УДК 624.131.1

Р.Э.ДАШКО, *д-р. геол.-мин. наук, профессор, regda2002@mail.ru*
Н.А.ПЕРЕВОЩИКОВА, *аспирант, perevoshikova-n@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург
Д.Ю.ВЛАСОВ, *д-р. биол. наук, доцент, Dmitry.Vlasov@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный университет

R.E.DASHKO, *Dr. in geol. & min. sc., professor, regda2002@mail.ru*
N.A.PEREVOSHCHIKOVA, *post-graduate student, perevoshikova-n@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg
D.Yu.VLASOV, *Dr. in biol. sc., associate professor, Dmitry.Vlasov@mail.ru*
Saint Petersburg State University

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РАЗРУШЕНИЕ БЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЙ ЧЕБОКСАРСКОЙ ГЭС

Дана краткая характеристика инженерно-геологических и гидрологических условий основания бетонных сооружений. Проанализированы факторы формирования экологической обстановки в придонной зоне водохранилища Чебоксарской ГЭС. Рассмотрена динамика изменения активности и численности микроорганизмов в воде и донных отложениях водохранилища. Изложены результаты специализированной съемки в сухой потерне о состоянии бетонов здания ГЭС и водосливной плотины в 2010-2011 гг., проведена сравнительная оценка микробиологической деятельности, которая способствует развитию активной деятельности биокоррозии бетонов и металлов. Показана высокая бионеустойчивость материалов, применяемых для ремонтных работ (заделки различных дефектов в бетонных конструкциях).

***Ключевые слова*:** Чебоксарская ГЭС, бетонные сооружения, водохранилище, донные отложения, микромицеты, бактерии, сухая потерна, фильтрация, подземные воды, формы разрушения бетонов, биокоррозия.

INFLUENCE OF SOME GEOECOLOGICAL FACTORS ON DESTRUCTION OF CONCRETE CONSTRUCTIONS OF CHEBOKSARY HYDROELECTRIC POWER PLANT

The short characteristic of engineering-geological and hydrological conditions of the grounds of concrete constructions is given. Factors of formation of ecological conditions in a benthonic zone of a water basin of Cheboksary hydroelectric power plant are analyzed. Dynamics of change of activity and number of microorganisms in water and bed deposits of a water basin is considered. Results of specialized shooting in dry footway about a condition of concrete of a hydroelectric power plant building of and an overflow dam in 2010-2011 are stated, the comparative estimation of microbiological activity which promotes development of the vigorous activity of biocorrosion of concrete and metals is spent. It is shown high microbes prevalence the materials applied to repair work (seals of various defects in concrete designs).

***Key words*:** Cheboksary hydroelectric power plant, concrete constructions, a water basin, bed deposits, microfungus, bacteria, dry footway, a filtration, underground waters, forms of destruction of concrete, biocorrosion.

Чебоксарская ГЭС, расположенная на р. Волге в Республике Чувашия в 15 км ниже г. Чебоксары, представляет собой низконапорную гидроэлектростанцию руслового типа и является пятой ступенью каскада волжских гидроэлектростанций (расположена между Горьковской и Волжской ГЭС). К основным сооружениям ГЭС относятся глухая земляная плотина (левобережное примыкание к низкому берегу р. Волги), бетонная водосливная плотина (две секции), здание машинного зала (девять секций) и примыкающий к правому крутому берегу Волги шлюз. В статье особое внимание уделяется оценке состояния основных бетонных сооружений: водосливной плотине и зданию ГЭС, в связи с тем, что уровень водохранилища не достигает проектной отметки +68,0 м. В настоящее время уровень верхнего бьефа (НПУ) варьирует в пределах 61,0-63,0 м. Подъем уровня в водохранилище сдерживается неготовностью комплекса инженерной защиты от затопления и подтопления отдельных районов, а также разногласиями между регионами по поводу уровня водохранилища. Подъем уровня будет сопровождаться повышением гидростатического и гидродинамического давления на подпорные сооружения и породы основания, а также активизацией процесса фильтрации через плотину здания ГЭС и под подпорными сооружениями, что, несомненно, будет влиять на эксплуатационную надежность рассматриваемого объекта.

