорный	П6*8.11	11	0,22	0,98	
Напорный	П7*8.11	11	0,21	0,99	
Напорный	П8*8.11	11	0,23	0,99	
Напорный	П10*8.11	11	0,18	0,74	
Напорный	П1*8.12	12	0,65	0,82	
Напорный	П3*8.12	12	0,65	0,82	
Напорный	П4*8.12	12	0,23	0,98	
Напорный	П6*8.12	12	0,22	0,99	
Напорный	П7*8.12	12	0,21	0,99	
Напорный	П8*8.12	12	0,22	0,99	
Напорный	П9*8.12	12	0,24	0,96	
Напорный	П1*8.13	13	0,63	0,83	
Напорный	П2*8.13	13	0,61	0,83	
Напорный	П3*8.13	13	0,66	0,81	
Напорный	П4*8.13	13	0,24	0,98	
Напорный	П5*8.13	13	0,24	0,99	
Напорный	П6*8.13	13	0,16	0,87	
Напорный	П7*8.13	13	0,22	0,99	
Напорный	П8*8.13	13	0,23	0,99	
Напорный	П9*8.13	13	0,2	0,97	
Напорный	П10*8.13	13	0,25	0,97	
Напорный	П1*8.14	14	0,65	0,83	
Напорный	П2*8.14	14	0,65	0,81	
Напорный	П3*8.14	14	0,63	0,79	
Напорный	П4*8.14	14	0,26	0,98	
Напорный	П7*8.14	14	0,24	0,99	
Напорный	П8*8.14	14	0,25	0,93	
Напорный	П9*8.14	14	0,24	0,96	
Напорный	П10*8.14	14	0,25	0,98	
Напорный	П1*8.15	15	0,28	0,19	
Напорный	П3*8.15	15	0,65	0,8	
Напорный	П4*8.15	15	0,28	0,96	
Напорный	П7*8.15	15	0,22	0,98	

Тип пьезометра	№ пьезометра	№ секции	Корреляция от ВБ	Корреляция от НБ	Примечание
Напорный	П9*8.15	15	-0,18	0,21	
Напорный	П1*8.16	16	0,65	0,82	
Напорный	П2*8.16	16	0,61	0,85	
Напорный	П3*8.16	16	0,64	0,81	
Напорный	П4*8.16	16	0,25	0,98	
Напорный	П5*8.16	16	0,32	0,97	
Напорный	П6*8.16	16	0,26	0,44	
Напорный	П7*8.16	16	0,25	0,99	
Напорный	П8*8.16	16	0,24	0,99	
Напорный	П9*8.16	16	0,24	0,99	
Напорный	П10*8.16	16	0,23	0,99	
Напорный	П1*8.17	17	0,62	0,83	
Напорный	П2*8.17	17	0,64	0,83	
Напорный	П3*8.17	17	0,61	0,79	
Напорный	П4*8.17	17	0,23	0,97	
Напорный	П6*8.17	17	0,24	0,98	
Напорный	П7*8.17	17	0,22	0,98	
Напорный	П8*8.17	17	0,42	0,68	
Напорный	П9*8.17	17	0,23	0,98	
Напорный	П10*8.17	17	0,2	0,98	
Напорный	П1*8.18	18	0,6	0,8	
Напорный	П2*8.18	18	0,61	0,85	
Напорный	П3*8.18	18	0,6	0,86	
Напорный	П4*8.18	18	0,24	0,98	
Напорный	П6*8.18	18	0,24	0,99	
Напорный	П9*8.18	18	0,24	0,97	
Напорный	П10*8.18	18	0,24	0,98	
Напорный	П2*8.19	19	0,62	0,83	
Напорный	П3*8.19	19	0,59	0,79	
Напорный	П6*8.19	19	0,23	0,98	
Напорный	П7*8.19	19	0,38	0,94	
Напорный	П8*8.19	19	0,26	0,98	
Напорный	П9*8.19	19	0,24	0,98	
Напорный	П10*8.19	19	0,24	0,96	

Основная масса пьезометров работоспособна и успешно контролирует фильтрационный режим в основании водосливной плотины.

По данным наблюдений за установленными пьезометрами были построены эпюры остаточного напора под каждой секцией плотины.

Практически под всеми секциями эпюра остаточного напора имеет одинаковый характер. Он характеризуется следующим: верховой понурный шпунт очень эффективен и гасит около 70% напора, остальную часть напора гасит королевый шпунт (30%), непосредственно под фундаментной плитой водосливной плотины остаточный напор отсутствует.

В таблице 2.2.3 представлены критериальные значения пьезометрических напоров в основании водосливной плотины.

Таблица 2.2.3

**Пьезометрические напоры в основании водосливной плотины**

№ п/п	№ секции	Область контроля	Наименование КИА	К1, м	К2, м
1	Секция 1	Шпунт А	П2*8,1	42,2	46,9
2	Секция 2		П2*8,2	42,2	47,0
3	Секция 3		П2*8,3	42,6	47,5
4	Секция 4		П1*8,4	42,7	47,8
5	Секция 5		П2*8,5	42,8	47,9
6	Секция 6		П2*8,6	42,5	47,5
7	Секция 7		П2*8,7	42,0	46,5
8	Секция 8		П1*8,8	42,8	47,7
9	Секция 9		П2*8,9	42,6	47,8
10	Секция 11		П1*8,11	42,2	47,3
11	Секция 12		П1*8,12	42,3	47,3
12	Секция 13		П2*8,13	42,6	47,6
13	Секция 14		П2*8,14	42,2	47,1
14	Секция 15		П1*8,15	42,2	47,1
15	Секция 16		П2*8,16	42,4	47,6
16	Секция 17		П2*8,17	42,2	47,4
17	Секция 18		П2*8,18	42,2	47,3
18	Секция 19		П2*8,19	41,9	46,9
19	Секция 1	Шпунт Б	П4*8,1	37,8	44,1
20	Секция 2		П4*8,2	37,7	43,4
21	Секция 3		П4*8,3	38,1	44,4
22	Секция 4		П9*8,4	37,6	43,6
23	Секция 5		П4*8,5	37,7	43,9
24	Секция 6		П4*8,6	37,1	43,1
25	Секция 7		П4*8,7	38,0	44,3
26	Секция 9		П4*8,9	38,0	44,2
27	Секция 10		П4*8,10	34,0	37,6
28	Секция 11		П4*8,11	37,6	43,8
29	Секция 12		П4*8,12	37,5	43,5
30	Секция 13		П4*8,13	37,8	44,0
31	Секция 14		П4*8,14	38,0	44,0

№ п/п	№ секции	Область контроля	Наименование КИА	<i>K1, м</i>	<i>K2, м</i>
32	Секция 15		П4*8,15	38,5	44,8
33	Секция 16		П4*8,16	37,6	43,7
34	Секция 17		П4*8,17	38,4	44,7
35	Секция 18		П4*8,18	37,7	43,7
36	Секция 19		П9*8,19	37,7	43,6

Сопоставление величин, полученных в ходе натуральных наблюдений, с критериальными значениями показало, что превышений критериальных значений не отмечается.

### **2.3. Фильтрационный режим в теле и основании земляной плотины**

Земляная плотина расположена между зданием ГЭС и водосливной плотиной и имеет протяженность 2760 м. Плотина возведена намывным способом из мелкозернистых песков. В основании плотины залегает мощная толща современного аллювия достигающую в пойменной части толщины 80 м. Имеющиеся в аллювии прослойки и линзы глин и суглинков не создают выдержанных по площади водоупоров. Ширина плотины по гребню 85 м, наибольшая высота в русловой части 49,5 м, в пойменной части 28,5 м (рис. 2.3.1, 2.3.2).

На низовом откосе наклонный дренаж закачивается банкетом с трехслойным обратным фильтром. В дренажной призме имеется проходная галерея. На пикетах ПК 20+75, ПК 24+75, ПК 28+75, ПК 36+00 имеются водоразделы, а на пикетах ПК 19+00, ПК 22+75, ПК 26+76, ПК 32+50 и ПК 38+40 - водовыпуски. Водоотводящая проходная галерея имеет ширину 0,6 м и высоту 1,6 м.

Для контроля фильтрационного режима в теле и основании плотины установлено по шесть створов пьезометров. Расстояние между створами 400 м.

В каждом створе установлено по 4 пьезометра, некоторые из них размещены не в теле плотины, а заглублены в основание. Однако, так как основание песчаное, на показания пьезометров это не влияет. По показаниям всех пьезометров депрессионная поверхность имеет линейно понижающийся характер в сторону НБ, одинаковый по всем шести створам (рис. 2.3.3...2.3.8). Только в створах IV-VI кривая расположена выше примерно на 2,5 м относительно других створов. Это объясняется тем, что на участке этих пикетов намыв плотины проводился без подготовки основания, то есть покровные суглинки не удалялись и они обеспечили сплошной водоупор на

отм. 30,0 м, что вызвало в свою очередь некоторое повышение депрессионной поверхности. На приведенных рисунках депрессионные поверхности построены на три даты: 1999 г., 2009 г., 2019 г. Положение кривых за весь период наблюдений остается одинаковым, понижаясь на 1-2 м за последние 20 лет.

По данным наблюдений можно констатировать, что фильтрационный режим в теле и в основании земляной плотины является установившемся. Положение фактической депрессионной кривой в теле плотины существенно ниже расчетной кривой.

Средние градиенты фильтрации в основании земляной плотины по данным мониторинга пьезометрических уровней, фиксируемых на контакте основания по маркам- пьезометрам ПМП, находятся в пределах 0,03-0,05, что существенно ниже допустимых значений.

На рис. 2.3.9 и 2.3.10 приведены графики изменений уровней пьезометров, установленных в поперечных створах II и V. Для сопоставления на этих рисунках показаны графики колебаний уровней в верхнем и нижнем бьефах. Из рисунка видно, что за последние 20 лет эксплуатации, измеренные уровни в пьезометрах практически не изменяются. Годовые колебания пьезометрических уровней связаны с колебаниями уровней в бьефах.

Из графиков также видно, что крепление верхового откоса железобетонными плитами обеспечивает падение напора на 10-12 м.

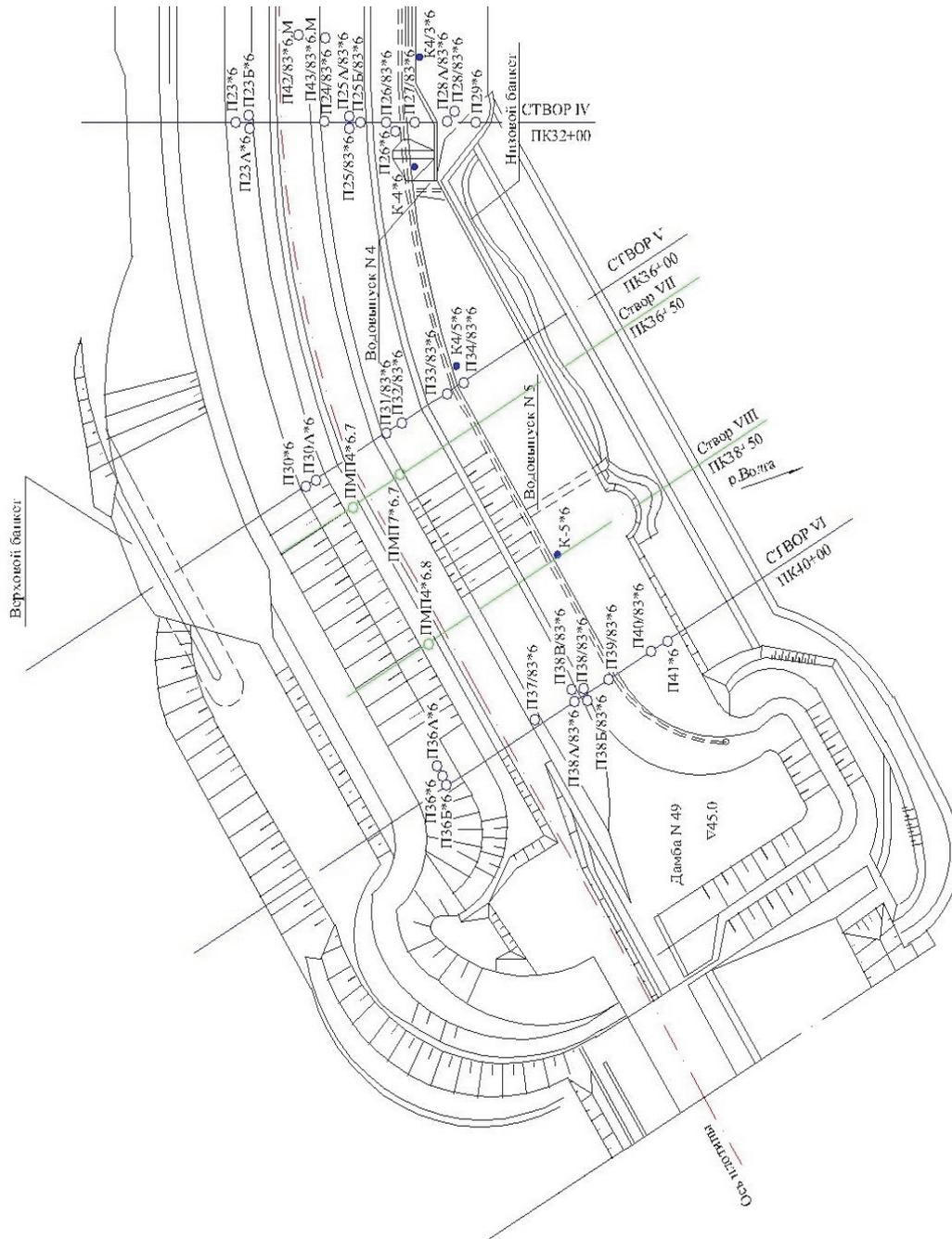


Рис. 2.3.1. Схема размещения пьезометров на земляной плотине. План (правая часть)



### Земляная плотина. Створ I. Депрессионная кривая

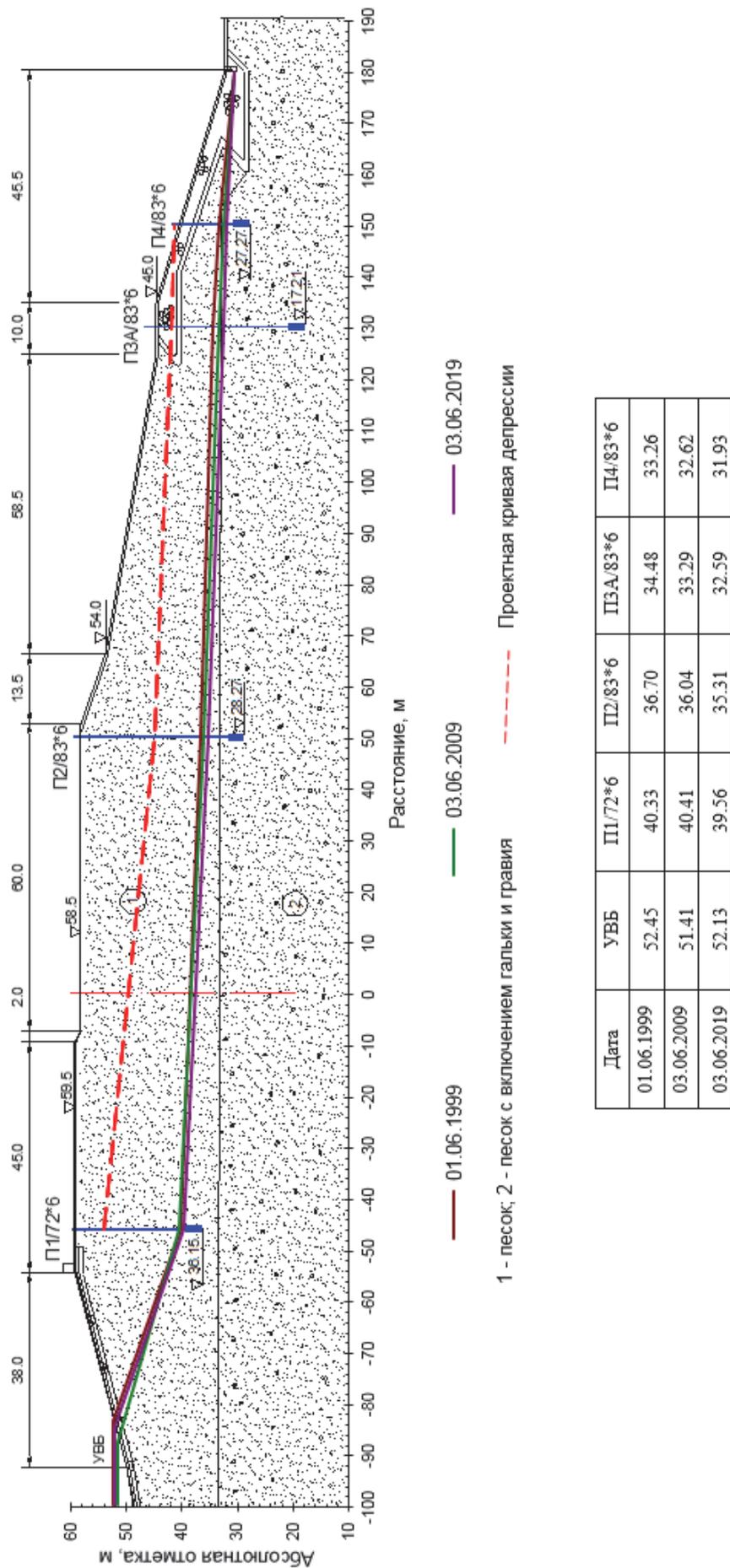
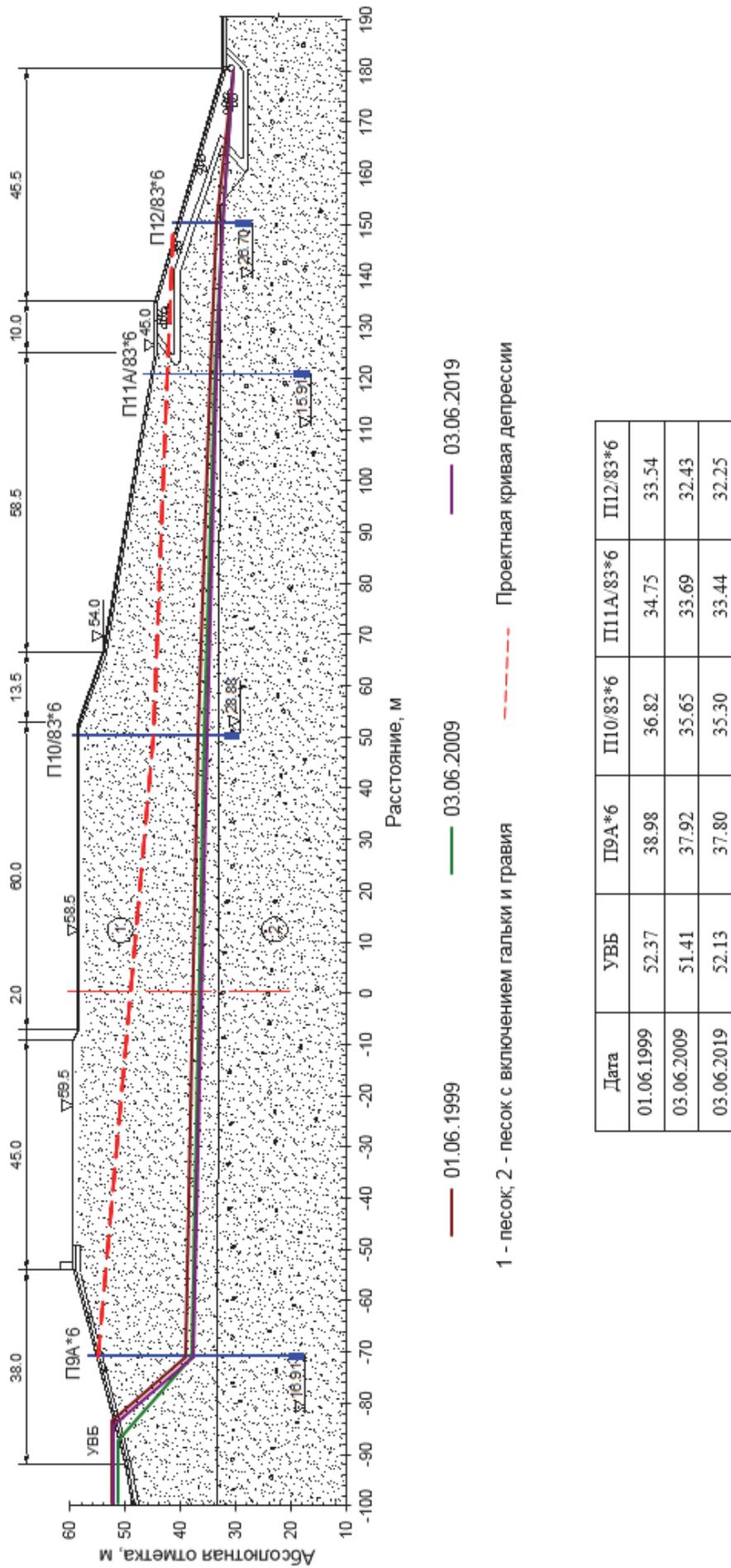


