

Ордабаев М.К.

**ТЕЗ-ТЕЗ ЖЕР ТИТИРӨӨ БОЛУП ТУРГАН
ЧӨЛКӨМДӨРДӨГҮ СУУ САКТАГЫЧТАРДЫН ЖЕРГИЛИКТҮҮ КЫРТЫШТАН
ЖАСАЛГАН ТОСМОЛОРУН ТАЛДОО**

Ордабаев М.К.

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПЛОТИН ВОДОХРАНИЛИЩ ИЗ МЕСТНЫХ
ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЗОНАХ С АКТИВНОЙ СЕЙСМИЧНОСТЬЮ**

M.K. Ordabaev

**ANALYSIS OF THE EXISTING DAM RESERVOIRS OF THE LOCAL SOIL
MATERIALS IN THE AREAS OF ACTIVE SEISMICITY**

УДК: 26.22 (043)

Макалада Казахстандын тез-тез жер титирөө болуп турган чөлкөмдөрүндөгү суу сактагычтардын жергиликтүү кыртыштан согулган тосмолорун талдоо боюнча материалдар берилди.

Негизги сөздөр: гидротехникалык курулуш, суу сактагыч, суу сактагычтын нугу, өсүмдүктөр жана жаныбарлар, кичинекей дарыялар, суунун кинетикалык энергиясы жана чөлкөмдө жер титирөөнүн болушу

В статье приведены материалы по анализу строительства плотин водохранилищ из местных грунтовых материалов в зонах с активной сейсмичностью в условиях Казахстана.

Ключевые слова: гидротехническое сооружение, водохранилище, русло водоема, флоры и фауны, малые реки, кинетическая энергия воды и сейсмичность региона.

The article presents the analysis of materials on the construction of dams reservoirs of the local soil materials in the areas of active seismicity in the context of Kazakhstan.

Key words: waterworks, reservoirs, reservoir channel, flora and fauna, small rivers, the kinetic energy of the water and the seismicity of the region.

Водохранилище – [гидротехническое сооружение](#), искусственный [водоём](#), образованный, как правило, в [долине реки](#) водоподпорными сооружениями для накопления и хранения [воды](#) в целях её использования в народном хозяйстве.

Водохранилища делятся на 2 типа: озёрные и речные. Для водохранилищ озёрного типа (например, [Рыбинского](#)) характерно формирование водных масс, существенно отличных по своим физическим свойствам от свойств вод [притоков](#). Течения в этих водохранилищах связаны больше всего с ветрами. Водохранилища речного (руслового) типа (например, [Шардаринское](#)) имеют вытянутую форму, течения в них, обычно, [стоковые](#); водная масса по своим характеристикам близка к речным водам.

Основными параметрами водохранилища являются объём, площадь зеркала и амплитуда колебания уровней воды в условиях его эксплуатации. Создание водохранилищ существенно изменяет [ландшафт](#) речных долин, а регулирование ими стока преобразует естественный гидрологический режим реки в пределах подпора. Изменения

[гидрологического режима](#), вызываемые созданием водохранилищ, происходят также и в нижнем [бьефе](#) гидроузлов, иногда на протяжении десятков и даже сотен километров. Особое значение имеет уменьшение половодий, в результате чего ухудшаются условия нереста рыб и произрастания трав на [пойменных лугах](#). Уменьшение скорости течения вызывает выпадение наносов и заиливание водохранилищ; изменяется температурный и ледовый режим, в нижнем бьефе образуется не замерзающая всю зиму [польнья](#). На водохранилищах высота ветровых волн больше, чем на реках (до 3 м и более). Гидробиологический режим водохранилищ существенно отличается от режима рек: [биомасса](#) в водохранилище образуется интенсивнее, меняется видовой состав флоры и фауны [1].

Заиливание водохранилища — это потеря объёма воды за счёт роста абсолютных отметок дна. Причины: поступление с водосбора взвешенных наносов, ветровой перенос летучих песков с суши, выпадение в осадок химических соединений, [биомасса](#) водной растительности, [размыв берегов](#) волновыми процессами, вымывание [торфа](#) из-под плавающих болот, которые условно находятся за границей водохранилища.