Здание ГЭС, протяженностью 547,5 м, является наиболее заглубленным бетонным сооружением, в основании здания которого прослеживаются отложения сарминской свиты татарского яруса верхнего отдела пермской системы, представленные толщей переслаивания известняков с мергелями и маломощными прослоями глин (0,03-0,30 м). К отложениям трещиноватых известняков и мергелей приурочен напорный водоносный горизонт, содержащий минерализованные воды, которые при восходящей фильтрации оказывают влияние на подземные бетонные конструкции здания ГЭС.

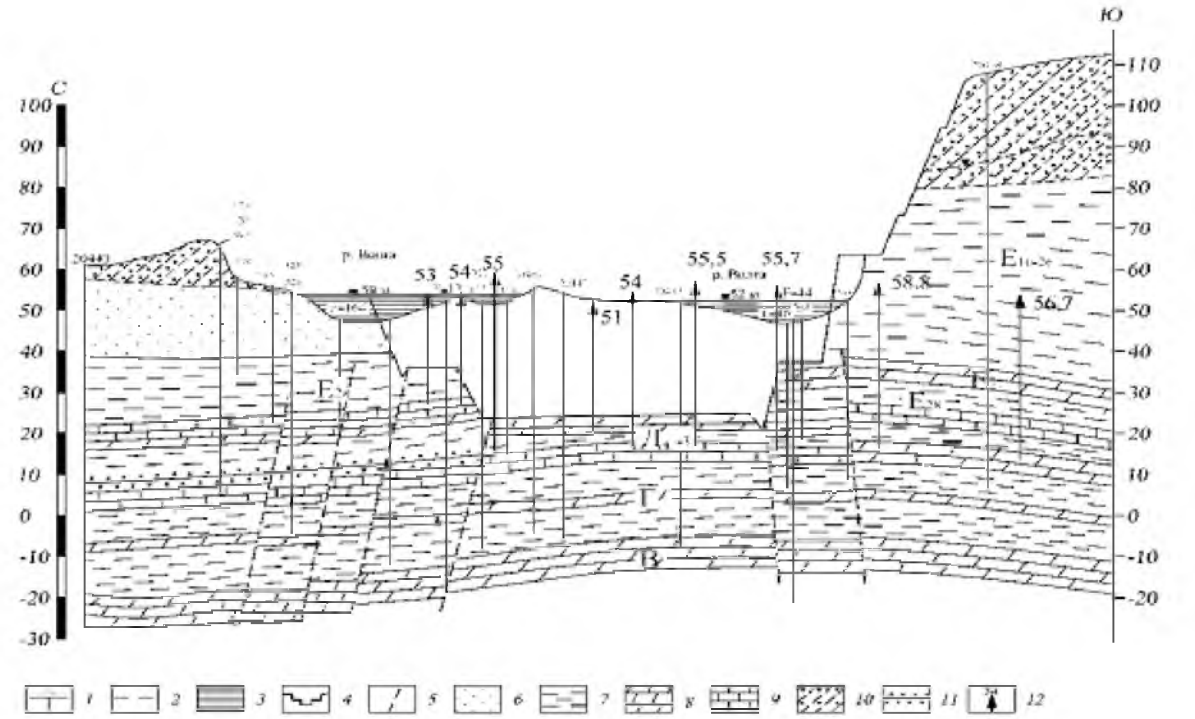
Подошва водосливной бетонной плотины (ВСП) расположена на более высоких отметках по сравнению с машинным залом (понур 35,4 м и водослив 33,8 м). Основанием ВСП служат полиминеральные глинистые отложения сарминской свиты татарского яруса верхнего отдела перми с включениями карбонатов, с линзами и прослоями алеврита, которые подстилаются терригенно-карбонатной водонасыщенной толщей (см. рисунок).