Рис. 2.3.3. Депрессионная кривая в створе I земляной плотины

### Земляная плотина. Створ II. Депрессионная кривая



1 - песок; 2 - песок с включением гальки и гравия

— 01.06.1999      — 03.06.2009      — 03.06.2019

--- Проектная кривая депрессии

Дата	УВБ	П9А*6	П10/83*6	П11А/83*6	П12/83*6
01.06.1999	52.37	38.98	36.82	34.75	33.54
03.06.2009	51.41	37.92	35.65	33.69	32.43
03.06.2019	52.13	37.80	35.30	33.44	32.25

Рис. 2.3.4. Депрессионная кривая в створе II земляной плотины



### Земляная плотина. Створ IV. Депрессионная кривая

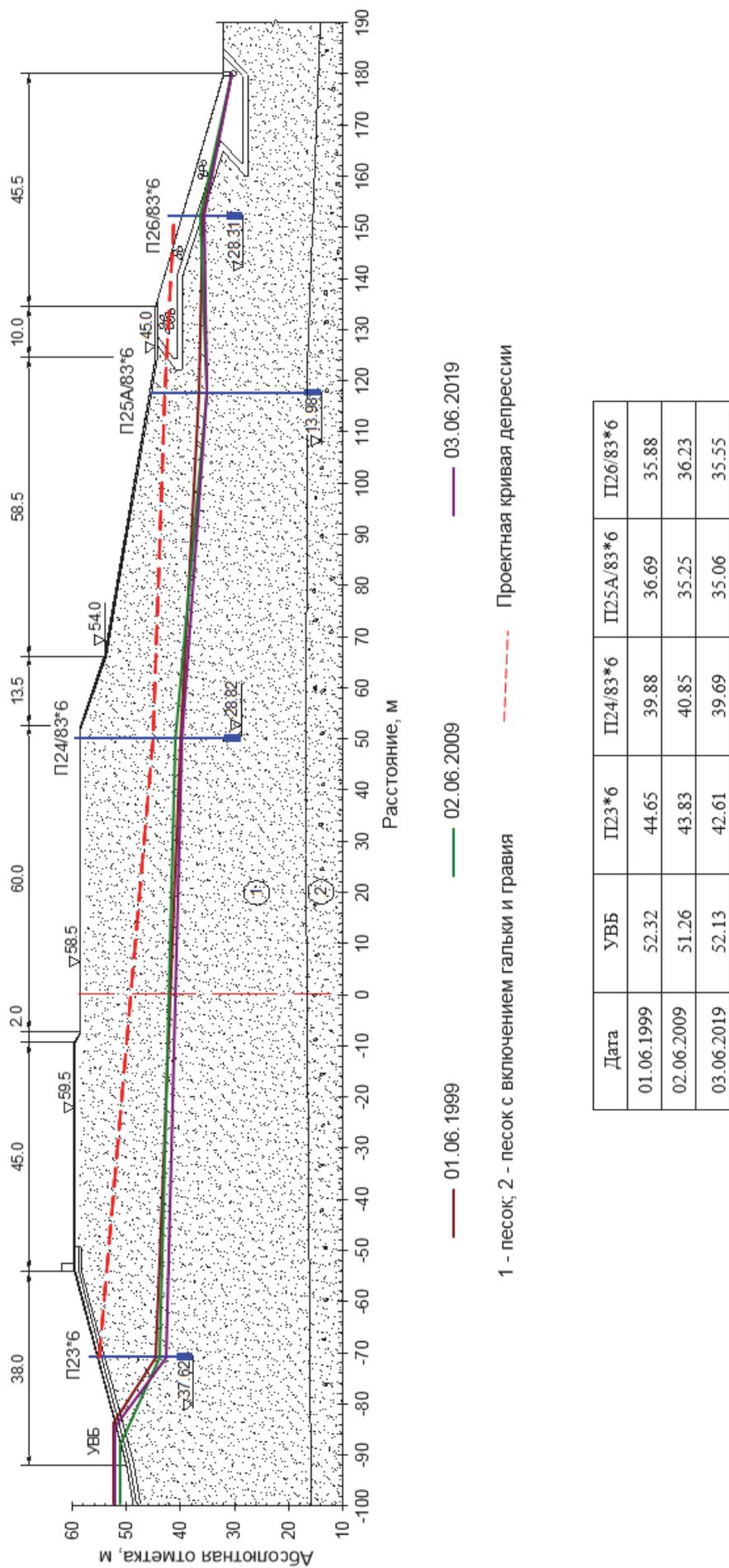


Рис. 2.3.6. Депрессионная кривая в створе IV земляной плотины

### Земляная плотина. Створ V. Депрессионная кривая

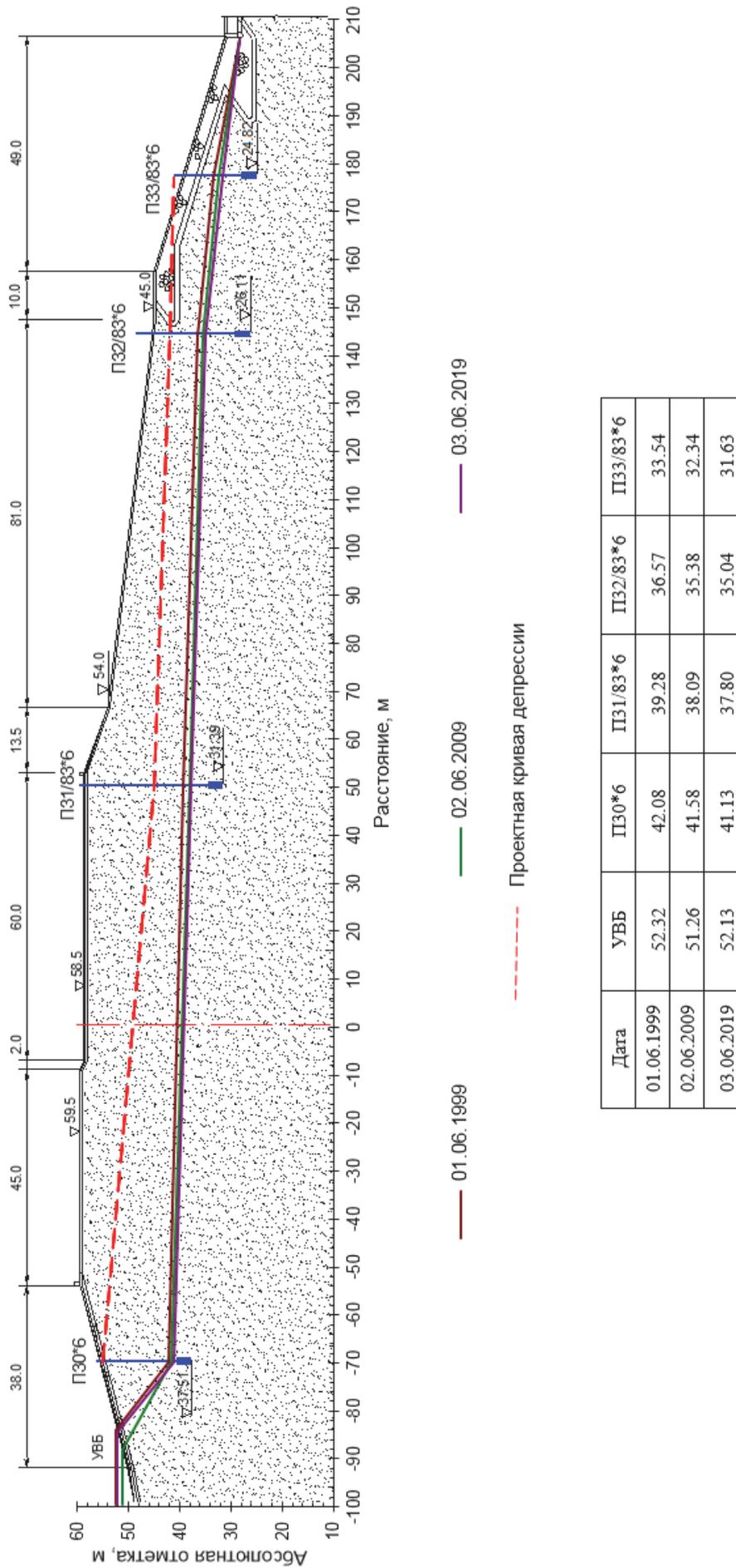
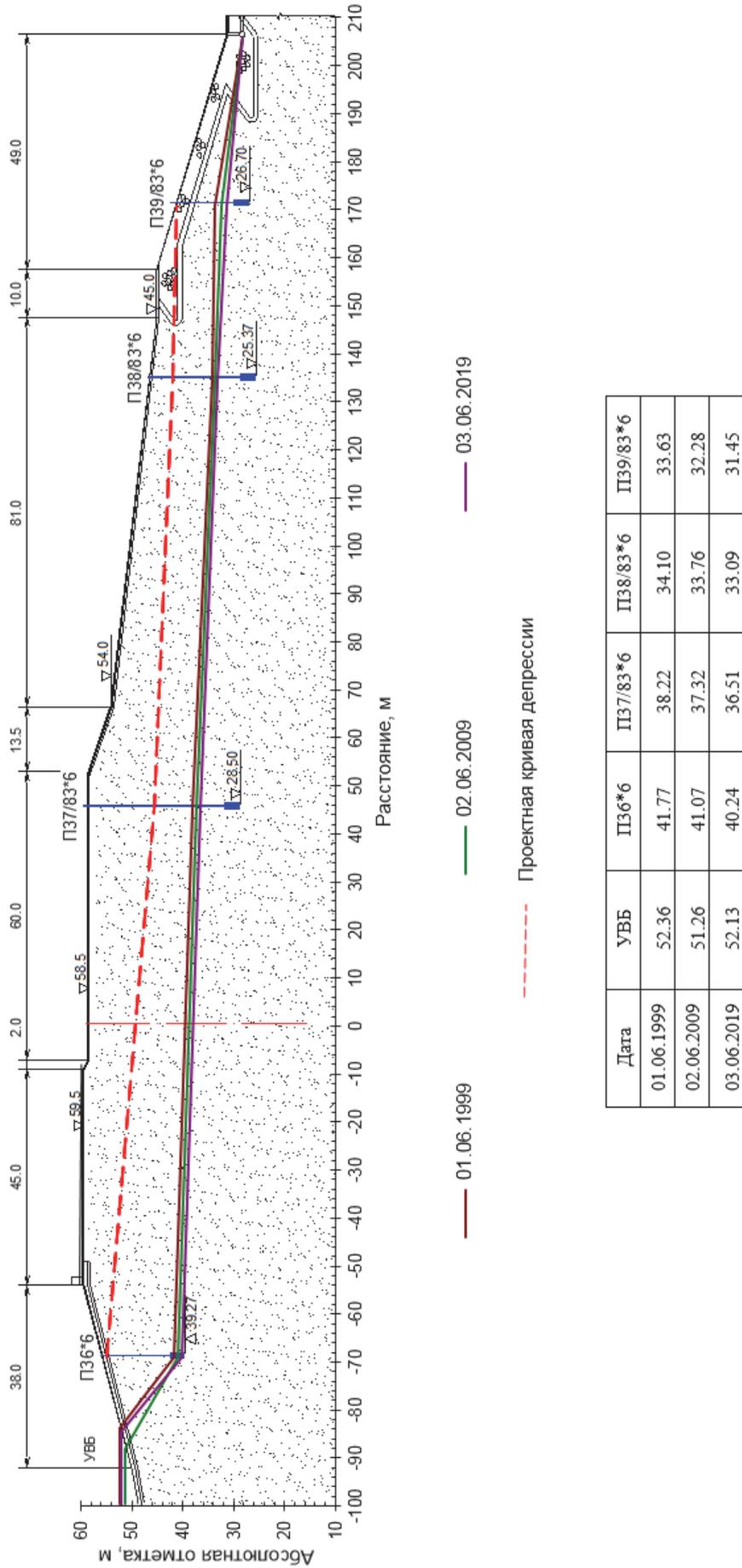


Рис. 2.3.7. Депрессионная кривая в створе V земляной плотины

### Земляная плотина. Створ VI. Депрессионная кривая



Дата	УВБ	ПЗ6*6	ПЗ7/83*6	ПЗ8/83*6	ПЗ9/83*6
01.06.1999	52.36	41.77	38.22	34.10	33.63
02.06.2009	51.26	41.07	37.32	33.76	32.28
03.06.2019	52.13	40.24	36.51	33.09	31.45

