

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2025-24-4-307-316>

УДК 33.332.3

Анализ геологических и гидрогеологических условий при проведении реконструкции набережной Ижевского водохранилища

Докт. экон. наук, проф. В. П. Грахов¹⁾, асп. М. А. Кисляков¹⁾,
канд. техн. наук, доц. А. А. Кисляков

¹⁾Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова» (Ижевск, Российская Федерация)

Реферат. Данная статья посвящена особенностям геологических и гидрогеологических условий при разработке проекта реконструкции набережной Ижевского водохранилища. Исследование проведено на левобережье Ижевского водохранилища (Набережная зодчего Дудина), в границах набережной от лестничного схода монумента «Дружба народов» до устья речки Подборенки и частично примыкающего к ней коренного склона до улицы Милиционной с переулком Широкий. Отсыпанный участок набережной шириной до 30 м ранее являлся частью акватории водохранилища. Формирование территории проводилось в 2010–2011 гг. преимущественно путем отсыпки песчаных грунтов высотой до 5,0 м и более, при этом от водохранилища участок отделен шпунтовой стенкой. Поверхность новой набережной ровная и практически плоская, с незначительным уклоном в сторону водохранилища. Гидрогеологические условия данной территории характеризуются наличием грунтовых вод, выявленных в пределах надпойменной террасы и у подножия коренного склона долины реки Иж. Воды выходят на поверхность в виде множества мочажин и нисходящих родников у подножия склона. В пределах исследуемого участка четыре места концентрации выходов воды оборудованы каптажем. В ходе исследования проведен детальный анализ физико-механических свойств грунтов и коррозионной активности грунтовых вод к основным строительным материалам. Результатом исследования является оценка геологических и гидрогеологических условий по структуре залегания геологических слоев грунта, физико-механическим свойствам грунтов, глубинам и характере залегания грунтовых вод, их коррозионной активности. Предложены мероприятия по сохранению и укреплению склонов, отводу грунтовых вод с территории склонов и набережной при проведении работ по реконструкции.

Ключевые слова: реконструкция зданий, геолого-литологическое строение участка, гидрогеологические условия, физико-механические свойства грунтов, коррозионная активность среды к основным строительным материалам, подземные воды, родники, мочажины, дренажная система, каптажные колодцы

Для цитирования: Грахов, В. П. Анализ геологических и гидрогеологических условий при проведении реконструкции набережной Ижевского водохранилища / В. П. Грахов, М. А. Кисляков, А. А. Кисляков // *Наука и техника*. 2025. Т. 24, № 4. С. 307–316. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2025-24-4-307-316>

Analysis of Geological and Hydrogeological Conditions during the Reconstruction of the Embankment of the Izhevsk Reservoir

V. P. Grakhov¹⁾, M. A. Kislyakov¹⁾, A. A. Kislyakov

¹⁾Kalashnikov Izhevsk State Technical University (Izhevsk, Russian Federation)

Abstract. This article is devoted to the peculiarities of geological and hydrogeological conditions during the development of the Izhevsk Reservoir embankment reconstruction project. The study was carried out on the left bank of the Izhevsk Reservoir

Адрес для переписки

Грахов Валерий Павлович
ФГБОУ ВО «Ижевский государственный
технический университет имени М. Т. Калашникова»
ул. Студенческая, 42,
426069, г. Ижевск, Российская Федерация
Тел.: +7 (3412) 77-60-55, доб. 3-256
kafedra.pgs@mail.ru

Address for correspondence

Grakhov Valerii P.
Kalashnikov Izhevsk State
Technical University
42, Studencheskaya str.,
426069, Izhevsk, Russian Federation
Tel.: +7 (3412) 77-60-55, доб. 3-256
kafedra.pgs@mail.ru

(Embankment of architect Dudin), within the boundaries of the embankment from the stairway of the 'Friendship of Peoples' monument to the mouth of the Podborenka River and the partially adjacent root slope to Militsionnaya Street with Shirokiy Lane. The filled-in section of the embankment with a width of up to 30 m was previously part of the water area of the reservoir. The area was formed in 2010–2011, mainly by dumping sandy soils up to 5.0 m thick and more, with a sheet pile wall separating the area from the reservoir. The surface of the new embankment is smooth and practically flat, with a slight slope towards the reservoir. The hydrogeological conditions of the area are characterized by the presence of groundwater, identified within the overflow terrace and at the foot of the bedrock slope of the Izh River valley. The water comes to the surface in the form of numerous cesspools and downward-flowing springs at the foot of the slope. Within the study area, four locations of water outlet concentrations are equipped with captage. In the course of the study, a detailed analysis of physical and mechanical properties of soils and corrosivity of groundwater to the basic construction materials was carried out. The result of the study is an assessment of geological and hydrogeological conditions in terms of the structure of occurrence of geological soil layers, physical and mechanical properties of soils, depths and nature of groundwater occurrence, their corrosivity. Measures to preserve and strengthen the slopes, groundwater drainage from the territory of slopes and embankment during reconstruction works are proposed.

Keywords: reconstruction of buildings, geological and lithological structure of the site, hydrogeological conditions, physical and mechanical properties of soils, corrosivity of the environment to the main building materials

For citation: Grakhov V. P., Kislyakov M. A., Kislyakov A. A. (2025) Analysis of Geological and Hydrogeological Conditions during the Reconstruction of the Embankment of the Izhevsk Reservoir. *Science and Technique*. 24 (4), 307–316. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2025-24-4-307-316> (in Russian)

Введение

Участок проектируемого строительства находится в Октябрьском районе г. Ижевска, на левобережье Ижевского водохранилища (Набережная зодчего Дудина), в границах набережной от лестничного схода монумента «Дружба народов» до устья речки Подборенки и частично примыкающего к ней коренного склона до улицы Милиционной с переулком Широкий [1].