Присутствие в составе глинистой фракции монтмориллонита способствует высокой физико-химической активности глин, прежде всего интенсивности катионного обмена, что приводит к изменению состояния и свойств этих отложений. Пермские глины следует рассматривать как трещиновато-блочную среду. Трещиноватость этих глин имеет тектонический и нетектонический генезис и была зафиксирована еще в период инженерно-геологических изысканий в створе Чебоксарской ГЭС. В структурно-тектоническом отношении зона основания ГЭС и водосливной плотины находится между крупными тектоническими разломами и нарушениями, по которым происходит разгрузка минерализованных сульфатных и сульфатно-хлоридных натриевых вод, содержащих азот, диоксид углерода, метан, водород, радон, гелий и аргон. Подземные воды, поступающие по разломам, обладают коррозионной агрессивностью по отношению к металлам и бетону [1].

В 2010-2011 гг. сотрудниками кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Горного университета проводились специализированные исследования на Чебоксарской ГЭС со следующими задачами:

- определение специфики взаимодействия вод водохранилища и подземных вод с бетонными и металлическими конструкциями ГЭС для установления их коррозионной активности;
- анализ и оценка причин разрушения бетонных сооружений, в том числе и за счет геоэкологических факторов;
- особенности динамики разрушения бетонов за годовой цикл наблюдений.

В процессе проведения специализированной съемки здания ГЭС и водосливной плотины осуществлялась фотофиксация



Схематический геолого-стратиграфический разрез основания водосливной плотины и здания Чебоксарской ГЭС
1 – скважина; 2 – уровень подземных вод; 3 – речная вода; 4 – контур основания ГЭС; 5 – тектоническое нарушение; 6 – пески; 7 – аргиллиты; 8 – мергели; 9 – известняки; 10 – суглинки; 11 – алевролиты; 12 – пьезометрический уровень (до начала строительства)

дезинтегрированных зон в стенках сухой потерны, отбор проб разрушенных конструкционных материалов, а также различных натечных форм с последующим микробиологическим анализом видового состава и численности колониеобразующих единиц (КОЕ). Для проведения микробиологического исследования в донных отложениях Чебоксарского водохранилища были отобраны пробы взвеси и илов со стороны верхнего и нижнего бьефов с помощью батометра.

Сравнительный анализ результатов исследований в 2010-2011 гг. показал, что в пределах верхнего бьефа наблюдается увеличение численности и изменение видового состава микроорганизмов по сравнению с исследованиями 2010 г., что свидетельствует об активизации микробной деятельности в донных отложениях Чебоксарского водохранилища. В 2010 г. в придонном слое воды верхнего бьефа была установлена высокая численность микроорганизмов – $1{,}6 \cdot 10^5$. Все выявленные формы находятся в жизнеспособном состоянии. Увеличение численности микромицетов в верхнем бьефе, по результатам исследований 2011 г., сопровождается также изменениями в их видовом составе. При этом общее количество бактерий в донных отложениях по сравнению с исследованиями в 2010 г. снизилось на порядок, но остается довольно высоким. В пределах нижнего бьефа прослеживается некоторое снижение численности и видового состава микромицетов, но увеличение общего числа бактерий почти на два порядка (табл.1). В донных отложениях водохранилища наблюдается благоприятная обстановка для развития микробной деятельности.