Рис. 2.3.8. Депрессионная кривая в створе VI земляной плотины

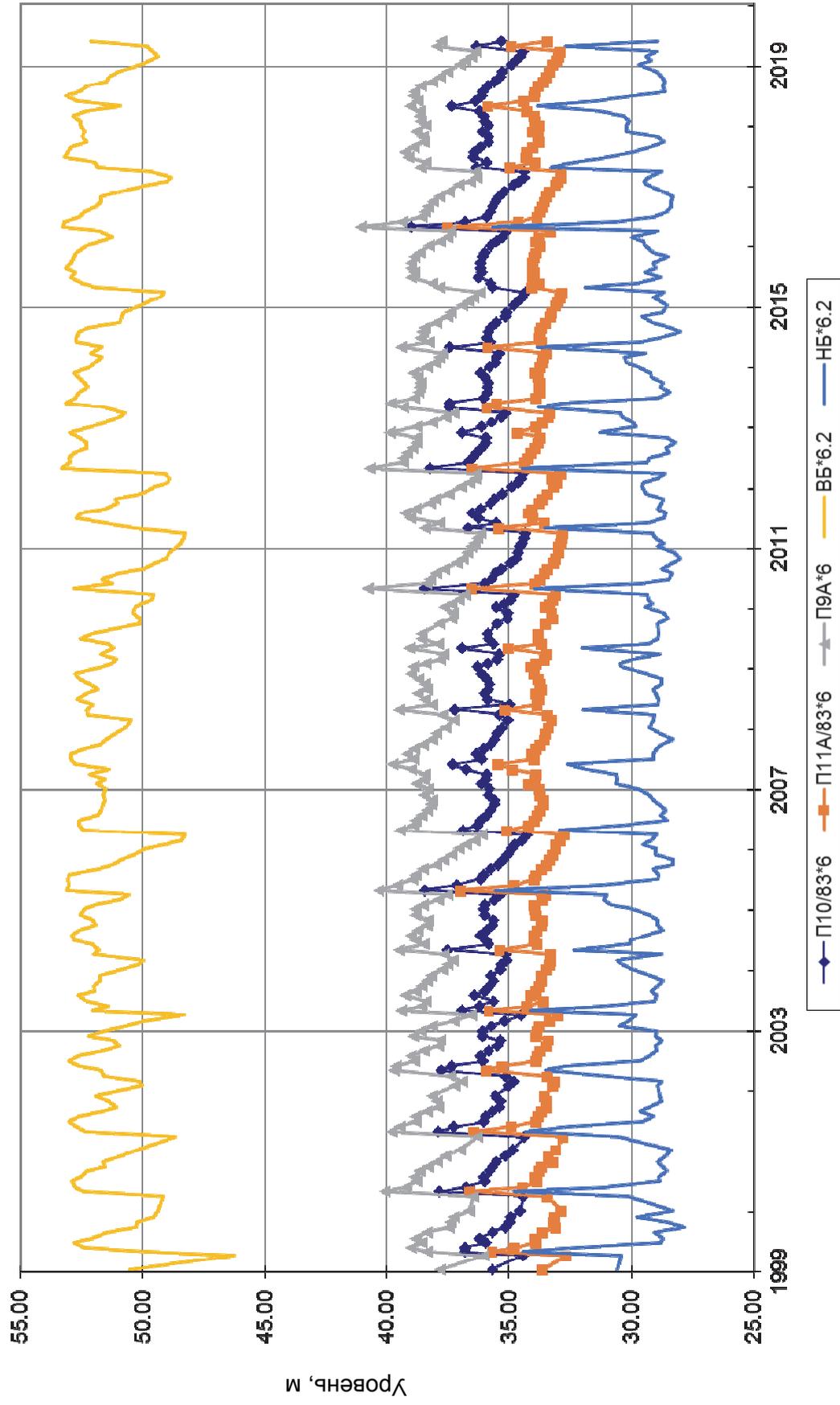


Рис. 2.3.9. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных в створе II земляной плотины

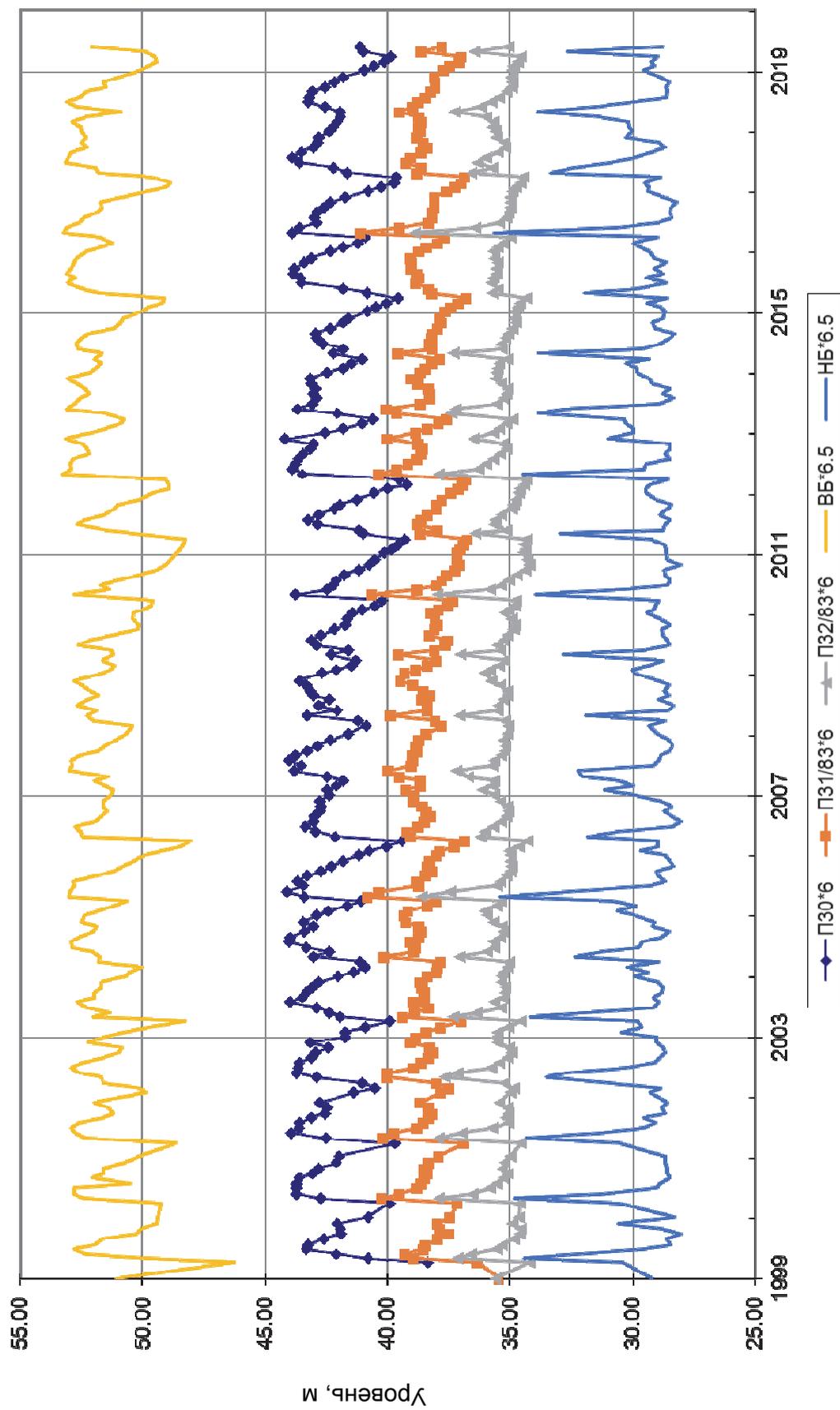


Рис. 2.3.10. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных в створе V земляной плотины

В таблице 2.3.1 представлены критериальные значения пьезометрических уровней в теле и основании земляной плотины.

Таблица 2.3.1

**Уровни воды в пьезометрах земляной плотины**

№ п/п	№ створа	Область контроля	Наименование КИА	К1, м	К2, м
1	Створ 1	Верховой откос	П1Б*6	42,1	46,0
2		Гребень	П2/83*6	40,9	44,8
3		Низовой откос	П3А/83*6	39,2	44,2
4		Перед дренажом	П4/83*6	38,0	42,8
5	Створ 2	Верховой откос	П9А*6	41,9	45,3
6		Гребень	П10/83*6	40,0	43,8
7		Низовой откос	П11А/83*6	38,5	42,5
8		Перед дренажом	П12/83*6	37,5	41,7
9	Створ 3	Верховой откос	П16*6	47,0	50,9
10		Гребень	П17/86*6	42,1	44,2
11		Низовой откос	П18Б/83*6	40,6	46,0
12		Перед дренажом	П20/83*6	36,9	40,0
13	Створ 4	Верховой откос	П23*6	50,0	55,0
14		Гребень	П24/83*6	45,0	48,2
15		Низовой откос	П25А/83*6	42,1	47,7
16		Перед дренажом	П26/83*6	39,2	41,5
17	Створ 5	Верховой откос	П30*6	45,8	49,0
18		Гребень	П31/83*6	42,1	45,7
19		Низовой откос	П32/83*6	40,6	45,4
20		Перед дренажом	П33/83*6	38,2	43,6
21	Створ 6	Верховой откос	П36А*6	44,0	46,8
22		Гребень	П37/83*6	40,3	43,3
23		Низовой откос	П38/83*6	38,9	43,7
24		Перед дренажом	П39/83*6	36,6	39,3

Сопоставление величин, полученных в ходе натуральных наблюдений, с критериальными значениями показало, что превышений критериальных значений не отмечается.

#### **2.4. Фильтрационный режим в дамбе 49**

На дамбе 49 замеры снимаются по 52 приборам, схема расположения их приведена на рис. 2.4.1.

Все пьезометры фиксируют положение депрессионной кривой на отм. 29,0-42,0 м. Исключение составляют пьезометры, расположенные в непосредственной близости от водохранилища: П81А\*5, П81\*5, П76\*5, П39А/72 (рис. 2.4.2). Показания этих пьезометров синхронны с колебаниями уровней верхнего бьефа и близки к ним по значениям.



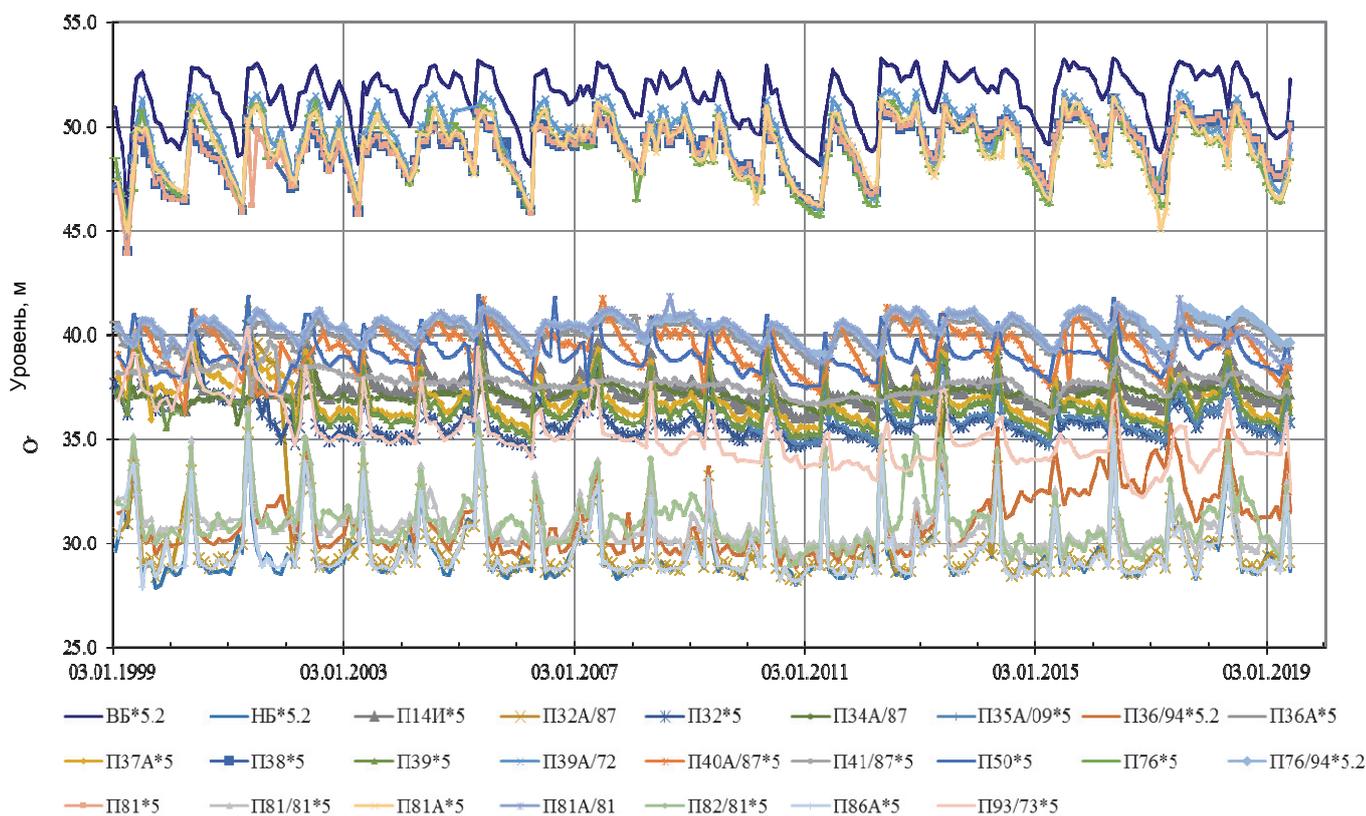


Рис. 2.4.2. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных в створе 2 дамбы №49

Также, как и для остальных пьезометров, была выполнена корреляция связи измеряемых значений уровней с уровнями воды в верхнем и нижних бьефах (таблица 2.4.1).

Анализ таблицы показал, что из 52 пьезометров 6 пьезометров имеют очень низкие коэффициенты корреляции. Пьезометры П77\*5 и П78\*5 (рис. 2.4.3) не реагируют на колебания уровней в водохранилище, а измеряемые по ним уровни выше уровней в пьезометрах, расположенных рядом. Это может свидетельствовать о том, что пьезометры заилены и не работоспособны. Также очень слабая зависимость от уровней бьефов у остальных 4-х пьезометров, однако у последних имеются дублирующие работоспособные пьезометры, расположенные вблизи неисправных (рис. 2.4.4 и 2.4.5).

Фильтрационный режим в теле дамбы за последние 20 лет носит установившийся характер.

Имеющееся количество работоспособных пьезометров обеспечивает надежный контроль состояния дамбы.

Учитывая, что положение депрессионной кривой в зоне неработающих пьезометров П77\*5 и П78\*5, контролируется пьезометром П78/14\*5, замена их нецелесообразна. Эти пьезометры следует списать по акту и замеры по ним не вести.

## Коэффициенты корреляции показаний пьезометров дамбы 49 с уровнями ВБ и НБ

№ Створа	Корреляция от ВБ	Корреляция от ВБ	№ Створа	Корреляция от ВБ	Корреляция от ВБ
<b>Створ 1</b>			<b>Створ 3</b>		
П77*5	0.04	-0.09	П58А*5	0.45	0.08
П78*5	-0.05	-0.08	П57/16*5	0.21	0.94
П78/14*5	0.89	0.08	П92А/81	0.21	0.95
П41*5	0.50	0.81	П44/72*5	0.45	0.79
П40*5	0.48	0.81	П87*5	0.19	0.96
П40А*5	0.85	0.10	П51*5	0.42	0.88
П48*5	0.71	0.74	<b>Створ 4</b>		
П42*5	0.40	0.93	П48/86*5	0.81	0.26
П42А*5	0.56	0.77	П49/02*5	0.45	0.93
П47/14*5	0.52	0.91	П74/72*5	0.54	-0.07
П45/87*5	0.21	0.98	П88*5	0.18	0.93
<b>Створ 1а</b>			П90*5	0.11	0.96
П83*5	0.42	0.85	П94а/02*5	0.48	0.89
П84*5	0.23	0.96			
П85*5	0.14	0.85			
П45*5	0.23	0.98			
П46*5	0.28	0.72			
П46/02*5	0.21	0.81			
<b>Створ 2</b>					
П14И*5	0.59	0.86			
П32А/87	0.19	0.66			
П32*5	0.40	0.80			
П34А/87	0.47	-0.07			
П35А/09*5	0.56	0.89			
П36/94*5.2	0.24	0.75			
П36А*5	0.66	-0.17			
П37А*5	0.47	0.80			
П38*5	0.96	0.24			
П39*5	0.50	0.85			
П39А/72	0.96	0.15			
П40А/87*5	0.74	0.11			
П41/87*5	0.28	0.06			
П50*5	0.59	0.70			
П76*5	0.95	0.15			
П76/94*5.2	0.68	-0.20			
П81*5	0.93	0.20			
П81/81*5	0.24	0.94			
П81А*5	0.94	0.17			
П81А/81	0.61	-0.19			
П82/81*5	0.33	0.83			
П86А*5	0.22	0.98			
П93/73*5	0.30	0.56			

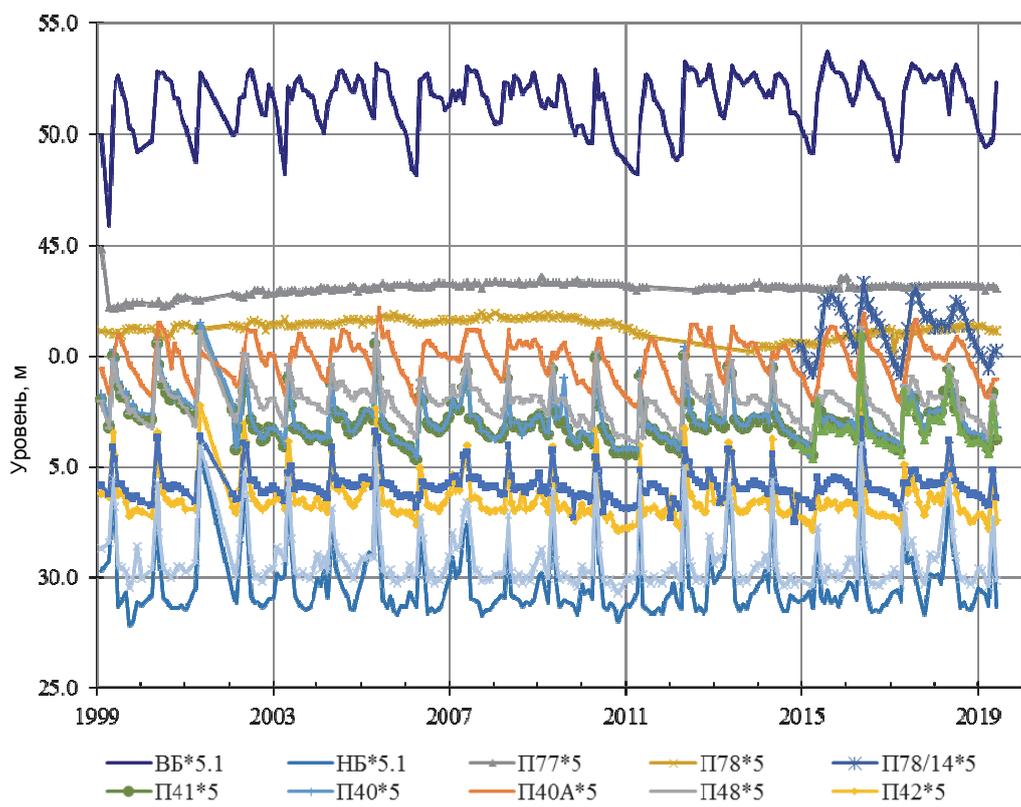


Рис. 2.4.3. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных в створе 1 дамбы №49