Территория проектируемого строительства характеризуется достаточно хорошей инженерно-геологической изученностью, ранее здесь, непосредственно в пределах исследуемой площадки и на прилегающей территории, имеющей общую геоморфологическую привязку и аналогичные инженерно-геологические условия, выполнялись изыскания в период 1967–2011 гг. изыскательскими подразделениями проектного института «Удмуртгражданпроект».

В геоморфологическом отношении исследуемый участок расположен на левобережном коренном склоне и аллювиальной надпойменной террасе долины р. Иж [2]. Отсыпанный участок набережной вдоль береговой линии шириной до 30 м ранее представлял акваторию водохранилища. Отсыпка производилась в течение 2010–2011 гг. преимущественно песчаными грунтами мощностью до 5,0 м и более, от водохранилища она отгорожена шпунтовой

стенкой. Поверхность новой набережной ровная, практически плоская, с общим незначительным уклоном в сторону водохранилища, абсолютные отметки поверхности составляют 100,8–100,9 м.

Поверхность коренного склона имеет навалы насыпных грунтов, местами срезана, на отдельных участках террасирована старыми фронтальными оползнями. Почти на всем протяжении в подножии коренного склона имеются выходы подземных вод в виде мочажин и нисходящих родников. Территория склона в основном свободна от застройки, за исключением участка в районе пер. Широкий, который занят 1–2-этажной деревянной усадебной застройкой с хозяйственно-бытовыми постройками, садами и огородами [3].

На период проведения полевых инженерных изысканий (ноябрь 2011 г.) склон в целом находился в устойчивом состоянии, проявлений активизации оползней не наблюдается.

Склон повсеместно зарос кленом, тополями и мелким кустарником, которые своей корневой системой существенно защищают поверхность от развития современных эрозионных процессов.

По результатам рекогносцировочного обследования территории в 2017 г., произошедших изменений рельефа, гидрогеологических условий и техногенных воздействий со времени последних изысканий 2011 г. не отмечается.

На основе анализа пространственной изменчивости частных значений показателей физико-механических свойств грунтов, определенных лабораторными методами, с учетом информации о геологическом строении и литологическом составе исследуемого разреза были выделены следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ):

№ 1а – насыпные грунты, представленные песками, tQ ;

№ 1 – насыпные грунты, представленные суглинками, tQ ;

№ 2 – аллювиальные пески aQ ;

№ 3 – аллювиальные суглинки мягкопластичные aQ ;

№ 4 – аллювиальные суглинки текучепластичные aQ ;

№ 5 – делювиальные пески dQ ;

№ 6 – среднепермские глины элювиированные eP_2 ;

№ 7 – среднепермские глины плотные P_2 ;

№ 8 – среднепермские пески P_2 .

Гидрогеологические условия исследуемой территории характеризуются развитием грунтовых вод, вскрытых в пределах надпойменной террасы и подножия коренного склона долины реки Иж.

Уровень их по результатам изысканий (осень–зима 2011 г., осень 2008 г., осень–зима 2007 г.) изменяется в пределах 0,0–4,9 м от дневной поверхности, что соответствует абсолютным отметкам 98,9–104,5 м.

Воды имеют выходы на дневную поверхность в виде многочисленных мочажин и нисходящих родников в подножии коренного склона. В пределах исследуемой территории концентрированные выходы в четырех местах обустроены каптажем.

В районе северной части в подножии коренного склона у поворота проезжей части ул. Набережной происходит выход подземных вод в виде нисходящего родника (№ 1). Нумерация родников на исследуемой территории приведена с севера на юг. Родник каптирован железобетонным ограждением и металлической трубой диаметром 50 мм. Расход воды, замеренный на период изысканий (ноябрь 2011 г.) объемным способом, составил 0,3 л/с, вода стекает в бетонный лоток. Рядом с родником,

с восточной стороны со склона по тальвегу слабовыраженной в рельефе лощины, стекает ручей. Ширина потока воды 0,30 м, глубина 0,05 м, скорость течения 0,20 м/с, дно песчаное.

В 30 м вдоль проезжей части ул. Набережной к югу от родника № 1 находится выход подземных вод в виде родника № 2. Родник каптирован железобетонным ограждением и металлической трубой диаметром 30 мм. Расход воды, замеренный объемным способом, составил 0,4 л/с.

В огороде по пер. Широкий, д. 4, также в тальвеге пологой лощины имеются выходы подземных вод в виде нисходящего родника № 3 и мочажин. Родник каптирован железобетонным ограждением и имеет водослив по металлической трубе. Расход воды, замеренный в этот период объемным способом, составляет 0,18 л/с.

Из слива, оборудованного на роднике № 3, вытекает ручей шириной 0,5 м, глубиной 0,1 м, течет в южном направлении, далее уходит в стальную трубу Д 600 и стекает в акваторию водохранилища.

В 30 м к северо-востоку от здания кафе «Кораблик» у проезжей части ул. Набережной находится концентрированный выход подземных вод в виде нисходящего родника № 4. Родник каптирован железобетонным ограждением и металлической трубой диаметром 50 мм. Расход воды, замеренный объемным способом, составил 0,6 л/с.

Участок подножия склона в районе исследований характеризуется малодобитными выходами подземных вод в виде мочажин.