Большая площадь мелководий (31,5 % от общей площади водохранилища), затопленные пашни, усадьбы на площади 7,7 тыс.га, сенокосы и выгоны скота на 46,5 тыс.га, бывшие лесные угодья (97,8 тыс.га), незавершенное строительство систем инженерной защиты, а также отсутствие водоохранных зон, создают благоприятные условия для активизации и увеличении численности и видового разнообразия микроорганизмов. Обогащение микроорганизмами также происходит за счет затопленных

Таблица 1

Результаты микробиологического анализа донных отложений, отобранных со стороны верхнего и нижнего бьефа

Бьеф	Дата отбора пробы	Микромицеты	Численность микромицетов (КОЕ в 1 г материала)	Общее число бактерий (КОЕ в 1 г материала)
Верхний	Июль 2010 г.	Gliocladium catenulatum Mucor hiemalis Penicillium citreo-nigrum Trichoderma viride	1400	$3{,}8 \cdot 10^8$
	Июль 2011 г.	Humicola grisea Scytalidium lignicola Mucor racemosus Trichoderma viride Fusarium chlamydosporum Бактериальные колонии обильны	6000	$3{,}0 \cdot 10^7$
Нижний	Июль 2010 г.	Fusarium sporotrichioides Mucor hiemalis Myceliophthora sp. Penicillium brevicompactum Rhizopus stolonifer Trichoderma viride	1200	$3{,}6 \cdot 10^6$
	Июль 2011 г.	Trichoderma aurantiogriseum Mucor racemosus Trichoderma koningii Бактериальные колонии обильны	1000	$1{,}4 \cdot 10^8$

болот (в пределах поймы р. Волги с поверхности залегают болотные и озерно-болотные отложения мощностью 3,0-4,0 м, а в пониженных участках надпойменных террас развиты торфа и заторфованные слабые грунты мощностью до 5,0 м), свалок и захороненных кладбищ, что способствует увеличению численности анаэробных, факультативных и гетеротрофных микроорганизмов.

Дополнительное привнесение микроорганизмов обеспечивается за счет разгрузки подземных вод водоносных горизонтов в процессе их восходящей фильтрации из пермских пород татарского яруса. Поступление минерализованных вод в зону основания бетонных сооружений также рассматривается как благоприятный фактор развития микробиоты за счет увеличения питательных субстратов в водной среде. В результате исследований 2010 г. по гидрохимическим створам в пределах верхнего бьефа водохранилища было определено содержание органики в воде по величине ХПК 23,1-28,4 мгO_2/дм^3 и перманганатной окисляемости 9,9-10,8 мгO_2/дм^3. Замеры величины окислительно-восстановительного потенциала Eh (in situ) зафиксировали анаэробные условия в придонной части (Eh от −8 до −35 мВ).

За состоянием бетонных сооружений Чебоксарской ГЭС ведется постоянное наблюдение диагностической службой Чебоксарской ГЭС, однако анализ причин разрушения бетонных сооружений ею не проводится. Наибольшая степень трещиноватости отмечается в бетонах водосливной плотины. В 1-й секции водосливной плотины общая протяженность всех трещин составила 125 м, а во 2-й – почти 143 м. В ходе обследования состояния бетонных сооружений Чебоксарской ГЭС, выполненного сотрудниками университета, в выявленных дезинтегрированных зонах было зафиксировано выщелачивание бетона, вынос компонента материала, используемого при ремонтных работах, формирование натечных форм (сталактитов и высолов), образование течей и капежа воды на стенах и потолочине потерны.

В пределах сухой потерны были отобраны пробы разрушенных конструкционных материалов и натечных форм для последующего микробиологического анализа и выявления степени воздействия биокоррозии на

Таблица 2

Сводная таблица сопоставления трещиноватости здания ГЭС и водосливной плотины и численности микроорганизмов в отобранных пробах (по данным отдела диагностики ГЭС и результатам исследований лаборатории микологии биолого-почвенного факультета СПГУ

