

УДК 624.131

EDN [AYXDZB](#)



<https://www.doi.org/10.47813/nto.4.2023.10.50-58>

Анализ инженерно-геологических условий на головном участке Большого Ставропольского канала

А.А. Ткачев*, М.У. Дакаев, М.С. Плешаков

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова
ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», г. Новочеркасск, Россия

*E-mail: gts_i_sm.nimi@mail.ru

Аннотация. В работе рассматриваются инженерно-геологические условия головного участка Большого Ставропольского канала. Указывается, что формирование инженерно-геологических условий участка тесно связано с историей геологического развития кубанского бассейна и условиями осадконакопления. Для определения влияния суффозии на статическую и фильтрационную устойчивость выполнена оценка суффозионной устойчивости грунтов, грунты на участке являются суффозионными. Это является одной из причин повышенной фильтрации исследуемого головного участка и предельной статической устойчивости сооружений.

Ключевые слова: инженерно-геологические исследования, техногенные отложения, ядро плотины, суффозионная устойчивость.

Analysis of engineering-geological conditions at the head section of the Big Stavropol Canal

A.A. Tkachev*, M.U. Dakaev, M.S. Pleshakov

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute,
A.K. Kortunova Donskoy State Agrarian University, Novocherkassk, Russia

*E-mail: gts_i_sm.nimi@mail.ru

Abstract. The work examines the engineering and geological conditions of the head section of the Big Stavropol Canal. It is indicated that the formation of engineering-geological conditions of the site is closely related to the history of the geological development of the Kuban basin and sedimentation conditions. To determine the effect of suffusion on static and filtration stability, an assessment of the suffusion stability of soils was carried out; the soils on the site are suffusion. This is one of the reasons for the increased filtration of the head section under study and the maximum static stability of the structures.

Keywords: engineering-geological research, technogenic deposits, dam core, suffusion stability.

1. Введение

В административном отношении участок изысканий расположен в: Усть-Джегутинском и Прикубанском районах Карачаево-Черкесской Республики и в Андроповском районе Ставропольского края. Степень изученности инженерно-геологических условий участка реконструкции на момент изысканий оценивается как высокая.

Первая очередь системы БСК-1 сдана в эксплуатацию в 1967 году в составе:

- головного Усть-Джегутинского гидроузла на р. Кубань;
- магистрального канала протяжённостью 156 км с подпорно-регулирующими и дорожными сооружениями на нём;
- четырёх русловых гидроэлектростанций.

Вся территория первой очереди Большого Ставропольского канала изучалась, как целиком, так и по отдельным участкам, в разное время и с разной степенью детальности.

Формирование инженерно-геологических условий участка тесно связано с историей геологического развития кубанского бассейна и условиями осадконакопления в нижнемеловой период (Кд), с эрозионно-аккумулятивной деятельностью р. Кубань в плейстоценовое (Q_{in}) и голоценовое (Q_{iv}) время, а также с производственной деятельностью в период освоения данной территории и строительства гидротехнических сооружений [1].

2. Постановка задачи (Цель исследования)

Для принятия обоснованных конструктивных решений при выполнении работ по реконструкции объекта необходимо выполнить анализ материалов инженерно-геологических исследований отдельных участков канала, что позволит сделать выводы о современном состоянии Головного участка магистрального канала. Для рассматриваемых инженерно-геологических элементов предлагается выполнить расчет для выявления влияния суффозии на статическую и фильтрационную устойчивость, что позволит судить и о статической устойчивости откосов каналов при дальнейшей эксплуатации в заданных условиях. При этом необходимо учитывать длительный срок эксплуатации сооружения и опасные геологические процессы.

3. Методы и материалы исследования

Головное сооружение БСК (Усть-Джегутинский гидроузел) расположено на р. Кубань в 3 км выше Г. Усть-Джегута и в 125 км от истоков р. Кубань.