В период активного весеннего снеготаяния расходы в родниках увеличиваются почти в 2–2,5 раза.

Геологическое строение

В геолого-литологическом строении принимают участие техногенные грунты (насыпные tQ), аллювиальные (aQ) и делювиальные (dQ) отложения четвертичного возраста, подстилаемые на глубине 0,5–14,1 м породами уржумского яруса средней перми (P_{2ur}). На крутых участках склона, прилегающих

к территории монумента «Дружба народов», среднепермские отложения выходят на дневную поверхность [4].

Техногенные грунты (tQ) представлены практически повсеместно в пределах набережной и прилегающей части склона.

По времени и способу отсыпки они разделяются на планомерно возведенную насыпь и свалки грунтов и отходов производств.

Первые грунты, привезенные с карьера, отсыпаны с уплотнением при проведении работ по расширению набережной в сторону акватории в течение 2010–2011 гг. Для отсыпки использованы в основном пески пермского возраста. По цвету пески зеленовато-бурые, коричневые, по гранулометрическому составу разнозернистые, от пылеватых до средней крупности. Находятся они в основном в водонасыщенном состоянии, содержат гнезда красно-бурых глин. Грунты слежавшиеся. Мощность их составляет 3,0–5,3 м.

Грунты второй разновидности, слагающие отсыпку прежней набережной и застроенной части исследуемой территории, представлены также неоднородно перемешанными между собой суглинками, разнозернистыми песками со строительным и бытовым мусором (обломки кирпичей, булыжника, щебня, шлака и др.). По времени самоуплотнения характеризуются как слежавшиеся (более 30 лет). Вскрытая мощность их составляет от 0,3 до 2,4 м.

Насыпные грунты, представленные преимущественно песками, слагающими тело расширенной набережной, выделены в ИГЭ № 1а, а насыпные грунты, представленные преимущественно суглинками (прежняя набережная), выделены в ИГЭ № 1.

Аллювиальные (aQ) отложения, вскрытые вдоль береговой линии водохранилища у подножия коренного склона, слагают надпойменную террасу реки Иж. Они залегают непосредственно на поверхности среднепермских отложений, представлены песками и суглинками. Вся толща аллювиальных отложений полностью обводнена.

Пески коричневые, серовато-коричневые, серые, пылеватые и мелкие, насыщенные водой, в кровле слоя средней плотности, с глубиной более плотные. Вскрытая мощность составляет от 0,7 до 7,5 м и более.

Аллювиальные пески выделены в ИГЭ № 2.

Суглинки коричневые, серые и серовато-коричневые, по состоянию преимущественно текучепластичные, реже мягкопластичные, с отдельными прослойками тугопластичных разностей в подошве суглинков или песков. По числу пластичности суглинки в основном легкие, песчанистые, иногда прослойками тяжелые с примесью органических веществ. Суглинки переслаиваются с одновозрастными песками или залегают в толще песков. Вскрытая мощность суглинков от 0,4 до 9,2 м и более.

Аллювиальные суглинки мягкопластичные выделены в инженерно-геологический элемент № 3 вскрытой мощностью слоя 0,6–3,0 м.

Аллювиальные суглинки текучепластичные, в основном легкие, песчанистые, выделены инженерно-геологический элемент № 4, мощность слоя 0,4–9,2 м.

Делювиальные (dQ) отложения залегают на склоне и в его подножии в виде маломощного чехла на поверхности среднепермских отложений. Они вскрыты под насыпными грунтами с глубины 0,5 м. В литологическом отношении отложения представлены песками.

Пески светло-бурые, по гранулометрическому составу мелкие, средней плотности, малой степени водонасыщения, глинистые. Мощность песков составляет 1,7 м.

Делювиальные пески выделены в ИГЭ № 5.

Среднепермские (eP_2 , P_2) отложения залегают под вышеописанными насыпными, аллювиальными и делювиальными образованиями, литологически представлены глинами и песками.

Глины красноцветные, в кровле толщи слоем вскрытой мощностью от 0,3 до 2,9 м неоднородно выветрелые, элювиированные, от тугопластичных до твердых, ниже твердые и более плотные. Глины известковые, алевроитистые, с прослоями голубовато-серых алевроитов, на отдельных участках с редким щебнем и дресвой известняков. Вскрытая мощность глин составила от 0,3 до 7,4 м и более.

Элювиированные глины выделены в ИГЭ № 6, плотные глины выделены в ИГЭ № 7.

Пески зеленовато-коричневые, серовато-зеленые, по грансоставу разнозернистые, от

пылеватых и мелких до средней крупности, в основном средней степени водонасыщения и насыщенные водой, слабосцементированные. Пески залегают в толще глин в виде линзовидных слоев. Вскрытая мощность их составляет 2,6–5,3 м и более.

Среднепермские пески выделены в ИГЭ № 8.

Условия залегания литолого-генетических видов и разновидностей грунтов приведены на инженерно-геологическом разрезе (рис. 1).

По степени водопроницаемости, согласно т. Б.7 ГОСТ 25100–2011 [5], грунты ИГЭ № 1а, 2, 5, 8 – насыпные грунты песчаные, четвертичные и среднепермские пески ($K_{\phi} = 1,2, 0,9, 1,5$ м/сут.), являются водопроницаемыми, ИГЭ № 1, 4, 6 и 7 – насыпные грунты глинистые, четвертичные суглинки и среднепермские глины, относятся к слабопроницаемым ($K_{\phi} = 0,18, 0,1, 0,14$ и $0,02$ м/сут.).

Физико-механические характеристики грунтов приведены в табл. 1.