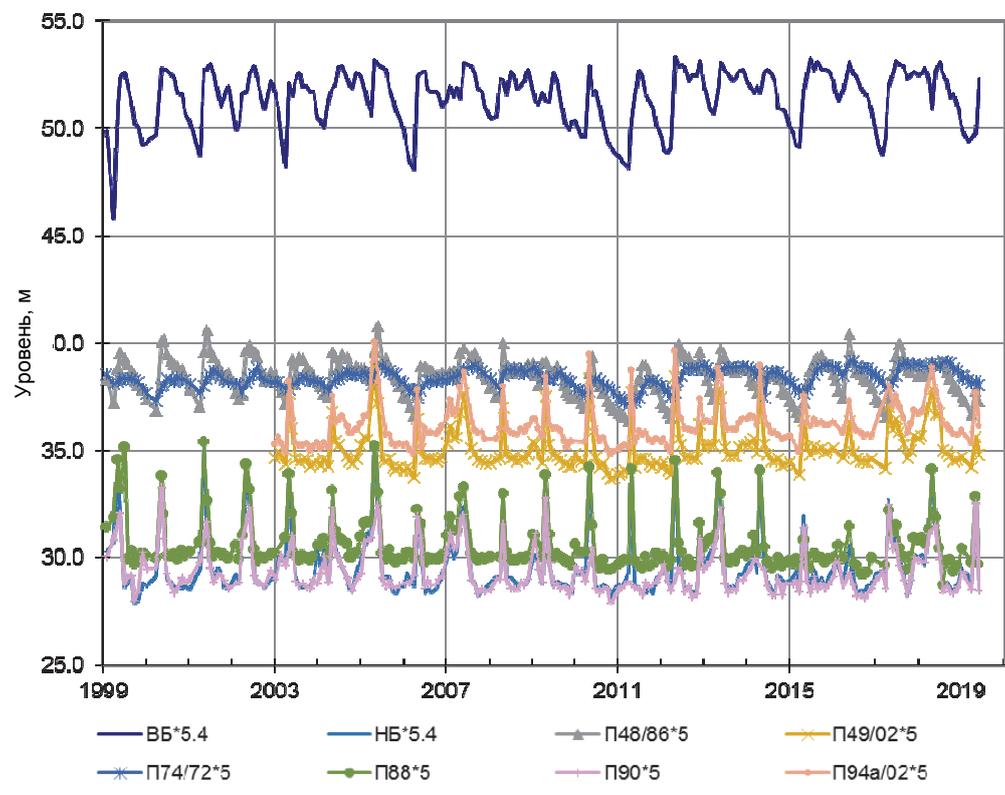


Рис. 2.4.4. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных в створе 4 дамбы №49

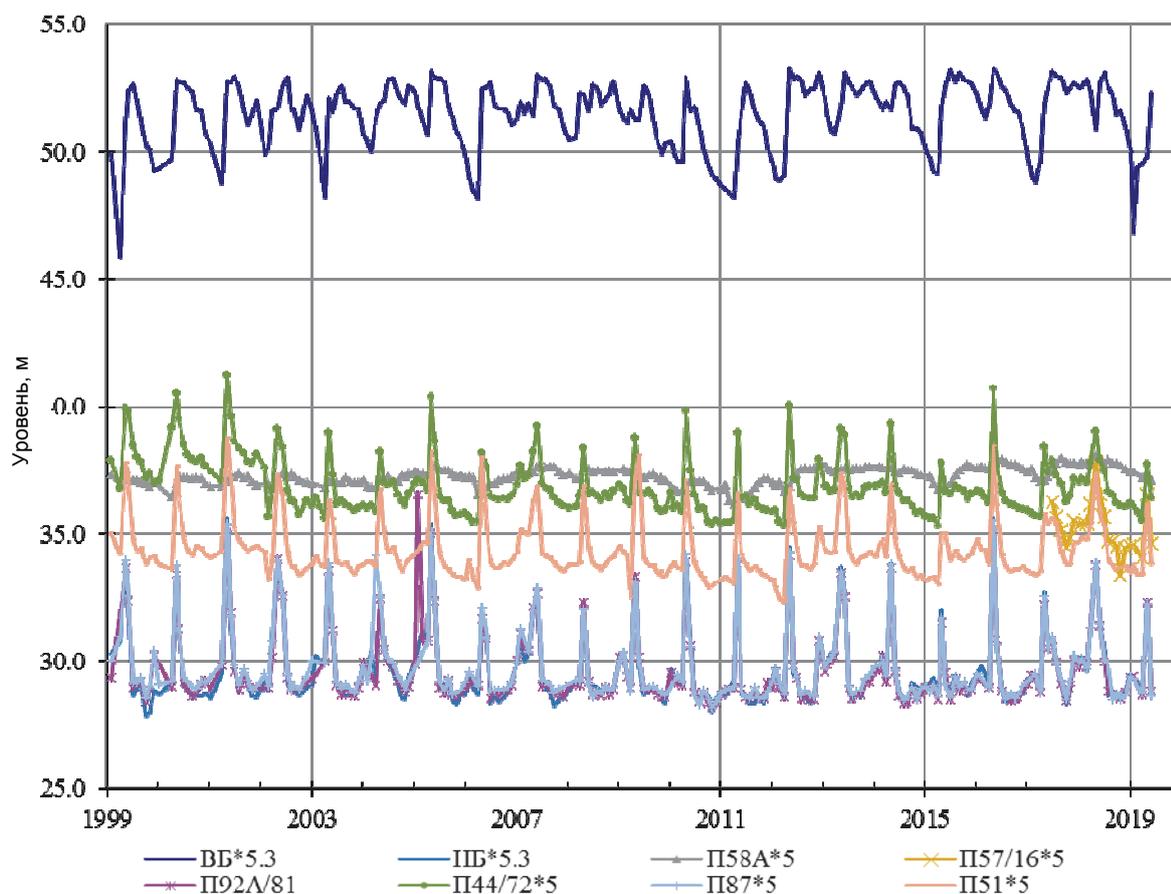


Рис. 2.4.5. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных в створе 3 дамбы №49

В таблице 2.4.2 представлены критериальные значения пьезометрических уровней в теле дамбы №49.

Таблица 2.4.2

Уровни воды в пьезометрах дамбы №49

№ п/п	№ створа	Область контроля	Наименование КИА	К1, м	К2, м
1	Контрольный створ	Гребень	П76*5	53,3	57,3
2		Гребень	П36А*5	42,8	44,4
3		Низовой откос	П34А/87	38,9	40,1
4		Низовой откос	П32А/87	38,2	45,0
5		Низовой откос	П86А*5	38,2	45,2

Сопоставление величин, полученных в ходе натуральных наблюдений, с критериальными значениями показало, что превышений критериальных значений не отмечается.

## 2.5. Фильтрационный режим в дамбе 50

На дамбе 50 замеры ведутся по 27 приборам (рис. 2.5.1). Кроме того, вблизи сопряжения с водосливной плотиной размещены 5 плит – марок – пьезометров, графики наблюдений по которым приведены на рис. 2.5.2. В таблице 2.5.1 приведены коэффициенты корреляции показаний пьезометров с уровнями бьефов. Как видно из таблицы, только по двум пьезометрам П5/78\*74 и П12/80\*7, коэффициенты корреляции очень низкие, что свидетельствует о их неудовлетворительной работе.

Большинство установленных пьезометров фиксируют уровни воды в теле дамбы на отм. от 31,0 до 39,0 м. Колебания уровней в пьезометрах синхронны с колебаниями уровней в нижнем бьефе (рис. 2.5.3). Исключение составляют показания пьезометров, расположенных вблизи верхнего бьефа (П13\*7, П14\*7). Уровни в этих пьезометрах синхронны с колебаниями уровней верхнего бьефа, и находятся в пределах отметок 37,0-45,0 м (рис. 2.5.4).

В целом, фильтрационный режим в теле дамбы имеет установившийся характер. Работоспособных пьезометров достаточно для осуществления контроля за состоянием сооружений.

Таблица 2.5.1

Коэффициенты корреляции показаний пьезометров дамбы 50 с уровнями ВБ и НБ

№ Створа	Корреляция от ВБ	Корреляция от ВБ
<b>Створ 1</b>		
П1*7.1	0.42	0.92
П2*7.1	0.44	0.80
П3*7.1	0.57	0.85
П4*7	0.71	0.48
П5/17*7	0.54	0.75
П5/78*7	0.35	0.05
П6/78*7	0.65	0.76
П7*7	0.31	0.97
П8*7	0.32	0.93
П9*7	0.37	0.95
П10*7	0.43	0.92
П11/80*7	0.45	0.89
П11А/72	0.49	0.91
П12/80*7	0.35	0.27
П13*7	0.89	0.28
П14*7.1	0.82	0.02
П15/80*7	0.47	0.85
П15А/80	0.48	0.92
П17/80*7	0.48	0.82
П18/80*7	0.48	0.81
П19*7	0.43	0.88
П42*7	0.46	0.91

№ Створа	Корреляция от ВБ	Корреляция от ВБ
<b>Створ 2</b>		
П1*7.2	0.23	0.96
П2*7.2	0.17	0.97
П3*7.2	0.15	0.94
П6/00*7.2	0.31	0.94
П14*7.2	0.22	0.95
ПМП1*7	0.89	0.34
ПМП2*7	0.90	0.33
ПМП3*7	0.86	0.13
ПМП4*7	0.46	0.91
ПМП5*7	0.42	0.93



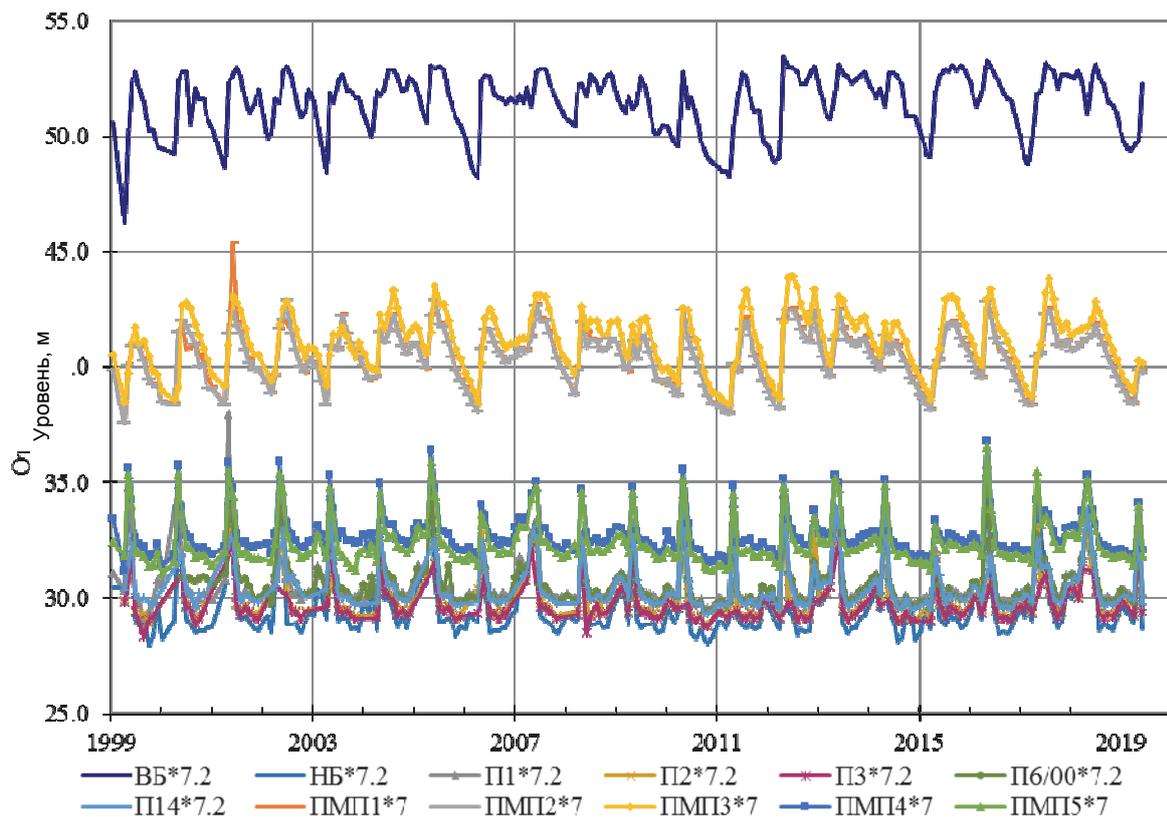


Рис. 2.5.2. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных в створе 2 дамбы №50

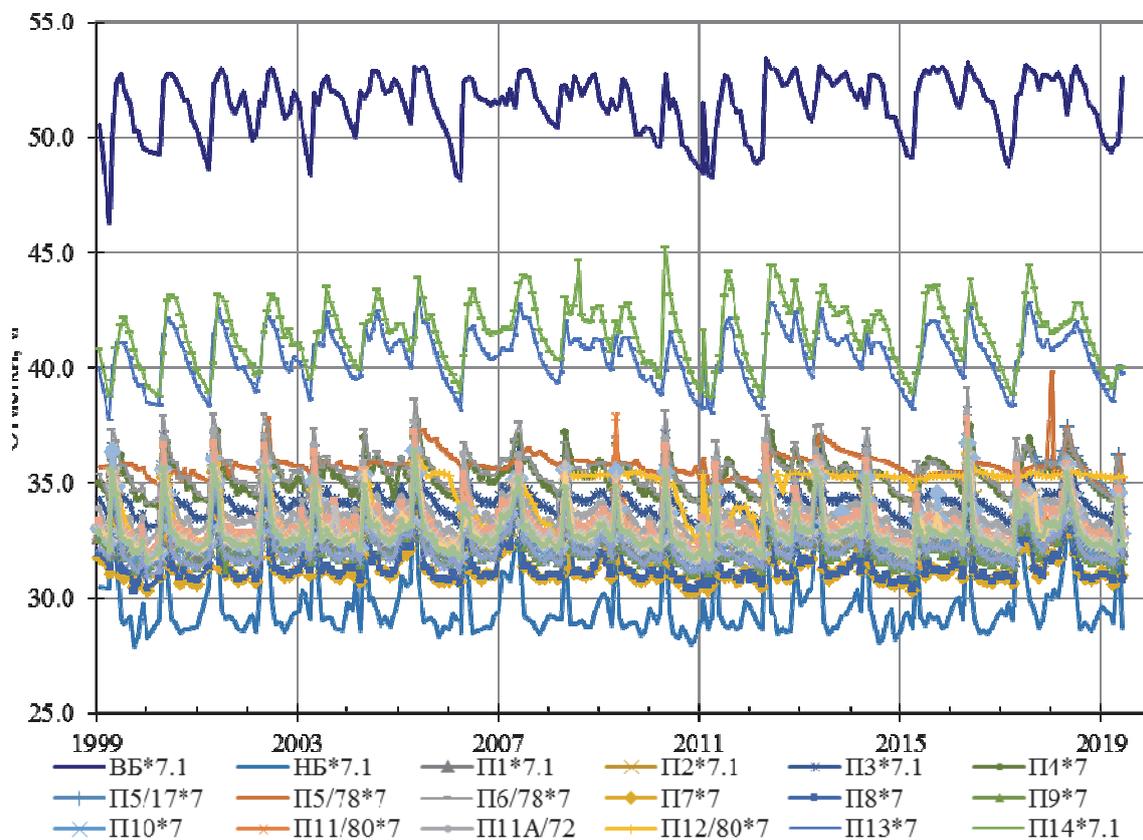


Рис. 2.5.3. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных на дамбе №50

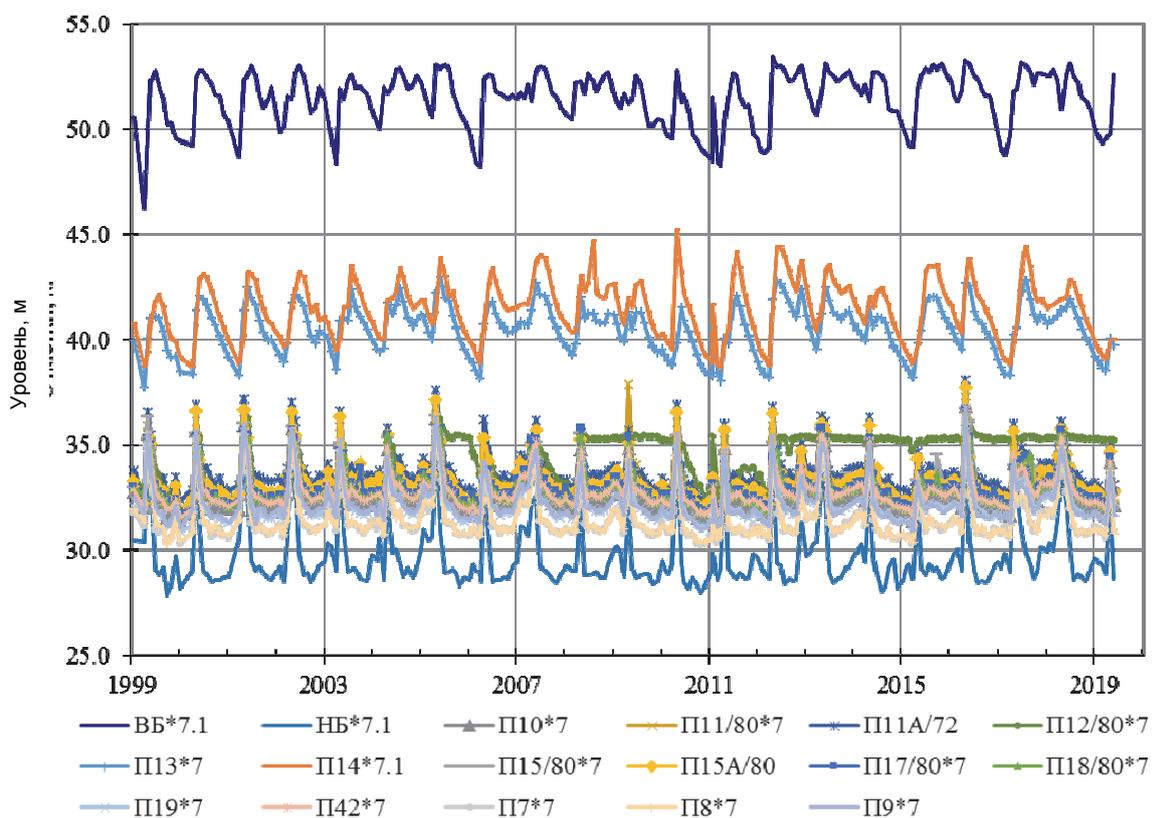


Рис. 2.5.4. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных в створе 1 дамбы №50

В таблице 2.5.2 представлены критериальные значения пьезометрических уровней в теле дамбы №50.