Основное назначение гидроузла:

- подъём уровней в реке Кубань для подачи 180 м³/с в магистральный канал;
- пропуск паводков реки до максимального расхода обеспеченностью 0,1 % 1440 м³/с одновременной подачей воды в канал [2].

В соответствии с назначением гидроузла и природными условиями определен следующий состав сооружений:

- водоподъёмная глухая земляная плотина с напором 31 м и высотой 34,0 м;
- русловое водохранилище ёмкостью 36,4 млн.м³;
- вододелительный узел, включающий водозаборный шлюз в магистральный канал с максимальным расходом 180 м³/с и паводковый водосброс в р. Кубань с максимальным расходом 1440 м³/с.

По гребню водоподъёмной земляной плотины проходит инспекторская дорога с асфальтовым покрытием мощностью до 15 см.

Вододелительный узел представляет собой железобетонную коробку, разделённую монолитными бычками на 4 пролёта, по 8 м каждый. Каждое отверстие перекрывается сегментными затворами 8х4,6 м. Для маневрирования затворами в служебном помещении установлены типовые канатные подъёмники [3].

Паводковый водосброс представляет собой железобетонный сбросной шлюз с четырьмя отверстиями пролётом 12 м каждое, перекрываемыми сегментными затворами 12х6 м, с канатными подъёмниками 2х10 т.

Головной участок МК протяжённостью 46,9 км - от головного гидроузла до сброса в водохранилище «Кубанское» рассчитан на забор всего стока р. Кубань, за исключением санитарного пропуска 5 м³/с и паводковых расходов воды, превышающих 180 м³/с.

На своём пути канал на этом участке пересекает двубортными насыпями высотой до 25,0 м долины рек Джегута, Джегонас, Ореховая, Абазинка, Топка и Овечка, однобортными насыпями высотой до 35,0 м балки Султанскую, Джалгу, Пчелиную и три

балки Безымянных на 18-21 км. На 13 и 16 км русло канала прорезает глубокими до 37,0 м выемками водоразделы рек и балок Султанская - Джалга и Джалга - Абазинка. На участках от 5,2 км до 7,0 км и от 17 до 18 км канал проходит по крутым косогорам с командованием над прилегающей территорией до 50,0 м, а на участке от 14,0 до 15,0 км - по древнему оползню. Строительная глубина канала 6,63 м.

Из семи ливнепроектных труб пять диаметром 1,0-1,25 м имеют различные степени повреждения и нуждаются в реконструкции.

В пределах разведанного разреза, на исследованную глубину 50,0 м, по участкам канала вскрыты отложения от нижнего мела и верхней юры до четвертичных отложений.

Гидроузел располагается в пределах развития пород нижнего мела и верхней юры, плотина находится в поле распространения пород аптского яруса нижнего мела [1-3].

Отложения аптского яруса нижнего мела слагают участок в пределах створа плотины левобережного и правобережного примыканий; к левобережному примыканию приурочен дополнительный водосброс из Усть-Джегутинского водохранилища, к правобережному - существующий водосброс. Разрез яруса представлен следующими породами (снизу вверх):

- песчаник мелкозернистый, глинистый, с прослоями глины тёмно-серой, опесчаненной, мощностью 50 м;
- глина тёмно- и зеленовато-серая опесчаненная (алевролит) с редкими прослоями песчаника, мощность 5-10 м;
- песчаник мелкозернистый, прослоями - глинистый, слабо сцементированный, мощность 40 м;
- глина тёмно-серая, почти чёрная, аргиллитоподобная с включениями пиритизированных моллюсков, с прослоями органогенного известняка, мощность 15 м;
- песчаник мелкозернистый зеленовато-серый, слабосцементированный с включением караваеобразных стяжений песчаника с кальциевым цементом, изобилующих фауной, мощность 10 м.

Выходы последнего слоя песчаника составляют цоколь надпойменной (вюрмской) террасы, возвышающейся над руслом р. Кубань до 24 м.