Мероприятия по борьбе с заиливанием рекомендуются следующие: строительство водохранилищ не в основном русле, а в боковых [балках](#); отвод паводка через боковой [канал](#); устройство в начале водохранилища поперечных донных галерей; устройство в плотине донных водоспусков; устройство [прудов](#) в [реках](#) выше по течению; создание [объёмов](#) для сбора наносов; рациональный водный режим; [агротехника водосбора](#).

Ортокойская плотина на р. Касан-Сай в районе сейсмичностью 8-9 баллов возводилась сначала методом направленного взрыва (объём 69,4 тыс. м³), а затем путем укладки каменной наброски слоями по 6-8 м и уплотнения их струей воды из гидромониторов. Каменная мелочь, скапливавшаяся на поверхности плотины, перед укладкой каждого нового слоя смывалась гидромонитором. Под экрановый слой состоит из слоя гравия толщиной 3 м и уложенной по нему бетонной подготовки толщиной

В частности, были проведены полевые изыскания и исследования по определению сейсмичности и сейсмического режима района строительства, а также параметров расчетного воздействия при его задании нормативными ускорениями основания (коэффициентами сейсмичности) или записями (акселерограммами и др.) землетрясений.

Проводились широко поставленные полевые и лабораторные исследования: динамических характеристик материалов разных зон (ядра, упорных призм и др.) плотины геофизическими методами, основаниями на измерении скоростей распространения упругих волн v_p , v_s сооружении при проведении вблизи него производственных взрывов; по определению прочности сдвигу тех же материалов с помощью их статических испытаний для расчетов устойчивости откосов и всего сооружения при статических и сейсмических нагрузках; сейсмостойкости плотины на плоских и пространственных моделях разных масштабов (1/200-1/500) с помощью виброплатформ; на большой (1/50) полевой модели с помощью сейсмозрывных воздействий; на фрагментах откосов сооружения из гравийно-галечникового грунта в большом плоском лотке при колебаниях с параметрами, отвечающими воздействию расчетного землетрясения на натурное сооружение.

В большом объеме выполнены также теоретические исследования и расчеты сейсмостойкости плотины: расчеты по методам сдвигового клина (одномерная задача) и конечных элементов (двухмерная задача) динамических характеристик сооружения и действующих на него сейсмических нагрузок от расчетного землетрясения по заданным коэффициентам сейсмичности K_c и спектральным графикам коэффициента β ; проверка устойчивости ее откосов по методам Крен и наклонных сил взаимодействия Можевитинова с учетом работы плотины при статических и сейсмических нагрузках в условиях плоской и пространственной задачи; оценка остаточных деформаций откосов по наиболее опасным поверхностям скольжения с недостаточными коэффициентами запаса устойчивости при сейсмических воздействиях, задаваемых записями (акселерограммами) землетрясений или несколькими (10-12) импульсами ускорений с амплитудами, найденными из указанных выше расчетов, и периодами, равными периодам основного тона собственных колебаний сооружения; расчеты сейсмической реакции и остаточных деформаций грунтовых плотин по упрощенной одномерной схеме сдвигового клина с учетом упругопластических свойств грунтов при воздействиях, задаваемых акселерограммами землетрясений; расчеты методом конечных разностей сеисмонапряженного состояния и оценка развития зон пластических деформаций в грунтовых гидросооружениях при воздействиях, задаваемых аналогичными и другими акселерограммами.

Указанные исследования имели важное значение не только для обоснования проекта Нурекской плотины, но также для развития теории и методов проверки сейсмостойкости грунтовых гидросоору-

жений. Так, проектирование этого сооружения вначале производилось на основе принятой в СНиП II-A.12-62 статической теории сейсмостойкости, а после ввода в действие разд. 5 главы СНиП 11-A.12-69 – на основе принятой в нем динамической спектральной теории сейсмостойкости.

В первом случае ускорения принимались постоянными по высоте плотины, равными 0,15g и 0,23g, а во втором определялись путем расчета по одномерной схеме сдвигового клина с учетом первых четырех форм собственных колебаний при $K_c=0,1$. В обоих случаях верховой и низовой откосы имели коэффициенту запаса устойчивости на сдвиг по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения меньше единицы, т. е. были сейсмически неустойчивыми. Во втором случае оказалась неустойчивой часть верхового откоса на 0,3 и низового откоса на 0,1 высоты сооружения ниже отметки гребня. Максимальное остаточное перемещение имел верховой откос при воздействии, заданном акселерограммой землетрясения Паркфилд. Однако это перемещение равнялось около 0,13 м и не представляло опасности для сооружения. Результаты полевых и лабораторных экспериментальных, в том числе модельных, исследований сейсмостойкости Нурекской плотины приведены в таблице 1.