По степени морозной пучинистости, согласно п. 2.137 Пособия к СНиП 2.02.01.83 [6], грунты ИГЭ № 1а насыпные песчаные и № 2 пески относятся к среднепучинистым, № 5 пески – к слабопучинистым, согласно п. 6.8.3, 6.8.8 СП 22-13330–2011 «Основания зданий и

сооружений» глинистые грунты в зависимости от параметра R_f относятся: ИГЭ № 1, 3, 4 – к сильнопучинистым, ИГЭ № 6 – к среднепучинистым, ИГЭ № 7 и 8 – к практически непучинистым.

Нормативная глубина промерзания грунтов, по данным теплотехнических расчетов согласно п. 5.5.3 СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений», при сумме среднемесячных отрицательных температур за зиму $M_t = 46,6$ (г. Ижевск, по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология») равна для глинистых грунтов – 1,57 м, для песков пылеватых и мелких – 1,91 м, для песков средней крупности и гравелистых – 2,05 м.

Гидрогеологические условия

Гидрогеологические условия исследуемой территории характеризуются развитием грунтовых вод, вскрытых в пределах надпойменной террасы и подножия коренного склона долины реки Иж.

Уровень их на период настоящих изысканий (зима 2017 г.) и предыдущих (осень–зима 2011 г. [7]) изменяется в пределах 0,0–3,2 м от дневной поверхности, что соответствует абсолютным отметкам 98,9–105,1 м.

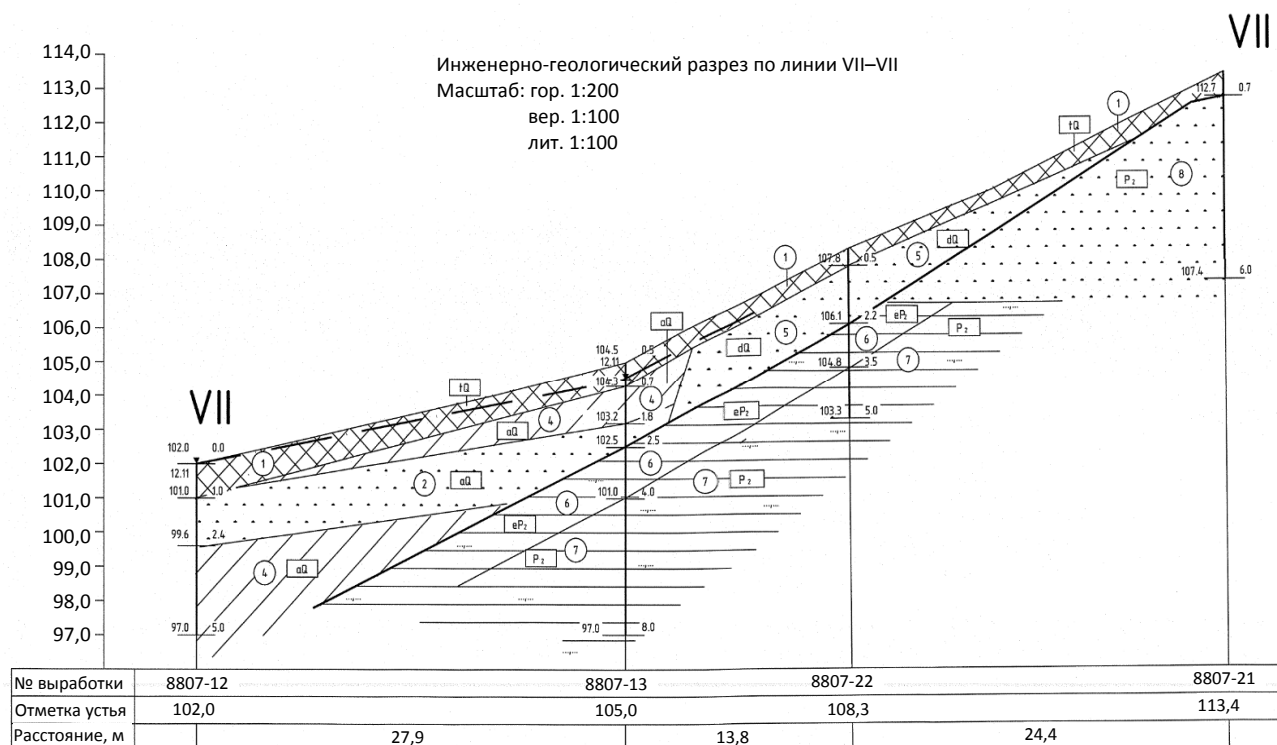


Рис. 1. Характерный инженерно-геологический разрез склона от основания до ул. Милиционной

Fig. 1. Characteristic engineering-geological section of the slope from the base to Militiionnaya Street

Физико-механические характеристики грунтов
Physical and mechanical characteristics of soils