Термином «глина опесчаненная с прослоями песчаника» обозначается переходная разность между глиной и песчаником, т.е. алевролит. Последний термин используется далее в тексте, что вполне соответствует гранулометрическому составу породы [4].

Отложения верхнемеловой системы располагаются в пределах развития пород сенонскогонадьяруса верхнего мела, в частности, известняков, переслаивающихся с тонкими (2-5 см) прослоями мергелей и глин. Известняки белые, светло-серые, обычно микро- оолитовые, тонко- толсто плитчатые, иногда пластующиеся со стилолитовыми поверхностями. Характерна трещиноватость диагенетическая и тектоническая.

Отложения яруса залегают моноклиально, преобладающий азимут падения ССВ 10- 15°, крутизна падения 2-5° [3].

Верхнемеловые известняки *относятся к карстоопасным*, вместе с тем отсутствие морфологически хорошо выраженных карстовых образований на поверхности, местами несущий маломощный покров четвертичных пород, указывает на весьма слабое развитие здесь карста [5].

Неогеновая система, майкопская серия представлена глиной тёмно-серой тяжёлой, слоистой, высокой прочности, твёрдой. Верхняя часть этой толщи представлена корой выветривания этих глин.

Древнеаллювиальные верхнечетвертичные отложения залегают на цоколе из аптских песчаников и алевролитов, представлены галечниковыми отложениями, заполнитель - песчаный до 25 %. Петрографически гравий состоит из высокопрочных изверженных и метаморфических пород. В верхней части разреза встречаются прослой супеси с галькой и песком мощностью до 0,2 м.

Мощность осадков верхнего плейстоцена в целом достигает 30,0 м, на изученных участках вскрыты на глубинах 5,5-30,0 м.

Современные аллювиальные отложения повсеместно слагают пойму р. Кубань. Они представлены глинистыми грунтами. Встречаются линзы песка с включениями гравия и гальки, крупные фракции из высокопрочных изверженных, метаморфических и, гораздо реже, осадочных пород, имеют хорошую окатанность. Аллювиальный материал поймы использован для отсыпки гравийно-галечниковых пригрузочных призм.

Техногенные отложения на участке реконструкции представлены тремя разновидностями грунтов: техногенный грунт, слагающий откосы канала; техногенный грунт, слагающий глинистое ядро плотины и техногенный грунт призмы плотины.

Тело плотины возведено из гравелисто-галечниковых грунтов с внутренним ядром из суглинков. Грунт глинистого ядра плотины представлен суглинком тяжёлым пылеватым, полутвёрдым с включением гальки и гравия до 15 %, с единичными включениями валунов. В работе 2006 г [1] отмечалось разделение глинистого ядра на две части: верхняя до глубины 15,6 м представлена относительно слабоуплотнённым грунтом (плотность сухого грунта - 1,41 до 1,65 т/м³, при среднем значении - 1,55 т/м³). Нижняя в интервале (15,6-35,1 м) - относительно уплотнённым грунтом (плотность сухого грунта - 1,56-1,83 т/м³, при среднем значении - 1,69 т/м³, превышающем плотность, заданную проектом - 1,65 т/м³).

Анализ современных изысканий подтверждает такую анизотропность ядра: плотность верхней части 1,55-1,65 т/м³, нижней - 1,67-1,68 т/м³. Грунт неравномерно уплотнён при послойной отсыпки так, что местами наблюдались интервалы по 0,05-0,1 м уплотнённого грунта, чередующегося с рыхлым, неуплотнённым. Кроме выраженной анизотропности ядра плотины, обусловленной послойным уплотнением грунта при строительстве существует неоднородность свойств, обусловленная одновременной отсыпкой глинистого ядра и гравийно-галечниковой с валунами пригрузки, а также положением депрессионной поверхности инфильтрационного потока.

Техногенный грунт пригрузочной призмы плотины представлен галечниковым грунтом, заполнитель - суглинок до 15 %, с включением гравия до 15 %.

Техногенный грунт, слагающий дамбы канала представлен суглинком тяжёлым, пылеватым с включением щебня, гальки и гравия до 15 %.