Таблица 2.5.2

Уровни воды в пьезометрах дамбы №50

№ п/п	№ створа	Область контроля	Наименование КИА	К1, м	К2, м
1	Контрольный створ	Гребень	П14*7.1	45,3	48,6
2		Гребень	П15/80*7	38,6	43,3
3		Гребень	П18/80*7	37,6	41,7
4		Низовой откос	П8*7	37,9	43,2
5		Низовой откос	П6/00*7.2	37,2	42,7

Сопоставление величин, полученных в ходе натуральных наблюдений, с критериальными значениями показало, что превышений критериальных значений не отмечается.

## 2.6. Фильтрационный режим в дамбе 53

Дамба 53 сопрягает грунтовую и водосливную плотины. Замеры выполняются по 52 пьезометрам.

Схема размещения пьезометров приведена на рис. 2.6.1. Пьезометры разделены на условные створы, графики измерения пьезометрических уровней за последние 20 лет приведены на рис. 2.6.2...2.6.8. На всех графиках характер изменения измеряемых в пьезометрах уровней синхронно соответствует характеру колебаний уровней воды в бьефах. Для количественной оценки влияния бьефов на показания пьезометров были вычислены коэффициенты корреляции (таблица 2.6.1). Невысокие коэффициенты корреляции наблюдаются по пьезометрам П9\*11 и П5\*11. Однако, около пьезометра П9\*11 пробурена новая скважина, оснащенная пьезометром П9/17\*11.П, по которой коэффициент корреляции вполне приемлем. По пьезометру П5\*11 были построены сопоставительные показания - графики двух вблизи расположенных пьезометров П4\*11 и П1/81\*11. Как видно из сопоставления (рис. 2.6.9) измеренные уровни по П5\*11 близкие, как по характеру, так и по величине к значениям уровней двух других пьезометров. Амплитуда колебаний уровней у П5\*11 не превышает 1,5 м, в то время как у двух других она составляет 2-4 м.

По всем пьезометрам за последние 20 лет уровни воды не изменялись и характер колебаний их в зависимости от изменения уровня бьефов остался постоянным.

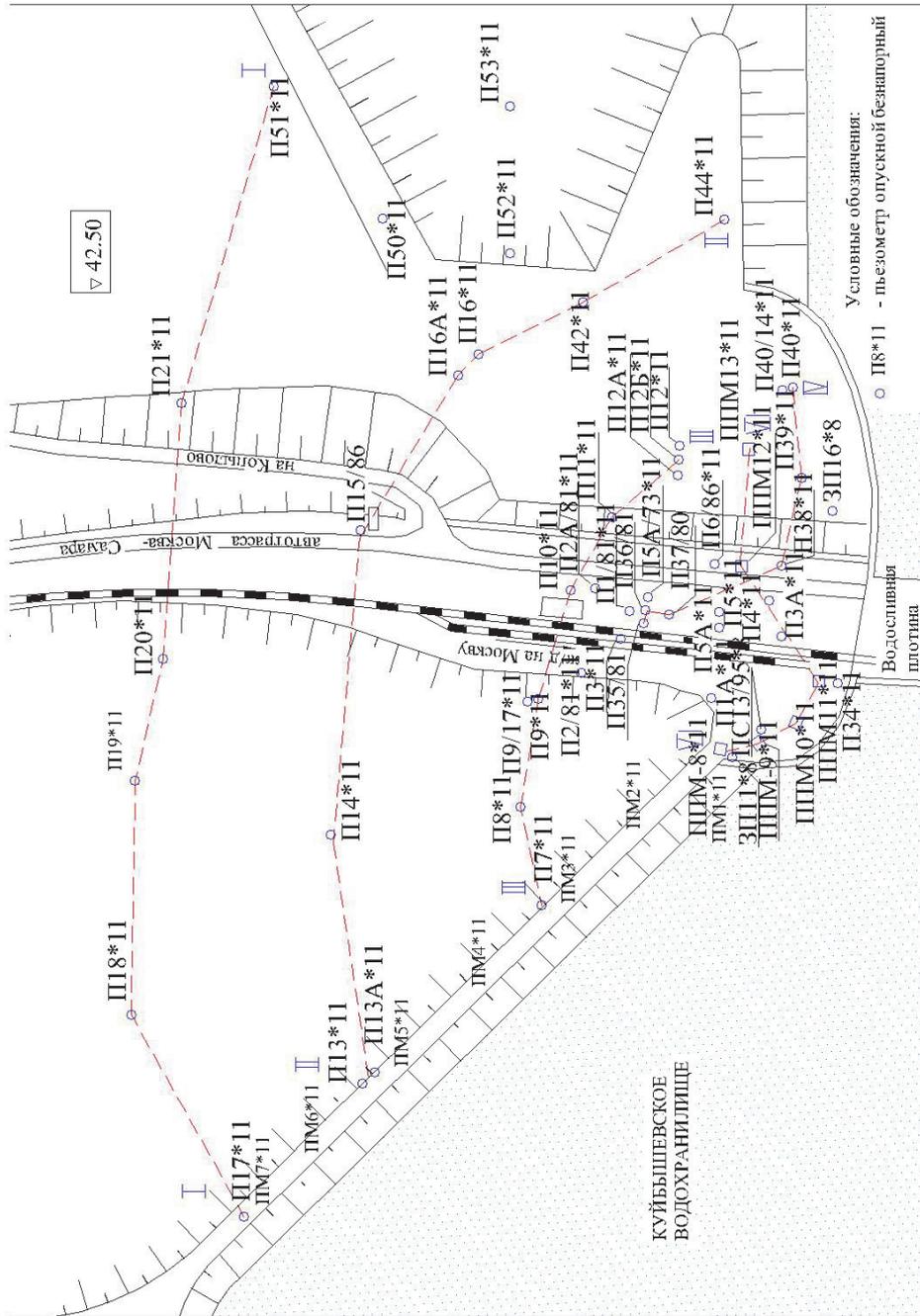


Рис. 2.6.1. Схема размещения пьезометров на дамбе №53

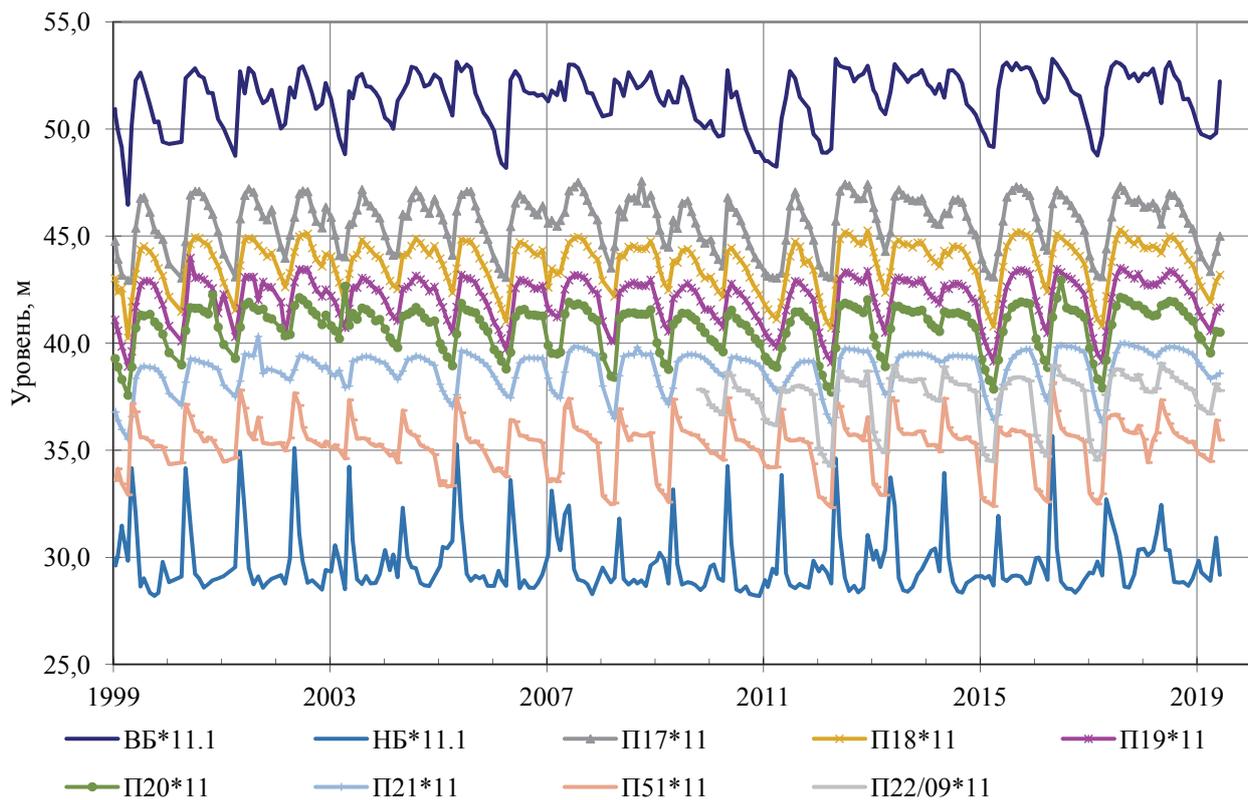


Рис. 2.6.2. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных в створе 1 дамбы №53

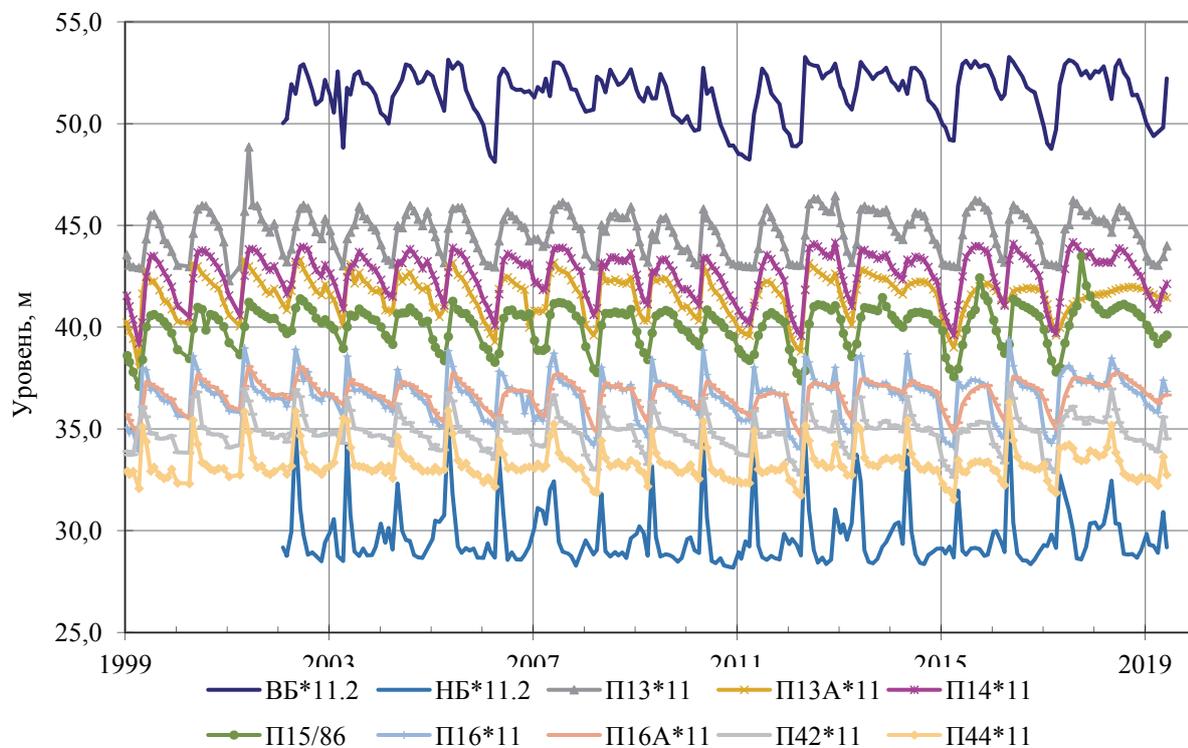


Рис. 2.6.3. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных в створе 2 дамбы №53

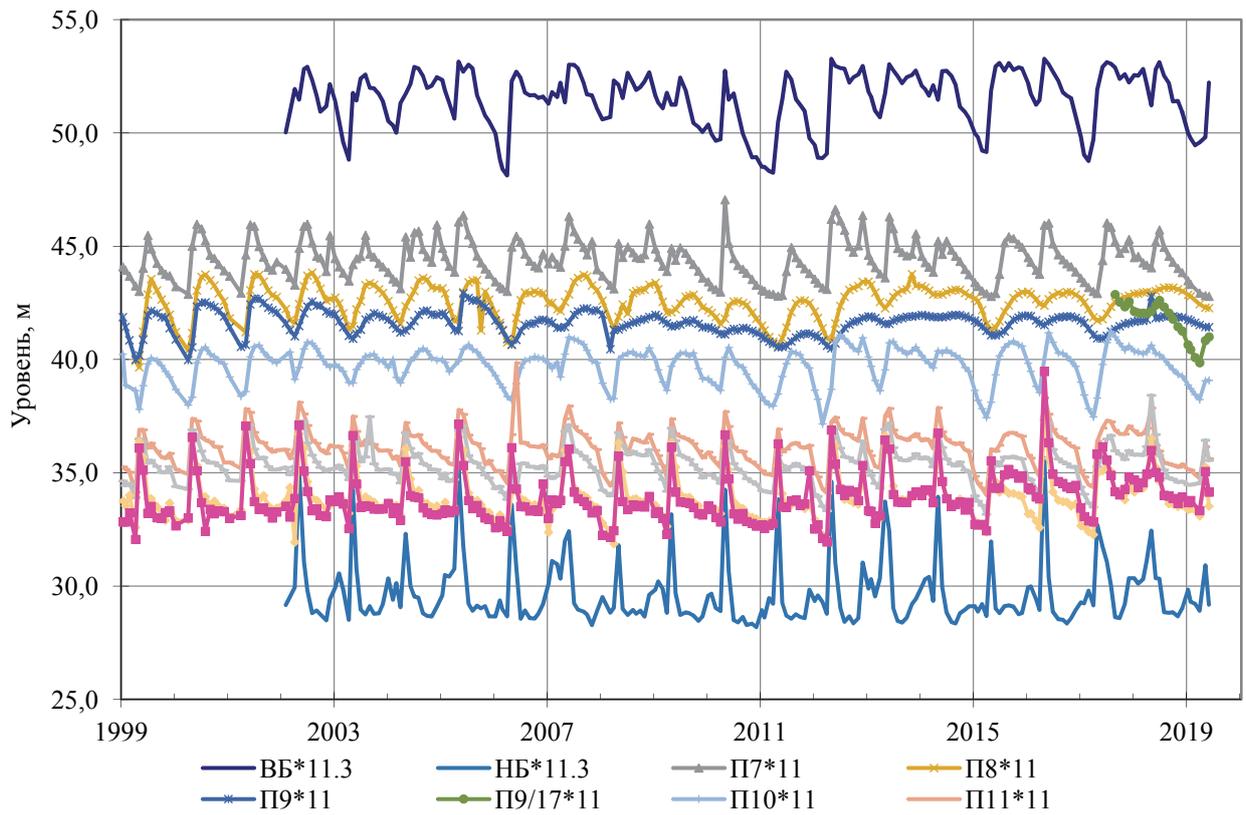


Рис. 2.6.4. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных в створе 3 дамбы №53