№ ИГЭ	Геологический индекс	Показатель текучести	Коэффициент пористости	Плотность, г/см ³		Угол внутреннего трения, град.		Удельное сцепление, кПа		Модуль деформации, МПа	Коэффициент фильтрации, м/сут.
				0,85	0,95	0,85	0,95	0,85	0,95		
1a	<i>tQ</i>		0,63	1,90	1,88	41	37	8	5		1,20
1	<i>tQ</i>		0,74	$\frac{1,92}{1,98}$	$\frac{1,90}{2,00}$						0,18
2	<i>aQ</i>		0,63	$\frac{1,95}{2,01}$	$\frac{1,92}{2,04}$	29	27	5	4	10	0,90
3	<i>aQ</i>	0,57	0,75	$\frac{1,88}{2,00}$	$\frac{1,84}{2,04}$	13	12	12	10	6	0,10
4	<i>aQ</i>	0,79	0,88	$\frac{1,85}{1,93}$	$\frac{1,83}{1,95}$	13	12	9	8	4	0,10
5	<i>dQ</i>		0,68	1,76	1,73	29	28	4	2	11	1,50
6	<i>eP₂</i>	0,24	0,70	$\frac{1,97}{2,01}$	$\frac{1,95}{2,03}$	18	14	52	41	18	0,14
7	<i>P₂</i>	-0,21	0,49	$\frac{2,07}{2,13}$	$\frac{2,05}{2,15}$	28	27	90	83	24	0,02
8	<i>P₂</i>		0,65	1,88	1,86	30	28	7	6	22	1,5

Воды имеют выходы на дневную поверхность в виде многочисленных мочажин и нисходящих родников в подножии коренного склона. В пределах исследуемой территории концентрированные выходы в четырех местах обустроены каптажем. Выше по уклону коренного склона скважинами глубиной до 3–6 м (до ул. Милиционной) грунтовые воды не вскрыты.

Водовмещающими породами в пределах вскрытого разреза служат преимущественно четвертичные аллювиальные пески и суглинки, а также среднепермские пески и элювирирован-

ные глины, водоупором в основном служат плотные среднепермские глины. Грунтовые воды разновозрастных отложений свободно сообщаются друг с другом, депрессионная кривая их уровня, плавно изгибаясь, переходит из одних отложений в другие. Воды безнапорные, питание происходит за счет атмосферных осадков [8]. Общее направление движения грунтового потока происходит в юго-западном направлении, в сторону водохранилища.

Характер изменения уровня грунтовых вод от основания склона до шпунтового ограждения набережной приведен на рис. 2.

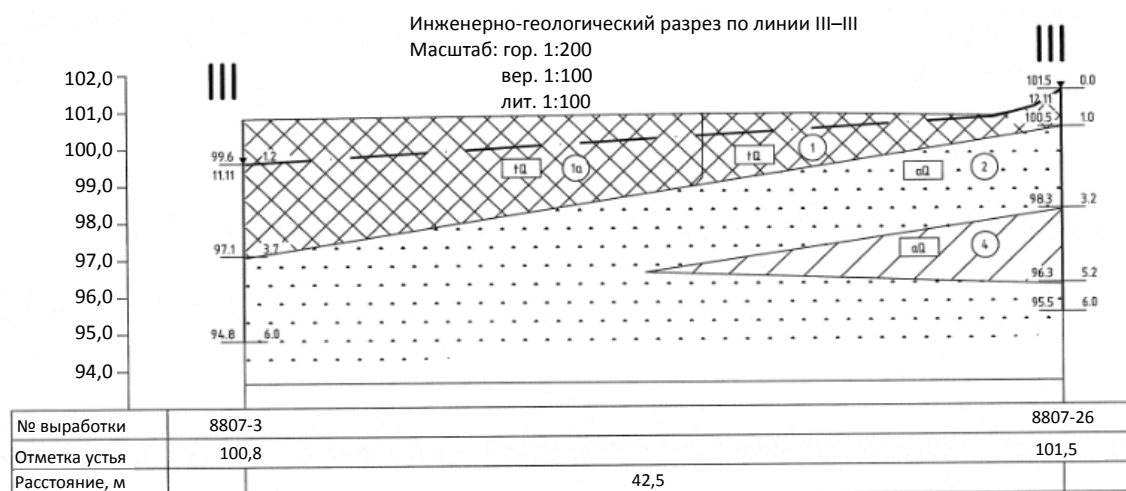


Рис. 2. Характер изменения уровня грунтовых вод от основания склона до шпунтового ограждения набережной

Fig. 2. Character of groundwater level change from the base of the slope to the sheet piling embankment fence

Для перехвата и отвода грунтовых вод проектом реконструкции предусматривается дренажная сеть с устройством каптажных колодцев в местах выхода мочажин. Пример дренажной сети показан на рис. 3.

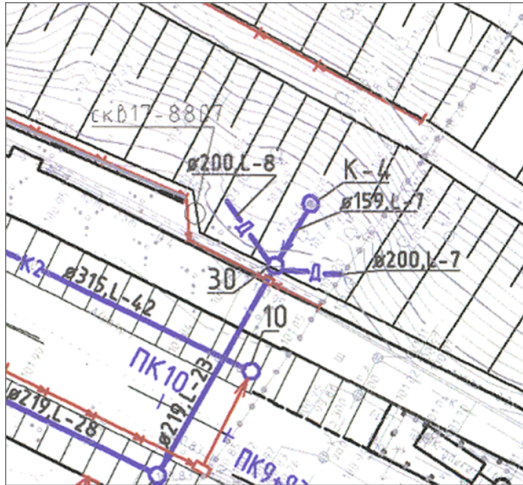


Рис. 3. Пример дренажной сети для перехвата и отвода грунтовых вод

Fig. 3. Example of a drainage network for interception and drainage of groundwater

Конструктивное решение каптажного колодца представлено на рис. 4.