Поскольку первая очередь системы БСК-1 сдана в эксплуатацию в 1967 году, то за более чем 50- летний период эксплуатации канала процессы самоуплотнения и упрочения техногенных грунтов можно считать завершившимися [6-7].

4. Полученные результаты

Для выявления влияния суффозии на статическую и фильтрационную устойчивость выполнена оценка суффозионной устойчивости грунтов. Согласно

Рекомендации по проектированию обратных фильтров гидротехнических сооружений П-56-90 ВНИИГ им. Б.Е.Веденева, оценка суффозионности грунта производится по максимальному диаметру максимального фильтрационного хода в грунте d_0^{\max} и минимальному диаметру частиц грунта d_{\min} . Если $0,75 d_0^{\max} > d_{\min}$, то грунт считается суффозионным [8].

Частицы грунта, имеющие меньшие размеры, чем диаметр фильтрационного хода, называются суффозионными. Диаметр суффозионных частиц $d_{ci} < d_0^{\max}$.

Диаметр максимального фильтрационного хода в грунте определяется по формуле:

$$d_0^{\max} = xC^{1/(n-1)}d_{17},$$

где $C = 0,46 (d_{60,10})^{1/6}$;

n – коэффициент пористости;

x – коэффициент неравномерности раскладки частиц в грунте:

- – для грунтов с $d_{60,10} < 25$, $x = 1 + 0,05d_{60,10}$;
- – для грунтов с $d_{60,10} > 25$, $x = 0,35(2 + 0,05 d_{60,10})$.

Суффозионными грунтами предположительно могут быть галечниковые грунты с суглинистым заполнителем до 15% (ИГЭ-1) и галечниковый грунт с песчаным заполнителем до 25 % (ТГЭ-4). Суммарные кривые гранулометрического состава грунтов ИГЭ-1 и ИГЭ-4 представлены на рисунке 1.

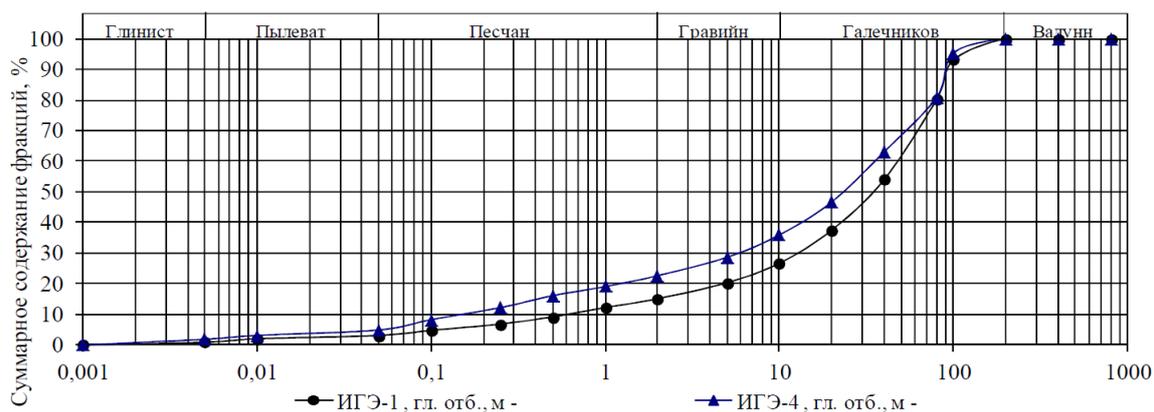


Рисунок 1. Суммарные кривые гранулометрического состава грунтов.

Для указанных характеристик (рисунок 1) был произведен расчет диаметра максимального фильтрационного хода, параметры расчета указаны в таблице 1.

Таблица 1. Расчетные значения параметров грунтов.