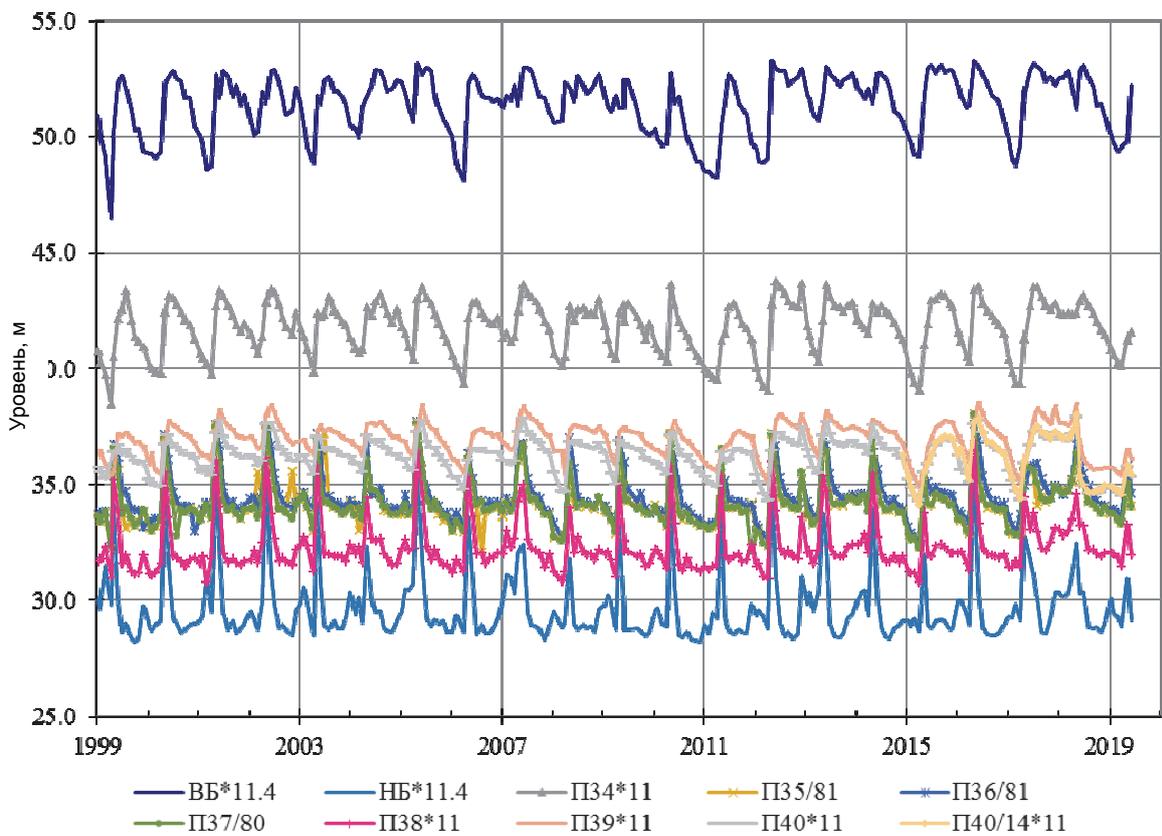


Рис. 2.6.5. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных в створе 4 дамбы №53

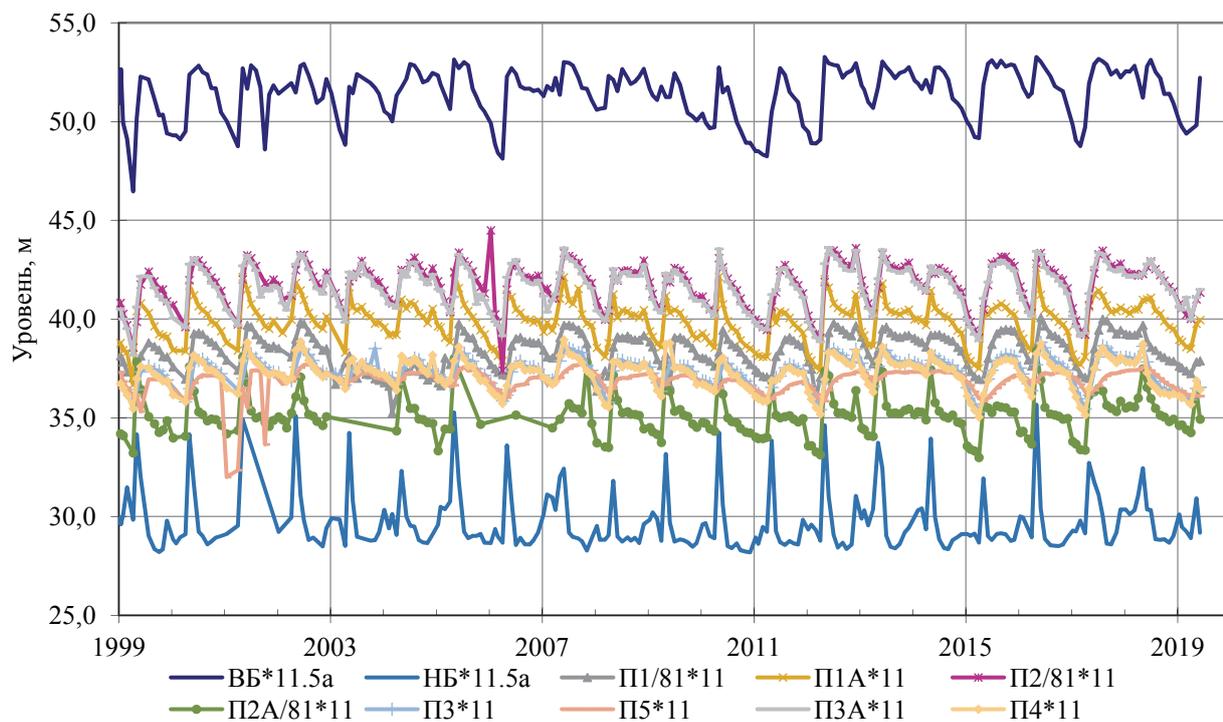


Рис. 2.6.6. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных в створе 5а дамбы №53

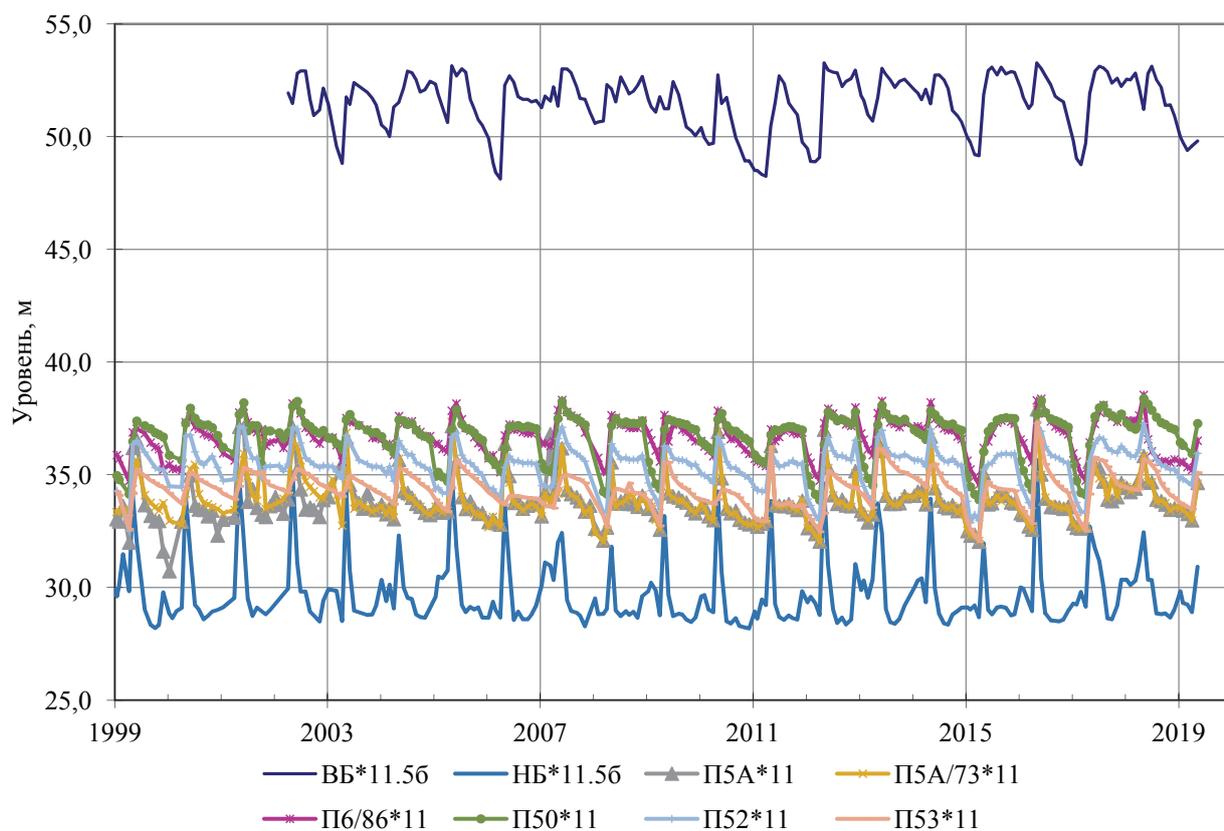
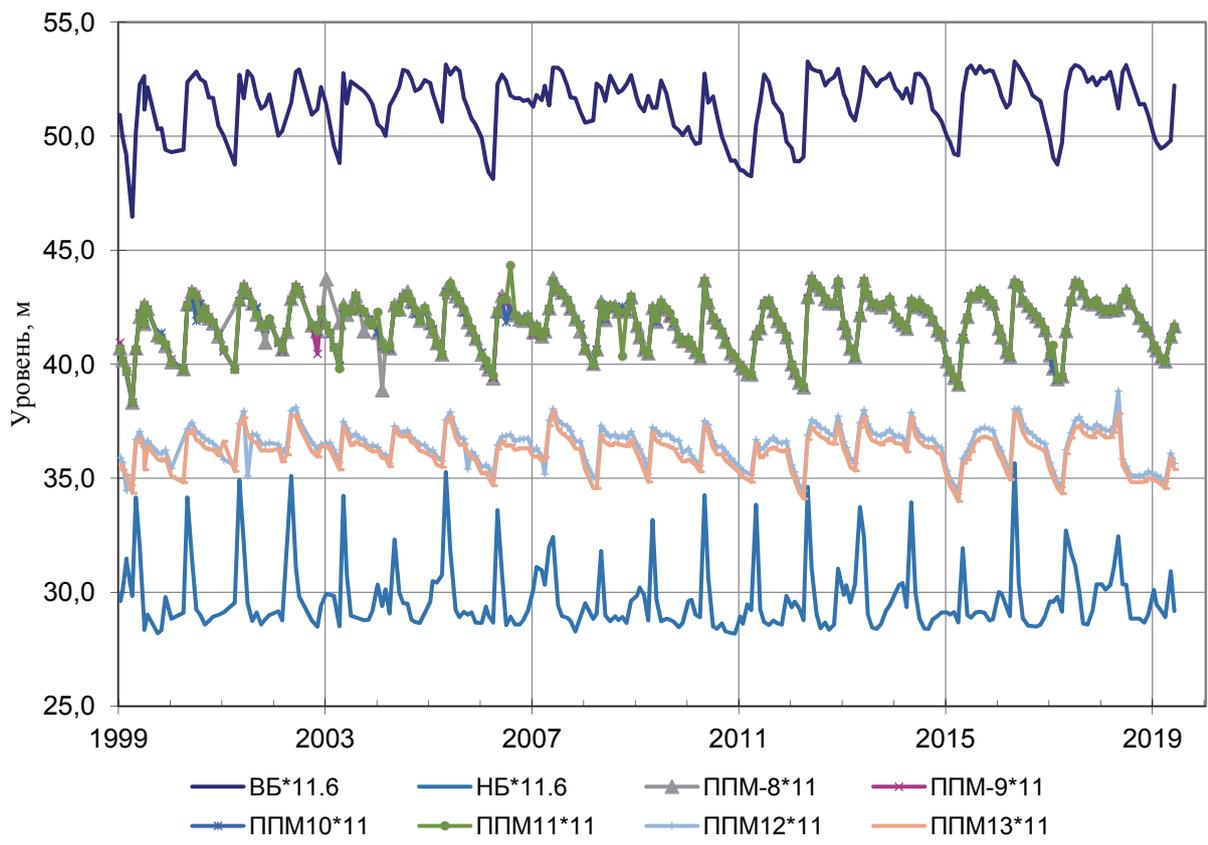


Рис. 2.6.7. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных в створе 5б дамбы №53



**Рис. 2.6.8. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных в створе 6 дамбы №53**

Таблица 2.6.1

## Коэффициенты корреляции показаний пьезометров дамбы 53 с уровнями ВБ и НБ

№ Створа	Корреляция от ВБ	Корреляция от НБ	№ Створа	Корреляция от ВБ	Корреляция от НБ
<b>Створ 1</b>			<b>Створ 5а</b>		
П17*11	0.89	-0.02	П1/81*11	0.58	-0.07
П18*11	0.84	-0.06	П1А*11	0.83	0.51
П19*11	0.77	-0.10	П2/81*11	0.84	0.07
П20*11	0.70	-0.07	П2А/81*11	0.58	0.67
П21*11	0.53	-0.30	П3*11	0.70	-0.04
П51*11	0.56	0.44	П5*11	0.43	-0.14
П22/09*11	0.69	0.19	П3А*11	0.88	0.22
<b>Створ 2</b>			П4*11	0.73	0.25
П13*11	0.84	-0.01	<b>Створ 5б</b>		
П13А*11	0.68	0.16	П5А*11	0.49	0.81
П14*11	0.83	0.02	П5А/73*11	0.54	0.77
П15/86	0.60	-0.18	П6/86*11	0.73	0.40
П16*11	0.65	0.48	П50*11	0.60	0.14
П16А*11	0.59	-0.07	П52*11	0.66	0.43
П42*11	0.65	0.57	П53*11	0.60	0.25
П44*11	0.50	0.78	<b>Створ 6</b>		
<b>Створ 3</b>			ППМ-8*11	0.88	0.25
П7*11	0.77	0.27	ППМ-9*11	0.91	0.23
П8*11	0.44	-0.27	ППМ10*11	0.90	0.23
П9*11	0.28	-0.20	ППМ11*11	0.89	0.23
П9/17*11	0.91	0.16	ППМ12*11	0.70	0.36
П10*11	0.74	-0.04	ППМ13*11	0.72	0.42
П11*11	0.70	0.52			
П12*11	0.64	0.49			
П12А*11	0.52	0.73			
П12Б*11	0.54	0.80			
<b>Створ 4</b>					
П34*11	0.90	0.19			
П35/81	0.51	0.79			
П36/81	0.56	0.72			
П37/80	0.53	0.82			
П38*11	0.41	0.92			
П39*11	0.72	0.15			
П40*11	0.69	0.33			
П40/14*11	0.68	0.33			

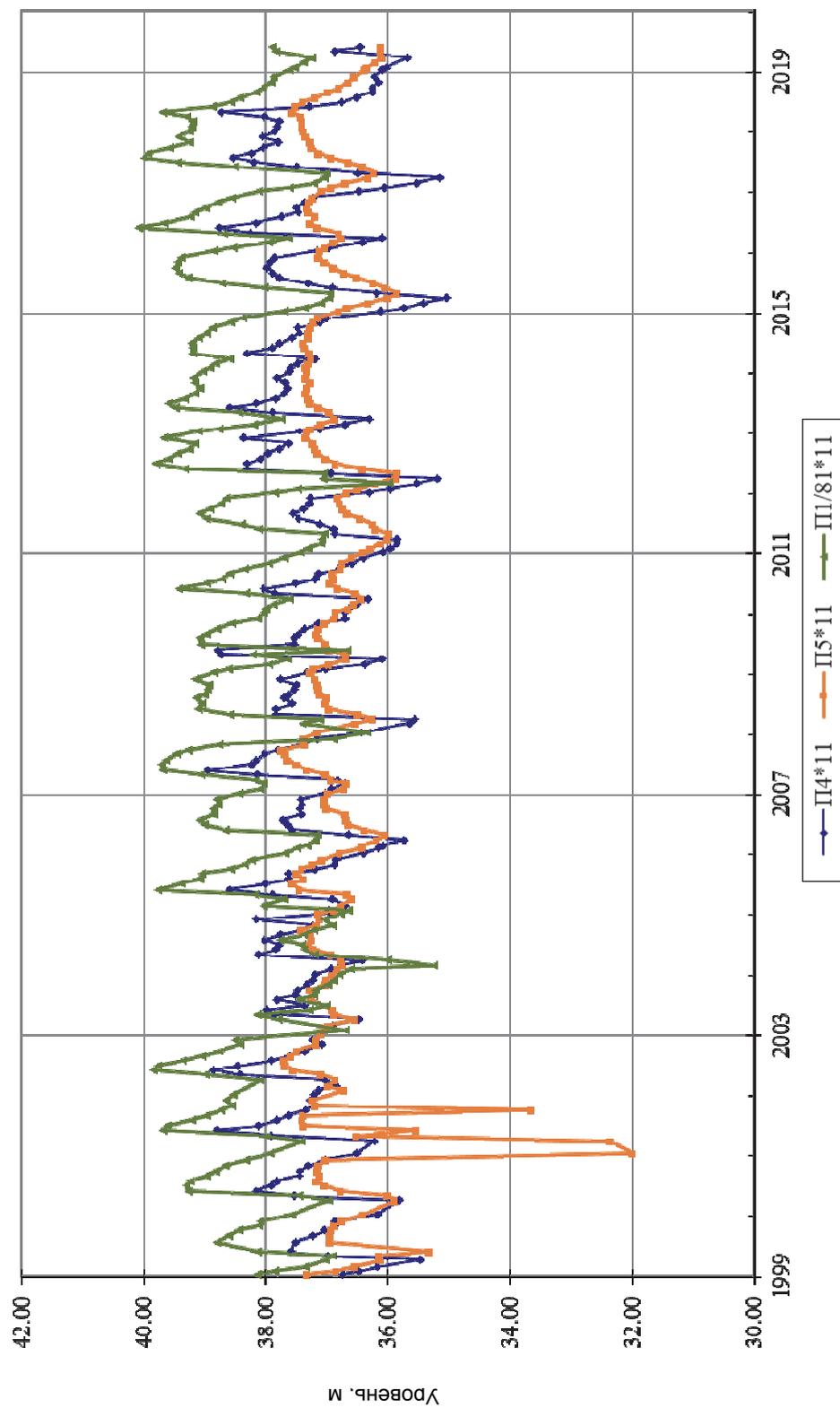


Рис. 2.6.9. Графики изменения показаний пьезометров, расположенных на дамбе №53

Все это свидетельствует о стабилизировавшемся фильтрационном режиме и работоспособности дамбы 53. Действующие пьезометры обеспечивают полный контроль состояния дамбы 53, размещение дополнительных пьезометров не требуется.