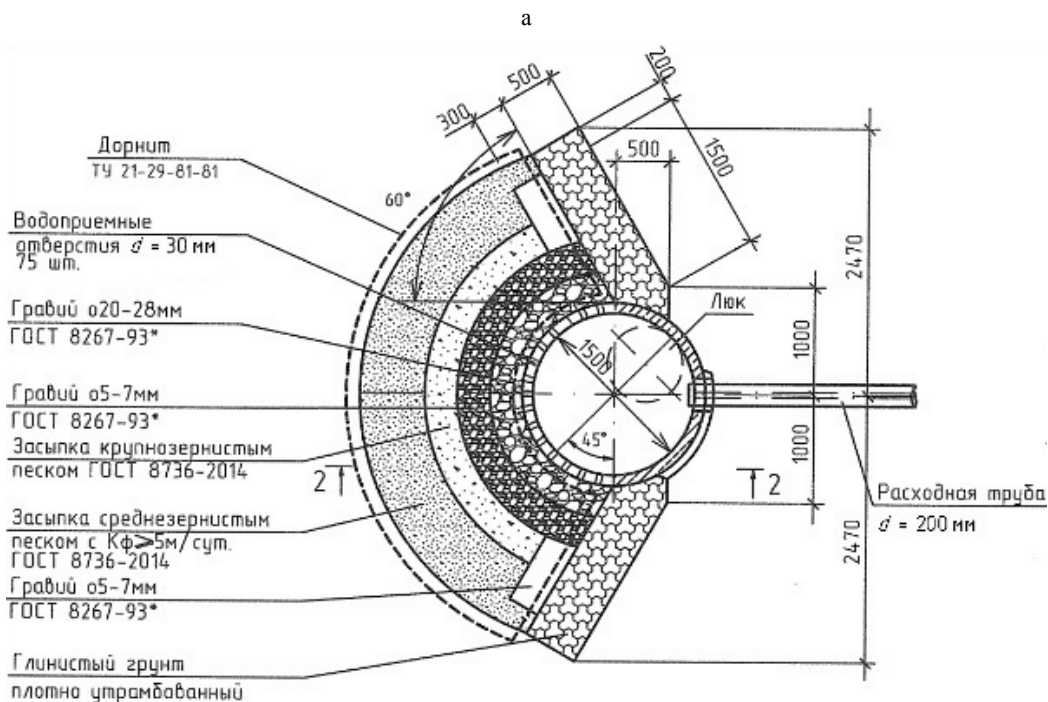


Рис. 4. Устройство каптажного колодца: а – план; б – разрез (окончание рис. см. на стр. 314)

Fig. 4. Construction of a drip well: a – Plan of the drip well; b – Sectional view (end of figure see on page 314)

Для дренирования грунтовой воды в колодец устраивается перфорация бетонной стенки, просверливаются отверстия диаметром 30 мм с шагом 150 на 150 мм (рис. 5).

Грунтовые воды по минерализации пресные (0,70 мг/л). По анионному составу они хлоридно-гидрокарбонатные, по катионному составу кальциевые и натриево-кальциевые, очень жесткие, кислые и нейтральные.

Коррозионная агрессивность вод по отношению к свинцовой оболочке кабеля оценивается как низкая, к алюминиевой оболочке кабеля – как высокая (по ГОСТ 9.602–2005).

По отношению к бетону нормальной (W4) проницаемости воды родников № 1 и 4 обладают слабой степенью углекислотной агрессивности (по СП28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии»). Все воды средне-агрессивны к металлическим конструкциям.

Инженерно-геологические процессы

К карстовому району территория исследования не относится. Физико-геологические процессы на исследуемой территории представлены водно-склоновыми и водно-гравитационными процессами.