Расчетные параметры	ИГЭ-1	ИГЭ-4
Пористость n , д.ед.	0,28	0,38
Коэффициент разнородности грунта $d_{60,10}$	80	233
Диаметр частиц грунта, меньше которого в его составе содержится 17% по массе, d_{17} , мм	3,0	0,6

Для ИГЭ-1 диаметр максимального фильтрационного хода $d_0^{\max} = 4,24$ мм, для ИГЭ-4 - $d_0^{\max} = 2,53$ мм. Согласно формуле $0,75 d_0^{\max} > d_{\min}$, следовательно грунты ИГЭ-1 и ИГЭ-4 являются суффозионными.

Для ИГЭ-1 содержание суффозионных частиц (диаметр $d_{ci} < 4,24$) около 20,4% . Для ИГЭ-4 содержание суффозионных частиц (диаметр $d_{ci} < 2,53$) около 22,6% .

5. Выводы

Анализ материалов инженерно-геологических исследований отдельных участков канала позволяет в обобщённой форме сделать следующие выводы о современном состоянии Головного участка магистрального канала:

- на ряде участков магистрального канала: 1,1-2,7 км, 5-14 км, 19,5-23,0 км наблюдается повышенная фильтрация, снижение КПД канала, статической устойчивости земляных сооружений. Повышенная фильтрация сопровождается суффозионными деформациями с образованием провальных воронок (3,7-7,5 км), появлением трещин в ложе канала и по дамбам (1,9-3,0 км, 8,2 км, 8,9 км, 12 км, 19 км) высачиванием фильтрационных вод в основании дамб и насыпей (участок 3,5-8,0 км, переходы через р.р. Джегонас, Абазинку, Топку и Овечку);
- выявлена недоуплотнённость грунтов в насыпях и однобортных дамбах канала, обуславливающая снижение их статической устойчивости и повышенную фильтрацию, в том числе с выходом фильтрационных вод на откосы. Ряд насыпей находится, по всей видимости, на пределе статической устойчивости, в частности переходы через р.р. Джегонас и Абазинку.

Список литературы

1. «Реконструкция и восстановление отдельно расположенных гидротехнических сооружений и проведение берегоукрепительных работ на Первой очереди Большого Ставропольского канала (2 этап)». СКГВХ. Пятигорск, 2006 г. Технический архив, № 2-2/37251.
2. «Мониторинг плотины головного водозаборного сооружения Большого Ставропольского канала на р. Кубань». ООО «Севкавгипроводхоз». Пятигорск, 2004 г. Технический архив, № 2-2/36511.
3. «Обоснование инвестиций в реконструкцию сооружений Первой очереди Большого Ставропольского канала». СКГВХ. Пятигорск, 2002. Технический архив, № 2-2/35933.2.
4. Овчерева К.А. Большой Ставропольский канал / К. А. Овчерева // Научные технологии и интеллектуальные системы: Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Самара, 23 ноября 2018 года. – Самара: Общество с ограниченной ответственностью "Агентство международных исследований". – 2018. – С. 47-50. – EDN YRGAZF.
5. Косиченко Ю.М. Научное обоснование применения каналов переброски стока комплексного назначения / Ю.М. Косиченко, О.А. Баев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2022. – № 4(88). – С. 15-22. – EDN DSHBTZ.
6. Гостищев В. Д. Анализ эксплуатационных характеристик Большого Ставропольского канала / В.Д. Гостищев, А.А. Кузьмичев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 3(67). – С. 74-79. – EDN ZSQGSL.
7. Ткачев А.А. Исследование берегоукрепительных сооружений на р. Куме в Ставропольском крае / А.А. Ткачев, М.А. Слинко // Мелиорация и гидротехника. – 2022. – Т. 12, № 1. – С. 213-227. – DOI 10.31774/2712-9357-2022-12-1-213-227. – EDN SMAWYI.
8. Актуальные вопросы практических исследований гидротехнических сооружений / А.А. Ткачев, В.А. Белов, А.М. Анохин [и др.]. – Новочеркасск : Лик, 2023. – 190 с. – ISBN 978-5-907708-14-3. – EDN YWMTJU.