В таблице 2.6.2 представлены критериальные значения пьезометрических уровней в теле дамбы №53

Таблица 2.6.2

**Уровни воды в пьезометрах дамбы №53**

№ п/п	№ створа	Область контроля	Наименование КИА	К1, м	К2, м
1	Контрольный створ	Гребень	П13*11	47,3	49,4
2		Гребень	П14*11	45,6	48,3
3		Гребень	П15/86	44,2	46,3
4		Низовой откос	П16*11	40,9	45,0
5		Низовой откос	П42*11	39,2	43,0
6		Низовой откос	П44*11	37,8	41,7

Сопоставление величин, полученных в ходе натурных наблюдений, с критериальными значениями показало, что превышений критериальных значений не отмечается.

## ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ

В рамках выполнения работ была пройдена одна инженерно-геологическая скважина глубиной 5 метров из потерны секции 4 здания ГЭС.

В процессе бурения скважины был проведен отбор образцов бетона и подстилающих грунтов. Всего было отобрано 3 образца бетона и 6 образцов связанного дисперсного грунта основания.

Представлено описание пройденной скважины и результаты лабораторных испытаний отобранных образцов бетона и грунта.

### ОПИСАНИЕ ПРОЙДЕННОЙ СКВАЖИНЫ

В процессе бурения скважины проведено подробное описание выбуренного керна.

От устья скважины и до глубины 5,0 метров залегают следующие породы:

1. Отметки 0,0-3,5 м. Бетон тяжелый, армированный с заполнителем из щебня. На глубине 1,75-1,8 метра зафиксирован провал инструмента. Пройденный бетон приведен на Фото 1.



Фото 1. Бетон основания плотины

Нижний контакт бетона с грунтами основания плотный, без перерыва.

2. Отметки 3,5-3,7 м. Суглинок легкий, текучепластичный, серый, алевритовый, с запахом сероводорода и выступающей капиллярной влагой.

3. Отметки 3,7-4,75 м. Переслаивание глин легких, полутвердых, алевритистых, темно-серых до черных с мягкопластичными суглинками аналогичного облика. В подошве слоя – пластичная супесь. Практически весь поднятый керн отобран для лабораторных исследований. На Фото 2 приведено фото контакта между бетоном и грунтами основания. Для наглядности образцы расположены рядом.



**Фото 2. Контакт бетона и грунта основания**

4. Отметки 4,75 м и далее. Песок гравелистый (песчано-дресвяный грунт), преимущественно серый, водонасыщенный (Фото 3). Отбор образцов данного грунта не представляется возможным из-за высокого давления грунтовых вод.



**Фото 3. Песок гравелистый**

Результаты лабораторных исследований, отобранных образцов приведены в Приложении А.

## ВЫВОДЫ

1. В рамках проведения многофакторных исследований гидротехнических сооружений Жигулевской ГЭС был выполнен анализ данных натурных наблюдений за поведением гидротехнических сооружений Жигулевской ГЭС.

2. Контроль за деформациями здания ГЭС и сопрягающих устройств осуществляется по 361-й осадочной марке, 76-и щелемерам и 30-ти створным знакам.

Для наблюдений за осадками здания ГЭС и сородерживающего сооружения на них были размещены поверхностные бетонные марки и щелемеры, установленные в 6-ти продольных створах.

Все марки располагались в непосредственной близости от межсекционных швов. Таким образом, они позволяли определить не только общую осадку, но и неравномерную осадку каждой секции здания ГЭС, как в поперечном, так и в продольном направлениях.

Наблюдаемые осадки здания ГЭС соответствуют геологии основания. Основная осадка здания ГЭС произошла до 1975 г., то есть относится к периоду окончания строительства и наполнения водохранилища. За последние 44 года эксплуатации интенсивность осадок всех секций составляла 0,8 мм/год. Только по секции 9 в примыкании к грунтовой плотине интенсивность осадки составляла 1,1 мм/год до 2003 г. После 2003 г. интенсивность осадок по всем маркам снизилась.

Максимальная неравномерность осадки здания ГЭС за весь период наблюдений не превышала 150 мм на длине 130 м. Основная неравномерность осадки формировалась в основании пристройки только по секциям 1 и 9, по остальным секциям осадка их в направлении вдоль потока была равномерной.

В целом осадки здания ГЭС следует считать затухающими. Количество марок, установленных для контроля осадок, полностью обеспечивает предъявляемые требования по оценке деформации секции здания ГЭС.

3. Для наблюдения за осадками водосливной плотины размещены 2 створа поверхностных марок и 2 створа щелемеров. Кроме того, в потерне водосливной плотины располагается створ щелемеров и створных знаков. Всего на водосливной плотине установлено 143 марки и 67 щелемеров. Полные осадки водосливной плотины по показаниям щелемеров составляют

на текущий момент 175...230 мм, по показаниям осадочных марок – 160 ... 200 мм. Разница в осадках объясняется тем, что осадочные марки были установлены позже щелемеров. Основная осадка плотины произошла в период строительства и в первый период эксплуатации.

К 1969 году осадки водосливной плотины, измеренные по щелемерам, находились в пределах 165 ... 200 мм, по маркам – в пределах 145 ... 180 мм. За последующие 50 лет (до 2019 г.) осадка секции водосливной плотины увеличилась всего на 20 ... 30 мм. Осадка водосливной плотины по ее длине достаточно равномерна; исключения составляют секции 1 и 2, где наблюдается увеличение осадки, связанное с наличием в основании этих секций глинистых песков и глин. После 1969 года интенсивность осадки по средним секциям не превышает 0,2 ... 0,3 мм в год, по примыкающим к устоям секциям интенсивность осадки составляет 0,5 ... 0,6 мм в год. В целом, характер изменения осадок секций водосливной плотины свидетельствует о процессе их затухания.

Установленная КИА полностью обеспечивает контроль состояния водосливной плотины при всех режимах работы.

4. Для контроля за осадками земляная плотина оснащена большим количеством грунтовых марок (ПК) и рабочих реперов (РР), оставшихся от строительного периода. Грунтовые марки размещены на гребне плотины через каждые 100 м по длине. Кроме того, в пяти поперечных створах размещены по три марки ПГМ для определения осадок в поперечном направлении. Для контроля осадок основания по подошве земляной плотины были заложены глубинные плиты - марки, с помощью которых можно было разделить осадку тела плотины и основания. Глубинные марки были размещены по четыре плиты-марки во II, III, IV створах, по две плиты – марки в створах V и VII и одна плита-марка в створе VIII.

Всего на плотине для контроля за осадками установлено 82 измерительных устройства (поверхностные марки, плиты-марки, рабочие реперы).

Осадки всех марок имеют слабозатухающий характер. В пойменной части их значения находятся в диапазоне от 145 до 190 мм на середину 2018 г. В русловой части максимальные значения осадок достигают 230 мм (ПК 34 и ПК 38). Интенсивность осадок марок в пойменной части оставляет 2,2 мм/год, а в русловой части 3,0 мм/год.

Осадка основания за строительный и эксплуатационный периоды составила 360...410 мм.

Интенсивность осадок плит-марок, начиная с 1978 года, составляет 0,8 мм/год в то время, как поверхностная марка на гребне плотины в этом месте фиксирует 1,6 мм/год.

В целом, осадки земляной плотины еще продолжаются, причем интенсивность осадки основания плотины составляет 1,5 мм/год, и примерно с такой же интенсивностью консолидируются грунты тела плотины.

Установленные геодезические измерительные приборы полностью обеспечивает контроль деформаций земляной плотины.

5. Для контроля фильтрационного режима по подошве здания ГЭС были размещены шесть створов закладных пьезометров. Эти пьезометры измеряют фильтрационное противодавление по подошве сооружения в пределах каждой из секций здания. Наблюдения показали, что противодавление под фундаментной плитой и понуром различается от секции к секции, что связано с геологией основания. Анкерный понур расположен на слабоводопроницаемых грунтах, верховой зуб врезан в водоупорные глины, а наиболее водопроницаемые грунты расположены со стороны нижнего бьефа, выполняя функции естественной дрены под зданием ГЭС. Фильтрационный режим в основании здания ГЭС под разными секциями различен. Так, шпунт под фундаментной плитой СУС и анкерный понур под секциями 1, 5, 6, 7 гасят 20-30% напора, под секциями 8-10 - 30-40%, а под секциями 3 и 4 напор гасится незначительно. Указанный характер фильтрационного режима свидетельствует о том, что противofильтрационные элементы на входном участке здания ГЭС в конкретных геологических условиях оказались не очень эффективными.

Наибольшие градиенты фильтрационного напора наблюдаются на верховом зубе фундаментной плиты здания ГЭС и составляют под секцией 3-0,74, а под секцией 4 – 0,60. Учитывая, что допустимые градиенты напор для Кеннельских глин составляет 1,35, максимальные измеренные значения градиентов фильтрации меньше допустимых.

Установленная фильтрационная КИА обеспечивает контроль фильтрационного режима здания ГЭС.

6. Для контроля фильтрационного режима в основании водосливной плотины по ее подошве установлено 6 рядов закладных пьезометров: ряд П-2

непосредственно за понурным шпунтом, ряд П-1 в середине понура, П-3 перед королёвым шпунтом, П-4 – за королёвым шпунтом, П7 и П8 под фундаментной плитой плотины со стороны нижнего бьефа.

Всего фильтрационный режим в основании контролируется 175 напорными и 10 безнапорными пьезометрами. В последние годы большая часть пьезометров (130 напорных) была автоматизирована, что позволило контролировать изменение фильтрационного потока в режиме реального времени.

За последние 50 лет измеренные значения пьезометрических уровней практически не менялись. Для оценки фильтрационной прочности основания были проверены градиенты фильтрации по контакту фундаментной плиты. Все фактические градиенты напора по своим значениям находятся ниже допустимых для данного вида грунта.

Установленная на водосливной плотине контрольно-измерительная фильтрационная аппаратура работоспособна и обеспечивает надежный контроль безопасной эксплуатации сооружения.

7. Для контроля фильтрационного режима в теле и основании земляной плотины установлено 6 створов пьезометров по 4 пьезометра в каждом створе. Расстояние между створами 400 м. Часть пьезометров заглублена в основание, однако и они фиксируют уровни воды, соответствующие отметкам депрессионной поверхности в теле плотины.

По показаниям всех пьезометров депрессионная поверхность имеет линейно понижающийся характер в сторону НБ, одинаковый по всем шести створам. понижаясь на 1-2 м за последние 20 лет Исключение составляет створ IV-VI, в котором кривая расположена выше примерно на 2,5 м относительно других створов.

По данным наблюдений можно констатировать, что фильтрационный режим в теле и в основании земляной плотины является установившемся. Положение фактической депрессионной кривой в теле плотины существенно ниже расчетной кривой.

Крепление верхового откоса железобетонными плитами обеспечивает падение напора на 10-12 м.

**Фильтрация в дамбе 49.** На дамбе 49 замеры снимаются по 52 приборам.

Все пьезометры фиксируют положение депрессионной кривой на отм. 29,0...42,0 м. Исключение составляют пьезометры, расположенные в непосредственной близости от водохранилища (П81А\*5, П81\*5, П76\*5, П39А/72), показания которых синхронны с колебаниями уровней верхнего бьефа и близки к ним по значениям.

Фильтрационный режим в теле дамбы 49 за последние 20 лет носит установившийся характер.

Имеющееся количество работоспособных пьезометров обеспечивает надежный контроль состояния дамбы.

**Фильтрация в дамбе 50.** На дамбе 50 замеры ведутся по 27 приборам. Кроме того, вблизи сопряжения с водосливной плотиной размещены 5 плит – марок – пьезометров.

Большинство установленных пьезометров фиксируют уровни воды в теле дамбы на отм. 31,0...39,0 м. Колебания уровней в пьезометрах синхронны с колебаниями уровней в нижнем бьефе (рис. 2.5.2). Исключение составляют показания пьезометров, расположенных вблизи верхнего бьефа (П13\*7, П14\*7, ПМП1\*7, ПМП2\*7, ПМП3\*7), уровни воды в которых синхронны с колебаниями уровней верхнего бьефа, и находятся в пределах отм. 37,0...45,0 м.

В целом, фильтрационный режим в теле дамбы 50 имеет установившийся характер. Работоспособных пьезометров достаточно для осуществления контроля за состоянием сооружений.

**Фильтрация в дамбе 53.** Дамба 53 сопрягает грунтовую и водосливную плотины. Замеры выполняются по 52 пьезометрам.

По всем пьезометрам за последние 20 лет уровни воды не изменялись и характер колебаний их в зависимости от изменения уровня бьефов остался постоянным.

Все это свидетельствует о стабилизировавшемся фильтрационном режиме и работоспособности дамбы 53. Действующие пьезометры обеспечивают полный контроль состояния дамбы 53, размещение дополнительных пьезометров не требуется.

Установленная на земляной плотине и на дамбах контрольно-измерительная фильтрационная аппаратура работоспособна и обеспечивает контроль фильтрационного режима.

8. Сопоставление величин, полученных в ходе натуральных наблюдений, с критериальными значениями показало, что превышений критериальных значений не отмечается.

9. В рамках проведения многофакторных исследований гидротехнических сооружений Жигулевской ГЭС были выполнены лабораторные испытания образцов бетона фундаментной плиты здания ГЭС и грунтов основания (в пределах секции 4).

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В соответствии с каким законом РФ требуется обеспечение безопасности ГТС?
2. Какие характерные особенности имеют здания ГЭС?
3. Какие виды натурных наблюдений проводятся на зданиях ГЭС?
4. Какие особенности имеют бетонные водосливные плотины?
5. Какая контрольно-измерительная аппаратура применяется для проведения геодезических наблюдений на бетонной водосливной плотине?
6. Какие особенности имеют грунтовые (земляные) плотины?
7. Что входит в состав натурных наблюдений за состоянием грунтовых сооружений?
8. Чем отличаются плита-марки от поверхностных марок, используемых в целях натурных наблюдений за грунтовыми сооружениями?
9. Назовите основные виды натурных наблюдений за состоянием ГТС.
10. Какие приборы применяются при натурных наблюдениях за фильтрационным режимом грунтовых гидротехнических сооружений?
11. Какие приборы применяются при натурных наблюдениях за фильтрационным режимом бетонных гидротехнических сооружений?
12. Каким образом производится отбор образцов бетона?
13. Какие физико-механические характеристики бетона определяются при испытаниях образцов бетона в лабораторных условиях?
14. Какие приборы применяются при натурных наблюдениях за фильтрационным режимом гидротехнических сооружений?
15. Каким образом производится отбор образцов грунта?
16. Какие физико-механические характеристики грунтов определяются при испытаниях образцов грунтов в лабораторных условиях?
17. Для каких целей разрабатываются критерии безопасности гидротехнических сооружений?
18. Каким образом используются критерии безопасности при оценке состояния гидротехнических сооружений?

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
«Результаты лабораторных исследований»



Ведомость результатов анализа физических свойств грунтов (продолжение)

Лаб. № пробы	№ выработки	Глубина отбора пробы, м	Коэффициент пористости			Влажность на гр. текучести, %	Влажность на гр. раскатывания, %	Число пластичности	Показатель текучести	Степень влажности, д.с.	Угол откоса, град.		Коэф. фильтр., м/сут			Отн. содержание органич. веществ, %	Наименование грунта по ГОСТ 25100-2011
			природного сложения	в макс. рыхлом состоянии	в макс. плотном состоянии						в природного сложения	в макс. рыхлом состоянии	в макс. плотном состоянии	в возд.-сухом состоянии	под водой		
			$e$	$e_{\max}$	$e_{\min}$	$W_L$	$W_p$	$I_p$	$I_c$	$I_s$	$\phi_s$	$\phi_w$	$K_{ф}$	$K_{ф, \max}$	$K_{ф, \min}$		
4-3,6	4	3,6				28,58	21,09	7,49	0,87								Суглинок легк. текучеplastич.
4-4,1	4	4,1				38,56	21,21	17,35	0,14								Глина легк. полутверд.
4-4,25	4	4,3				31,55	20,55	11,00	0,53								Суглинок легк. мягкоplastич.
4-4,4	4	4,4				30,29	19,39	10,90	0,52								Суглинок легк. мягкоplastич.
4-4,55	4	4,6				41,24	24,08	17,16	0,13								Глина легк. полутверд.
4-4,7	4	4,7				15,69	11,69	4,00	0,70								Супесь пластич.