При периодах, больших или меньших периодов собственных колебаний плотины, увеличение амплитуд горизонтальных колебаний правобережного склона по направлению x было незначительным. Таким образом, взаимодействие плотин с бортами ущелья значительно изменяет параметры их колебаний. Это должно учитываться при оценке сейсмостойкости грунтовых гидросооружений.

С увеличением угла заложения откосов на завалах оз. Кольсай и оз. Сары-Челек от 10 до 40° наблюдалось линейное возрастание амплитуд их колебаний (рисунок 2).

Измерения горизонтальных по направлению вдоль каньона колебаний плотины Сухой Каньон высотой 18,2 м возбуждавшихся двумя синхронизированными вибраторами суммарной возмущающей силой $2 \cdot 22,7 = 45,4$ кН, установленными на гребне сооружения, производились тремя акселерографами (один на гребне и два на бермах низового откоса). Она возводилась методом отсыпки и уплотнения катками смеси грунтов (глины, ила и песка с включениями галечника и гравия), взятых из ложа водохранилища. В момент взрыва уровень воды в водохранилище был на 12,5 м ниже гребня. Регистрация колебаний производилась акселерографами, установленными на гребне, у подошвы и на середине высоты низового откоса плотины, на скале вблизи левобережного примыкания и па аллювиальных отложениях в 165 м от подошвы сооружения. Колебания плотины начались через 6,9 с после взрыва и продолжались в течение 20 с. Скорость распространения взрывных волн от пункта взрыва до плотины несколько превышала 3270 м/с. Преобладающей была вертикальная компонента. Остаточных смещений после взрыва не наблюдалось.

Таблица 1.

Точка наблюдения	Компонента	Ускорения u (в долях g)		Периоды T , с	
		измеренные	вычисленные	измеренные	вычисленные
Гребень	Z	0,062	0,073	0,13	0,30
	X	0,094	0,052	0,32	0,27
Середина откоса	Z	0,048	0,060	0,13	0,29
	X	0,038	0,058	0,32	0,24
Подошва откоса	Z	0,046	0,064	0,13	0,18
	X	0,052	0,037	0,13	0,18
Аллювиальные отложения	Z	0,088	0,072	0,13	0,19
	X	0,051	0,050	0,15	0,18
Скальное основание	Z	0,028	—	0,13	—
	X	0,014	—	0,30	—