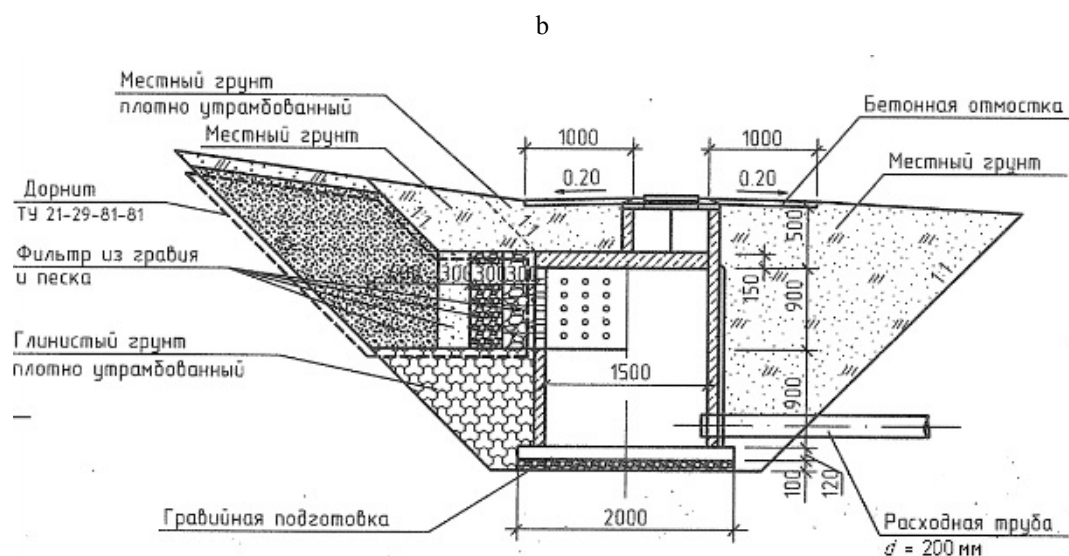


Рис. 4. Окончание

Fig. 4. End

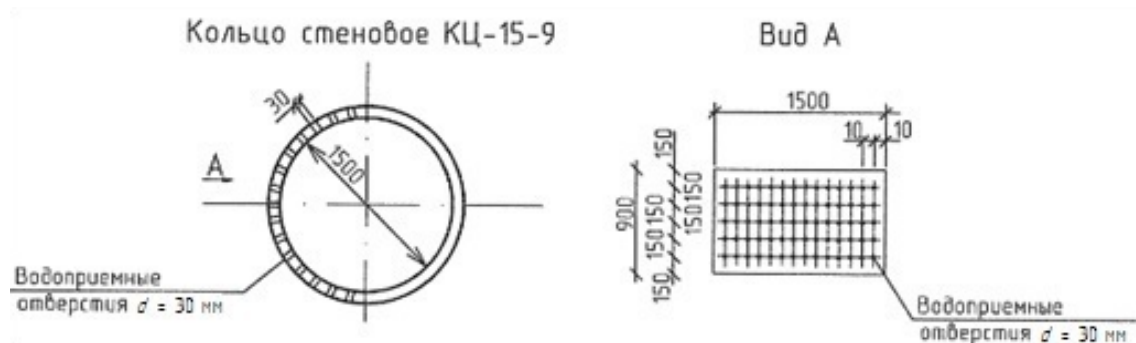


Рис. 5. Водоприемные отверстия в стенке каптажного колодца

Fig. 5. Water inlet openings in the wall of the drip well

Первые связаны с проявлением плоскостного смыва разрушением поверхности склона мелкими струями дождевых и талых вод. В результате на склонах образуются рывтины и промоины, а у подножия – аккумулятивные шлейфы делювиальных отложений [9].

Вторые характеризуются смещением грунтов по склону при его увлажнении. В настоящее время проявляются лишь в образовании сплывов незначительных смещений, захватывающих только самый поверхностный покров на глубину не более 1 м.

Данные процессы не имеют активного развития, их проявления незначительны и отмечены лишь на крутом коренном склоне. Этому в достаточной мере способствует древесная растительность, механически закрепляя своей корневой системой поверхность скло-

на от размыва и смыва дождевыми и тальными водами. Вырубка деревьев и кустарников в совокупности с протекающими процессами обводнения грунтов зоны аэрации может привести к нарушению гравитационного равновесия и потере устойчивости грунтового массива [10]. Кроме того, при этом ожидается развитие линейной эрозии склона дождевыми и тальными водами.

По критериям типизации по подтопляемости исследуемая территория разделяется на два участка, приуроченных к различным геоморфологическим формам рельефа:

а) участок набережной в пределах надпойменной террасы и подножия склона относится к району подтопленных в естественных условиях (постоянно подтопленных, I-A-1 согласно приложению И СП 11-105-97, часть II) [11].

Основным источником подтопления набережной Ижевского водохранилища служат подземные воды, дренирующиеся со стороны коренного склона в его подножии, в условиях подпора их подземного стока от новой подпорной стенки набережной. В данном случае рекомендуется создание горизонтального дренажа, включающего головной дренаж по линии подножия коренного склона и береговой дренаж у подпорной стенки. Кроме того, в местах интенсивного выхода подземных вод (родники, мочажины) для их отвода рекомендуются линейные дренаж-врезы от головного дренажа в сторону склона (в сторону выходов);

б) участок склона вдоль его бровки западнее ул. Милиционной относится к непотопляемым в силу естественных причин (естественный дренаж), III-A-1, подтопление здесь отсутствует и не прогнозируется в будущем.

Однако в периоды весеннего снеготаяния и сильных ливневых и осенних продолжительных дождей верхняя часть склона может интенсивно обводняться водами верховодки, особенно на участках с насыпными грунтами (засыпка траншей подземных инженерных коммуникаций, выравнивание склона при его благоустройстве грунтами, без надежного их закрепления). Обводнение несложившихся (неукрепленных) насыпных грунтов при оттаивании может привести к их сползанию на отдельных насыпных участках склона. Также требуется защита склона от размыва регулированием поверхностного стока.

Проявление морозного пучения грунтов связано с сезонным промерзанием и оттаиванием грунтов. Нормативная глубина промерзания грунтов, по данным теплотехнических расчетов согласно п. 5.5.3 СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений», при сумме среднемесячных отрицательных температур за зиму $Mt = 46,6$ (г. Ижевск, по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология») равна: для глинистых грунтов – 1,57 м, для песков пылеватых и мелких – 1,91 м, для песков средней крупности и гравелистых – 2,05 м.

ВЫВОДЫ

1. Практически на всем протяжении в подножии коренного склона имеются выходы подземных вод в виде мочажин и нисходящих родников.

2. Насыпные грунты, слагающие набережную, обводнены. Уровень грунтовых вод изменяется от поверхности у подножия склонов до отметки уровня Ижевского водохранилища у шпунтового ограждения набережной.

3. Рекомендуется предусмотреть создание горизонтального дренажа, включающего головной дренаж по линии подножия коренного склона и береговой дренаж у подпорной стенки. Кроме того, в местах интенсивного выхода подземных вод (родники, мочажины) для их отвода рекомендуются линейные дренаж-врезы от головного дренажа в сторону склона (в сторону выходов).

4. Грунтовый массив на склоне находится в относительном равновесии. Проявления активизации оползней не наблюдается. Устойчивому состоянию способствуют корни деревьев и кустарников.

5. При проведении работ по планировке откосов, для исключения обводнения грунтов зоны аэрации и развития линейной эрозии склона дождевыми и талыми водами, рекомендуется предусмотреть укрепление склонов геосетками в сочетании с укладкой рулонных газонов и посадкой растительности [12].