Бетон

№ п/п	Лаб. №	Скважина	Глубина отбора образцов, м	Естественная влажность		Плотность грунта $\rho$ г/см <sup>3</sup>	Плотность водонасыщенного грунта $\rho_w$ г/см <sup>3</sup>	Плотность скелета грунта $\rho_d$ г/см <sup>3</sup>	Плотность твердой компоненты	Пористость п д.с.	Водопоглощение $W_n$ %	Прочность на сжатие в естественном состоянии		Наименование грунта по ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация
				W %	$R_c$ МПа									
1	1.1	секция 4	0,8-1,0		2,34							43,90		
2	2.1	секция 4	1,75-1,95		2,37							56,44		
3	3.1	секция 4	3,1-3,3		2,38							59,58		

Заказчик: ООО "МАСТЕРПРОЕКТ"  
 Наименование объекта: Жигулевская ГЭС  
 Наименование используемого метода/методики: ГОСТ 12248-2010 п. 5.4; 5.1

**Испытание грунтов методом компрессионного сжатия и одноплоскостного среза**

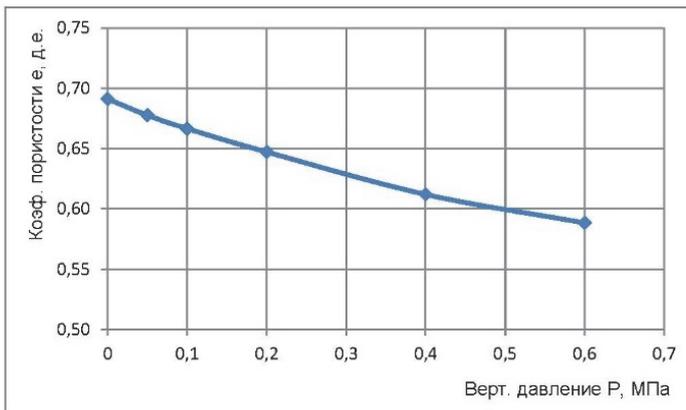
Лабораторный номер: 1  
 Номер скважины: 4  
 Глубина отбора, м: 4,1  
 Наименование грунта: глина полутвер.

$W_e$ , д.е. = 0,236  
 $\rho$ , г/см<sup>3</sup> = 1,98  
 $\rho_s$ , г/см<sup>3</sup> = 2,71  
 $e$ , д.е. = 0,69  
 $I_L$ , д.е. = 0,14

**Данные компрессионных испытаний**

Верт. давление P, МПа	Относит. деформ. $\epsilon$ , д.е.	Коэф. пористости $e$ , д.е.	Коэф. сжимаемости $m_0$ , МПа <sup>-1</sup>
0		0,69	
0,05	0,008	0,68	0,27
0,1	0,015	0,67	0,22
0,2	0,026	0,65	0,19
0,4	0,047	0,61	0,18
0,6	0,061	0,59	0,12

**Результаты испытаний**

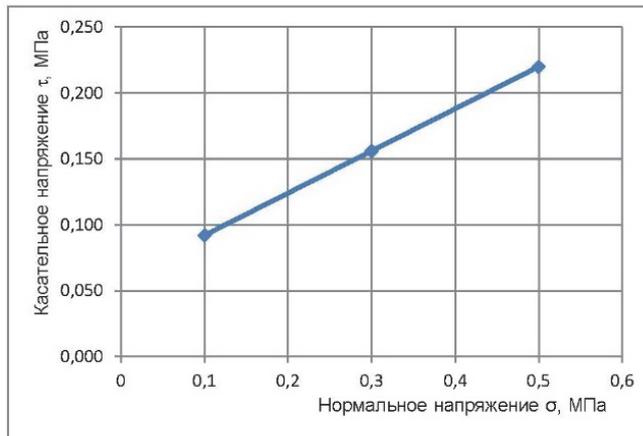


Одометрический модуль деформации  $E_{oed(0,1-0,2)}$ , МПа = 8,61  
 Компрессионный модуль деформации  $E_{k(0,1-0,2)}$ , МПа = 3,44  
 Одометрический модуль деформации  $E_{oed(0,1-0,2)}$  с учетом  $m_{oed}$ , МПа = 20,66

Коэффициент  $\beta$  = 0,40  
 Коэффициент  $m_{oed}$  = 2,40

**Данные испытания на сдвиг**  
 неконсолидированно-дренированный

Нормальное напряжение $\sigma$ , МПа	Касательное напряжение $\tau$ , МПа	tg $\phi$	Угол внутреннего трения $\phi$ , град.	Удельное сцепление C, МПа
0,1	0,092	0,32	18	0,060
0,3	0,156			
0,5	0,220			



Заказчик: ООО "МАСТЕРПРОЕКТ"  
 Наименование объекта: Жигулевская ГЭС  
 Наименование используемого метода/методики: ГОСТ 12248-2010 п. 5.4; 5.1

**Испытание грунтов методом компрессионного сжатия и одноплоскостного среза**

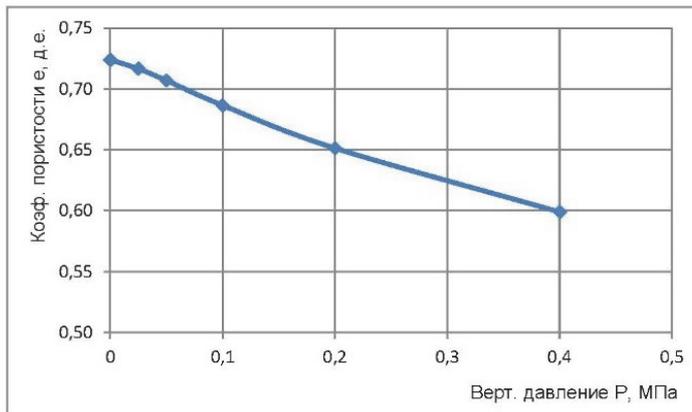
Лабораторный номер: 2  
 Номер скважины: 4  
 Глубина отбора, м: 4,25  
 Наименование грунта: суглинок мягкопл.

$W_e$ , д.е. = 0,264  
 $\rho$ , г/см<sup>3</sup> = 1,98  
 $\rho_s$ , г/см<sup>3</sup> = 2,70  
 $e$ , д.е. = 0,72  
 $I_L$ , д.е. = 0,53

**Данные компрессионных испытаний**

Верт. давление P, МПа	Относит. деформ. $\epsilon$ , д.е.	Кэф. пористости e, д.е.	Кэф. сжимаемости $m_\theta$ , МПа <sup>-1</sup>
0		0,72	
0,025	0,004	0,72	0,29
0,05	0,010	0,71	0,39
0,1	0,022	0,69	0,41
0,2	0,042	0,65	0,35
0,4	0,073	0,60	0,26

**Результаты испытаний**



Одометрический модуль деформации  $E_{oed(0,1-0,2)}$ , МПа = 4,79

Компрессионный модуль деформации  $E_k(0,1-0,2)$ , МПа = 2,87

Одометрический модуль деформации  $E_{oed(0,1-0,2)}$  с учетом  $m_{oed}$ , МПа = 11,93

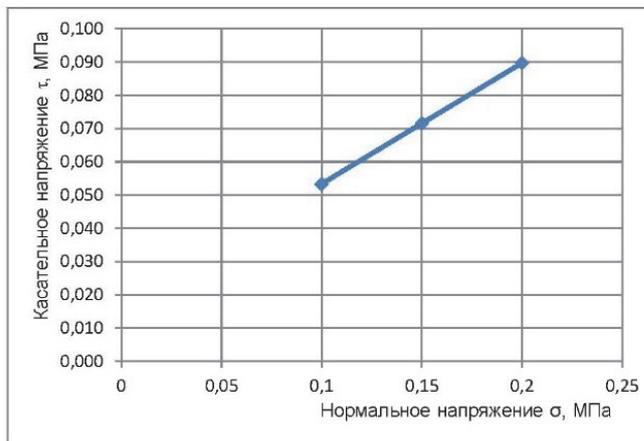
Коэффициент  $\beta$  = 0,60

Коэффициент  $m_{oed}$  = 2,49

**Данные испытания на сдвиг**

неконсолидированно-дренированный

Нормальное напряжение $\sigma$ , МПа	Касательное напряжение $\tau$ , МПа	tg $\varphi$	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.	Удельное сцепление C, МПа
0,1	0,053	0,36	20	0,017
0,15	0,072			
0,2	0,090			



Заказчик: ООО "МАСТЕРПРОЕКТ"  
 Наименование объекта: Жигулевская ГЭС  
 Наименование используемого метода/методики: ГОСТ 12248-2010 п. 5.4; 5.1

**Испытание грунтов методом компрессионного сжатия и одноплоскостного среза**

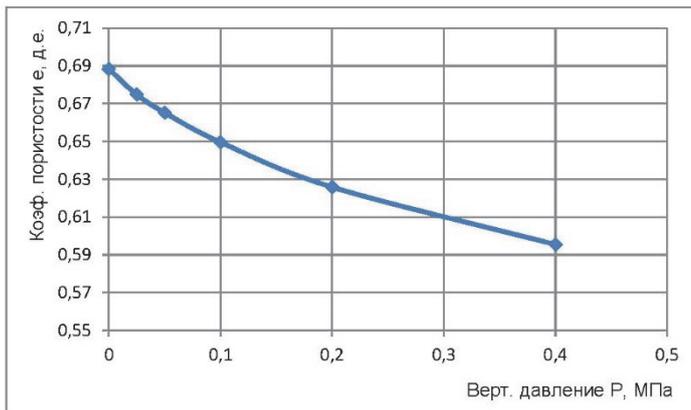
Лабораторный номер: 3  
 Номер скважины: 4  
 Глубина отбора, м: 4,4  
 Наименование грунта: суглинок мягкопл.

$W_e$ , д.е. = 0,251  
 $\rho$ , г/см<sup>3</sup> = 2,00  
 $\rho_s$ , г/см<sup>3</sup> = 2,70  
 $e$ , д.е. = 0,69  
 $I_L$ , д.е. = 0,52

**Данные компрессионных испытаний**

Верт. давление $P$ , МПа	Относит. деформ. $\epsilon$ , д.е.	Коэф. пористости $e$ , д.е.	Коэф. сжимаемости $m_\sigma$ , МПа <sup>-1</sup>
0		0,69	
0,025	0,008	0,67	0,54
0,05	0,014	0,67	0,38
0,1	0,023	0,65	0,31
0,2	0,037	0,63	0,24
0,4	0,055	0,60	0,15

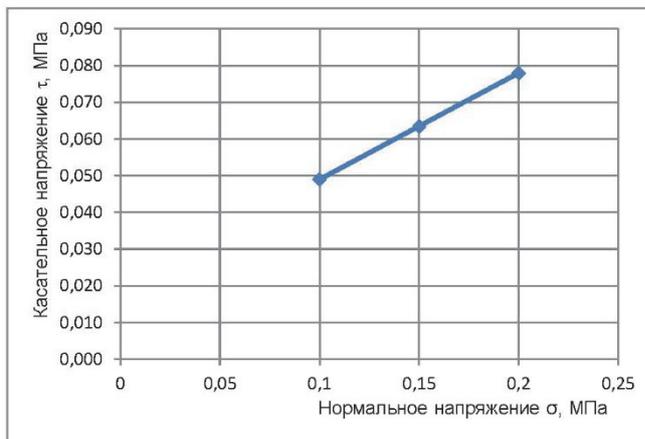
**Результаты испытаний**



Одометрический модуль деформации  $E_{oed(0,1-0,2)}$ , МПа = 6,94  
 Коэффициент  $\beta$  = 0,60  
 Компрессионный модуль деформации  $E_{k(0,1-0,2)}$ , МПа = 4,17  
 Коэффициент  $m_{oed}$  = 2,61  
 Одометрический модуль деформации  $E_{oed(0,1-0,2)}$  с учетом  $m_{oed}$ , МПа = 18,12

**Данные испытания на сдвиг**  
 неконсолидированно-дренированный

Нормальное напряжение $\sigma$ , МПа	Касательное напряжение $\tau$ , МПа	$tg \varphi$	Угол внутреннего трения $\varphi$ , град.	Удельное сцепление $C$ , МПа
0,1	0,049	0,29	16	0,020
0,15	0,064			
0,2	0,078			



Заказчик: ООО "МАСТЕРПРОЕКТ"  
 Наименование объекта: Жигулевская ГЭС  
 Наименование используемого метода/методики: ГОСТ 12248-2010 п. 5.4; 5.1

Испытание грунтов методом компрессионного сжатия и одноплоскостного среза

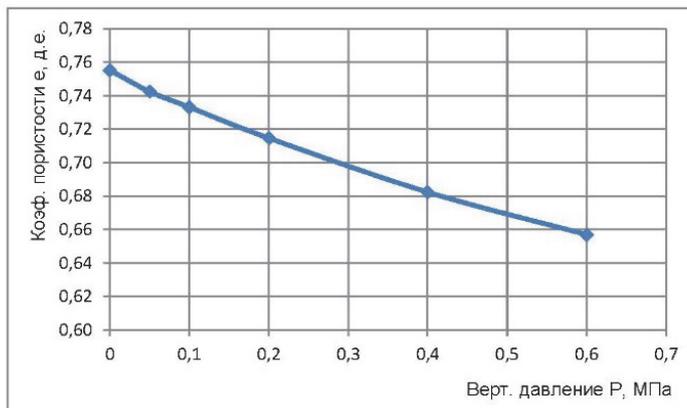
Лабораторный номер: 4  
 Номер скважины: 4  
 Глубина отбора, м: 4,55  
 Наименование грунта: глина полутвер.

$W_e$ , д.е. = 0,263  
 $\rho$ , г/см<sup>3</sup> = 1,95  
 $\rho_s$ , г/см<sup>3</sup> = 2,71  
 $e$ , д.е. = 0,76  
 $I_L$ , д.е. = 0,13

Данные компрессионных испытаний

Верт. давление P, МПа	Относит. деформ. $\epsilon$ , д.е.	Коэф. пористости $e$ , д.е.	Коэф. сжимаемости $m_0$ , МПа <sup>-1</sup>
0		0,76	
0,05	0,007	0,74	0,25
0,1	0,013	0,73	0,19
0,2	0,023	0,71	0,18
0,4	0,042	0,68	0,16
0,6	0,056	0,66	0,13

Результаты испытаний



Одометрический модуль деформации  $E_{oed(0,1-0,2)}$ , МПа = 9,38

Компрессионный модуль деформации  $E_{k(0,1-0,2)}$ , МПа = 3,75

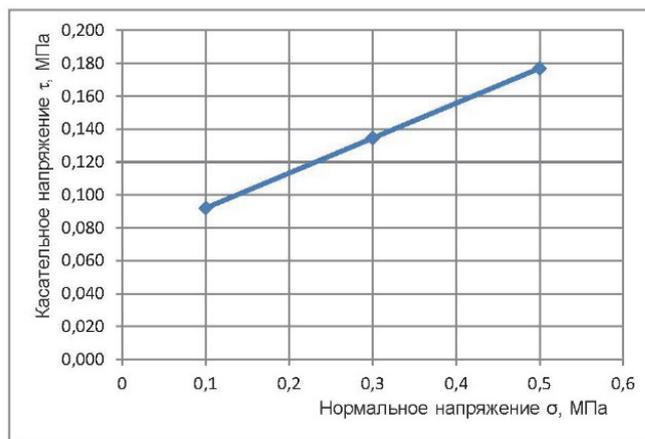
Одометрический модуль деформации  $E_{oed(0,1-0,2)}$  с учетом  $m_{oed}$ , МПа = 22,51

Коэффициент  $\beta$  = 0,40

Коэффициент  $m_{oed}$  = 2,40

Данные испытания на сдвиг  
 неконсолидированно-дренированный

Нормальное напряжение $\sigma$ , МПа	Касательное напряжение $\tau$ , МПа	tg $\phi$	Угол внутреннего трения $\phi$ , град.	Удельное сцепление C, МПа
0,1	0,092	0,21	12	0,071
0,3	0,135			
0,5	0,177			



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 24452-80. Бетоны. Методы определения призмной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона. – М.: Стандартиформ, 1980. – 14 с.
2. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. - М.: Стандартиформ, 2012. – 54 с.
3. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Стандартиформ, 2013. – 32 с.
4. ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. – М.: Стандартиформ, 2016. – 19 с.
5. ГОСТ 28570-2019. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций. – М.: Стандартиформ, 2019. – 13 с.
6. Декларация безопасности гидротехнических сооружений Филиала ПАО «РусГидро» - «Жигулёвская ГЭС», 2020 г.
7. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утвержденных Приказом Минэнерго России №229 от 19.06.2003;
8. СО 34. 04.181-2003 Правила организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанций и сетей. Москва, РАО «ЕЭС России», 2004. – 446с.
9. СП 58.13330.2012 Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003. Москва, 2012. – 39 с.;
10. СП 41.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87. Москва, ФАУ «ФЦС», 2012 – 67 с.
11. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85. Москва, 2011 – 80 с.
12. СТО 1730282.27.140.003-2008 Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. Москва, 2008. – 187 с.
13. СТО РусГидро 02.03.119-2015 Гидротехнические сооружения гидроэлектростанций. Методические рекомендации по выполнению многофакторных исследований. Москва, 2015. – 65 с.

14. ТО «Проведение замера горизонтальных смещений секций ГЭС и ВСП филиала ОАО «РусГидро» - «Жигулевская ГЭС», 2012 г., ОАО «НИИЭС», Волгоградский филиал.

15. ТО «Проведение контрольного цикла наблюдений за положением высотной опорной сети филиала ПАО «РусГидро»-«Жигулевская ГЭС», ООО «Спасательное формирование – «Десант»».

16. Федеральный закон от 21.07.1997 №117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений».

17. Федеральный закон от 29.12.2004 №190-ФЗ «Градостроительный кодекс Российской Федерации» (действующая редакция);

*Учебное издание*

**Рубин Олег Дмитриевич  
Ханов Нартмир Владимирович  
Лисичкин Сергей Евгеньевич  
Антонов Антон Сергеевич**

**МНОГОФАКТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ  
СООРУЖЕНИЙ СО СРОКОМ ЭКСПЛУАТАЦИИ БОЛЕЕ 25 ЛЕТ**

Анализ данных натуральных наблюдений за поведением гидротехнических сооружений

*Учебное пособие*

Подписано в печать    Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Печ. л. 8,75. Тираж 100 экз.    Заказ 23.

Издательство РГАУ-МСХА  
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 44  
Тел. 8-499-977-40-64