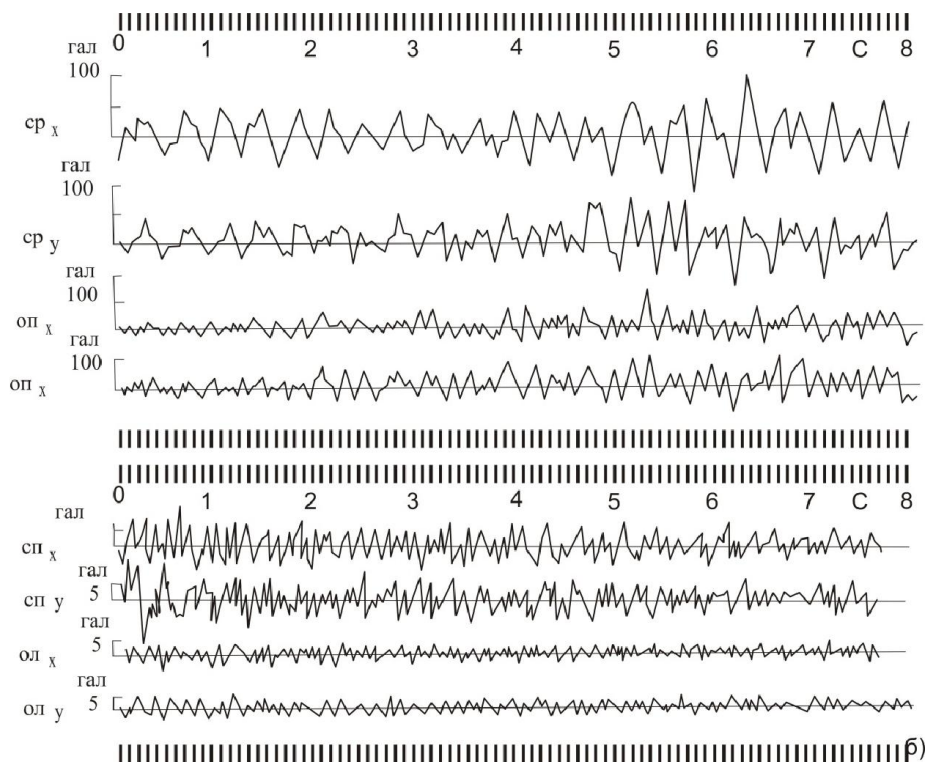


Рисунок 2. – Записи колебания плотины при сильном (а) и слабом (б) землетрясениях (1 гал=0,001g).

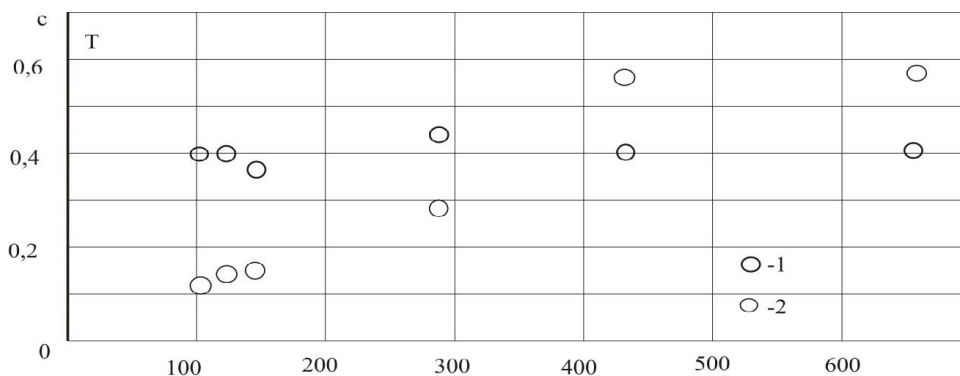


Рисунок 3. Зависимость преобладающих периодов T на гребне (1) и в основании (2) от эпицентрального расстояния.

Результаты измерений сопоставлялись с данными расчета МКЭ реакции (пиковых значений и спектров ускорений) плотины совместно со слоем

мягких грунтов в ее основании толщиной 30,5 м на воздействие сейсмических толчков ядерного взрыва. Программа позволяет учитывать зависимость моду-

лей упругости и коэффициентов затухания от типа грунта и амплитуды его реформации. Начальные модули упругости материалов плотины и грунтов основания определялись в полевых условиях геофизическими методами. Для сравнения с вычисленными измеренные вертикальные z и горизонтальные по направлению x -вдоль каньона ускорения увеличивались на 50%.

Сопоставление результатов показало, что вычисленные горизонтальные ускорения у подошвы низового откоса и на гребне плотины были меньше измеренных, а на уровне середины высоты откоса – больше измеренных, тогда как вычисленные вертикальные ускорения были всюду больше измеренных. Вычисленные периоды вертикальных ускорений были всюду больше измеренных, а горизонтальных ускорений – во всех точках, за исключением точки у подошвы откоса, меньше измеренных.

Соотношение максимальных амплитуд вертикальных и горизонтальных ускорений по направлению от подошвы откоса к гребню уменьшалось. Измеренные вертикальные ускорения были преобладающими в основании, а горизонтальные – на гребне плотины. Отмечается, что вычисленные и измеренные параметры колебаний плотины и ее основания достаточно хорошо согласуются между собой и, следовательно, МКЭ может быть использован для анализа реакции земляных плотин на сейсмические воздействия, возбуждаемые мощными взрывами и землетрясениями.

Инструментальные сейсмометрические наблюдения предусматриваются при проектировании и строительстве гидросооружений I и II классов в районах сейсмичностью 8-9 баллов. Состав, задачи и методика этих наблюдений регламентируются временными указаниями.

В настоящее время многие плотины за рубежом оснащены специальной аппаратурой для наблюдений за их поведением при землетрясениях.