6. Требуется проведение мероприятий по надежной инженерной защите участка в верхней части склона от вод верховодки, а также по регулированию поверхностного стока. Учитывая, что здесь будут распространены или образованы неустойчивые насыпные грунты (засыпка траншей подземных инженерных коммуникаций, выравнивание склона при его благоустройстве грунтами без надежного их закрепления), обводнение может привести к разжижению грунтов, к снижению их физико-механических свойств и, как следствие, к сползанию грунтового массива вниз по склону.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грахов, В. П. Пространственное развитие Удмуртии и главные задачи инженерной геологии / В. П. Грахов,

- С. А. Мохначев, А. А. Кисляков, М. А. Кисляков [и др.] // Научное обозрение: теория и практика. 2023. Т. 13, № 5. С. 721–730. <https://doi.org/10.35679/2226-0226-2023-13-5>.
2. Природные ресурсы и экология Удмуртии: сб. Ижевск: Изд-во УдГУ, 1995. 259 с.
 3. Перевощиков, А. П. Экономико-географический и социальный очерк. Ижевск: Удмуртия, 1995. 352 с.
 4. Ельцов Ю. А. Грунты Удмуртии / Ю. А. Ельцов. Ижевск, 1983. 175 с.
 5. Грунты. Классификация: ГОСТ 25100–2011. Взамен ГОСТ 25100–95; Введ. 01.01.2013. М.: Стандартинформ, 2013.
 6. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2-02.01–83). М.: Стройиздат, 1986.
 7. Реконструкция набережной Ижевского водохранилища, 4-я очередь строительства (благоустройство от эспланады до устья р. Подборенка). Инженерно-геологические изыскания / ЗАО Удмуртгражданпроект. Ижевск, 2011. Арх. № 8807.
 8. Рекомендации по определению гидрогеологических параметров грунтов методом откачки воды из скважин. М.: Стройиздат, 1986.
 9. Рысин, И. И. Овражная эрозия в Удмуртии / И. И. Рысин. Ижевск: Изд-во УдГУ, 1998. 274 с.
 10. A Linked Geomorphological and Geophysical Modelling Methodology Applied to an Active Landslide / J. Boyd, J. Chambers, P. Wilkinson [et al.] // Landslides. 2021. Vol. 18, No 8, P. 2689–2704. <https://doi.org/10.1007/s10346-021-01666-w>.
 11. Геоэкологические проблемы Удмуртии: сб. Ижевск: Изд-во УдГУ, 1997. 158 с.
 12. Кисляков, А. А. Опыт применения геосеток при реконструкции набережной Ижевского водохранилища / А. А. Кисляков, М. А. Кисляков, Н. К. Симаков // Социально-экономическое управление: теория и практика. 2019. № 2 (37). С. 131–134.
- Поступила 03.03.2025
Подписана к печати 23.06.2025
Опубликована онлайн 31.07.2025
- tial Development of Udmurtia and the Main Tasks of Engineering Geology. *Nauchnoe Obozrenie: Teoriya i Praktika* = *Scientific Review: Theory and Practice*, 13 (5), 721–730. <https://doi.org/10.35679/2226-0226-2023-13-5> (in Russian)
 2. *Natural Resources and Ecology of Udmurtia: Collection*. Izhevsk, Udmurt State University Publishing House, 1995. P. 259 (in Russian).
 3. Perevoshchikov A. P. (1995) Economic, geographical and social overview. Izhevsk, Udmurtia Publ. P. 352 (in Russian).
 4. Eltsov Yu. A. (1983) *Soils of Udmurtia*. Izhevsk. P. 175 (in Russian).
 5. State Standard 25100-2011. *Soils. Classification*. Moscow, Standartinform Publ., 2013 (in Russian).
 6. *Manual for Designing Foundations of Buildings and Structures (to SNiP [Construction Rules and Regulations] 2-02.01-83)*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986 (in Russian).
 7. CJSC Udmurtgrazhdanproekt (2011) *Reconstruction of the Embankment of the Izhevsk Reservoir, Phase 4 of Construction (Improvement from the Esplanade to the Mouth of the Podborenka River). Engineering and Geological Surveys*. Izhevsk. Archive No. 8807 (in Russian).
 8. *Recommendations for Determining the Hydrogeological Parameters of Soils by Pumping Water from Wells*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986 (in Russian).
 9. Rysin I. I. (1998) *Ravine Erosion in Udmurtia*. Izhevsk, Udmurt State University Publishing House. P. 274 (in Russian).
 10. A Linked Geomorphological and Geophysical Modelling Methodology Applied to an Active Landslide / J. Boyd, J. Chambers, P. Wilkinson [et al.] // *Landslides*. 2021. Vol. 18, No 8, P. 2689–2704. <https://doi.org/10.1007/s10346-021-01666-w>.
 11. *Geocological Problems of Udmurtia: Collection*. Izhevsk, Udmurt State University Publishing House, 1997. P. 158 (in Russian).
 12. Kislyakov, A. A. Kislyakov M. A., Simakov N. K. (2019) Experience in Using Geogrids in the Reconstruction of the Embankment of the Izhevsk Reservoir. *Sotsialno-Ekonomicheskoe Upravlenie: Teoriya i Praktika* [Socio-Economic Management: Theory and Practice], (2), P. 131–134 (in Russian).

REFERENCES

1. Grakhov V. P., Mokhnachev S. A., Kislyakov A. A., Kislyakov M. A., Oleshko A. S., Simakov N. K. (2023) Spa-

Received: 03.03.2025

Accepted: 23.06.2025

Published online: 31.07.2025