На рисунке 3 приведена схема размещения аппаратуры внутри и на поверхности плотины Оровилл. В состав системы измерения входят четыре стандартных акселерографа в теле или вблизи плотины и три акселерографа сильных движений (один в цементационной галерее, второй – на гребне и третий – на сейсмометрической станции к юго-западу от плотины), а также комплект из 15 датчиков большого диаметра (76,2 см) для измерения в каждой из пяти точек статических и динамических напряжений: один по вертикальному и два по взаимно перпендикулярным направлениям, наклоненным под углом 45° к вертикали, и вести динамических пьезометров для измерения сейсмического порового давления. Во многих точках имелись также обычные статические пьезометры. В точках S и T находились места вывода измерительных кабелей. Регистрационный комплекс размещался в аппаратном помещении, расположенном на поверхности плотины. Включение регистрирующей аппаратуры производилось вертикальным акселерографом, установленным в основании сооружения при ускорениях $0,01g$ и более.

В 1962 г. при заполнении водохранилища в этом районе наблюдалось возникновение слабых толчков с $M \leq 1,5$. В июле-августе 1975 г. в створе гидроузла наблюдался рой Оровильских землетрясений. Он включал серию из 26 форшоков с $M \geq 1,6$ (максимальное значение $M=4,8$); основной толчок 1/VIII 1975 г. (с магнитудой $M=5,7$ и очагом на расстоянии примерно 12 км к юго-западу от плотины, максимальные ускорения грунта вблизи сооружения были равны $0,09g$ по направлениям вертикальному и горизонтальному вдоль потока и $0,13g$ по направлению поперек потока), а также серию из 158 афтершоков с $M \geq 2,5$ (максимальное значение $M=5,1$). Толчки затухали во времени по закону Омори $n(t)=At^{0,10}$. Близость эпицентральной зоны к плотине, удерживающей водохранилище объемом $4,3 \text{ км}^3$, обусловила необходимость проведения детальных инструментальных наблюдений с помощью 16 высокочувствительных сейсмографов и 5 акселерографов сильных движений, установленных 2/VIII 1975 г. Плоскость разрыва, к которой приурочены эпицентры землетрясений, простирается в направлении 3° к северо-востоку и погружается под углом 60° в западном направлении на глубину 10 км. Под плотинной разрыв проходит на глубине 5 км. До начала землетрясений в январе 1975 г. уровень воды в водохранилище был самым низким.

Во время основного толчка были зарегистрированы максимальное вертикальное напряжение в низовой упорной призме, равное $151,5 \text{ кПа}$, которое хорошо согласуется с результатами расчета плотины по МКЭ; повышение напора до уровня 12,1 м в переходной зоне и до уровня 16,5 м – в ядре. Наблюдалось увеличение дренажного расхода с 305 до 335 л/мин на 1/VIII 1975 г. и до 345 л/с на 2/VIII 1975 г.; кратковременное (в пределах суток) помутнение воды в нижнем бьефе и небольшие деформации (осадка гребня около 15 мм и горизонтальное смещение около 10 мм). Никаких других повреждений не наблюдалось. Таким образом, плотина Оровилл благополучно перенесла очень сильные землетрясения и оказалась достаточно сейсмостойкой.

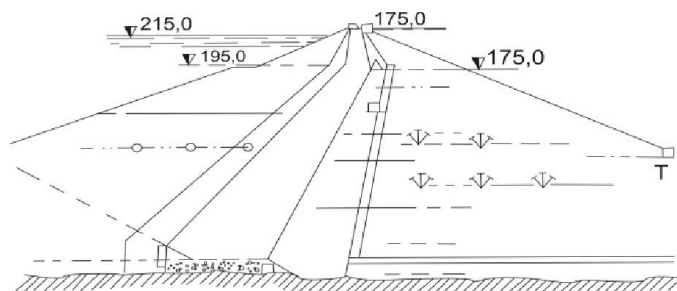


Рисунок 4. – Схема размещения аппаратуры в теле плотины Оровилл для наблюдений за ее поведением при землетрясениях.

1-гидродинамический пьезометр; 2-стандартный акселерометр; 3-акселерометр сильных движений; 4-датчик напряжений; 5-места выводов измерительных каналов.

В Японии сейсмометрической аппаратурой оснащаются практически все плотины, возводимые в районах разной сейсмичности.

На рисунке 1.8 приведены план (а) и разрезы (б) плотины Саниокаи, состоящей из упорных призм Л 2 центрального ядра 3 и переходных зон 4 [16]. Ее основание представлено неоднородными твердыми скальными породами: андезитами 5, лавами 6, туфами 7 и делювием 8. Выветренный поверхностный слой скалы был закреплен на глубину 15 м.

На рисунке 5 а приведена схема размещения датчиков для регистрации ускорений в диапазоне

0,005-0,2g. Первая буква в обозначениях соответствует установке датчика на сооружение (С) или на скальном основании (О), вторая – его установке на русловой части плотины (Р), левобережном (Л) или правобережном (П) склонах, а третья – ориентации приборов для записи вертикальных (z) или горизонтальных колебаний по направлению вдоль (x) и поперек (y) каньона. (Аналогичным образом устанавливалась аппаратура на плотине Айноно.)

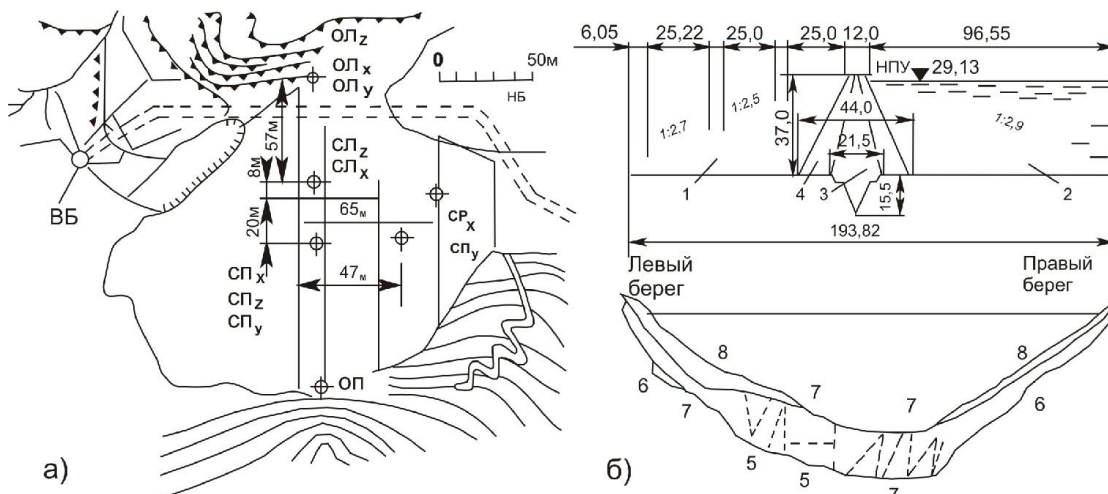


Рисунок 5. Схема размещения сейсмометрической аппаратуры на плотине Саннокаи.

Анализ результатов наблюдений показал, что с увеличением эпицентрального расстояния преобладающие периоды колебаний скального основания возрастали, а гребня и средней точки низового откоса плотины практически не изменялись и находились в пределах 0,36 -0,44 с. Из этого следует, что при больших эпицентральных расстояниях короткопереходные составляющие сейсмических волн быстро затухают, а преобладающие периоды гребня и средней точки низового откоса плотины не зависят от преобладающих периодов колебаний основания. Коэффициент усиления колебаний («раскачки») гребня при резонансных колебаниях (горизонтальных по направлению вдоль каньона с периодами 0,40 с и вертикальных с периодами 0,26 с) достигал 23. Однако определение коэффициентов усиления колебаний гребня непосредственно по спектрам ускорений приводит к их завышенным значениям. При учете затухания 0,13 -0,15 критического, найденного из расчета колебаний плотины как системы с одной степенью

свободы, коэффициент усиления колебаний гребня оказался равным 3-4. С увеличением интенсивности землетрясений ускорения колебаний гребня и средней точки низового откоса плотины возрастали, хотя скорость их возрастания уменьшалась. Характер колебаний плотины, даже при одинаковых ускорениях и частотах колебаний грунтов основания, был различным в зависимости от направления к эпицентру.

Литература:

1. Абдурасулов И. Водообеспечение и очистка сточных вод Кыргызской Республики. - Бишкек: Илим, 1993. - 449 с.
2. СНиП II – А. 12-62.
3. СНиП II – А. 12-69.
4. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. – М.: Мысль, 1987. – 397 с.
5. Волков И.М., Кононенко П.Ф., Федичкин И.К. Гидротехническое сооружение. – М.: Колос, 1968. – 464 с.

Рецензент: к.т.н. Халимов Д.П.