Секция	Общее количество трещин в секции	Общая протяженность трещин в секции, м	Описание пробы	Общее число бактерий (КОЕ в 1 г материала)	Численность микромицетов (КОЕ в 1 г материала)	Год исследований
Здание ГЭС						
1	38	57,9	Высолы	$2{,}1 \cdot 105$	2250	2010
			Сталактиты	$2{,}8 \cdot 106$	12500	2011
2	27	34,7	Разрушенное железо (окантовка блоков)	$2{,}5 \cdot 106$	5000	2010
3	34	53,4	Высолы	$8{,}5 \cdot 105$	15000	2011
4	30	49,8	Сталактиты	$2{,}9 \cdot 107$	11000	2011
5	42	71,2	Высолы	$2{,}4 \cdot 107$	нет роста грибов	
6	54	114,1	Сталактиты	$6{,}3 \cdot 107$	4500	2011
7	55	104,2	Высолы	$8{,}8 \cdot 106$	500	2011
8	48	99,1	Высолы	–	5000	2011
9	39	79,6	Сталактиты	$5{,}6 \cdot 107$	10000	2011
Водосливная плотина						
1	56	125,3	Материал, применяемый при ремонтных работах	$1{,}4 \cdot 106$	15000	2011
2	60	142,8	То же	$1{,}0 \cdot 104$	12000	2011

бетонные и металлические конструкции Чебоксарской ГЭС (табл.2). Численность колониеобразующих единиц микромицетов в некоторых пробах достигало 15 000 КОЕ/г. (высолы, отобранные в 3-й секции здания ГЭС), что указывает на непосредственное участие грибов в деструктивных процессах, а также в накоплении общей микробной биомассы в зоне протекания коррозионных процессов и формирования различных натечных образований. Высокий уровень микологического поражения зафиксирован в пробах материала, используемого для залечивания трещин, стыков и других дефектов, в 1-й и во 2-й секции водосливной плотины. Численность микроорганизмов в них достигало 15000 и 12000 КОЕ/г соответственно. Стоит также отметить, что высокая численность микромицетов и бактерий была обнаружена в пробах, отобранных в секциях 2, 3, 4 и 9 здания ГЭС, что свидетельствует об активных процессах биокоррозии в данных секциях. Преобладание в видовом отношении плесневых грибов из рода Penicillium (Penicillium brevicompactum, Penicillium citrinum, Penicillium decumbens), известных как активных агентов биологической коррозии бетонных и металлических конструкций, зафиксировано в местах повышенной влажности материалов, хотя данные микромицеты способны развиваться внутри помещений даже при невысокой влажности.

Выполненные работы позволяют оценить роль биокоррозионных процессов в разрушении бетонов водосливной плотины и здания. Принимая во внимание, что скорость и активность разрушения материалов в результате деятельности микроорганизмов превышает скорость физико-химических и химических процессов коррозии, необходимо разработать комплекс мероприятий по обеспечению ликвидации и (или) снижению разрушительной деятельности микроорганизмов в бетонных сооружениях. Данные табл.2 свидетельствуют, что в материалах, используемых для ремонтных работ на основе органических соединений (сольвент – смесь ароматических углеводородов с невысоким содержанием нафтенов, парафинов и циклических непредельных углеводородов) активно развивается микрофлора, причем заметна активная динамика развития за короткий промежуток времени. Такой материал должен рассматриваться как катализатор микробной деятельности.

По результатам микробиологических исследований, выполненных в 2011 г., вы-

явлено 22 вида микромицетов, обладающих различной степенью агрессивности по отношению к строительным материалам, в данном случае к бетонам. Весьма высокой коррозионной способностью обладают только шесть видов микромицетов, однако, их содержание в исследованных пробах достигает высоких значений. Так, например, вид Cladosporium sphaerospermum встречен в 59 % пробах, Penicillium citrinum – в 22,7 %. В 18,2 % пробах был обнаружен вид Penicillium brevicompactum. Реже (13,6 % проб) был встречен Cladosporium cladosporioides и Trichoderma viride (табл.3).

Таблица 3

Видовой состав и характеристики грибов, выявленных в ходе микологического анализа образцов поврежденных материалов с Чебоксарской ГЭС в 2011 г.

Вид микромицетов	Встречаемость в пробах, %	Степень агрессивности
Acremonium roseo-griseum	4,5	+
Alternaria alternata	4,5	++
Chrysosporium pannorum	9	+
Cladosporium cladosporioides	13,6	++
Cladosporium sphaerospermum	59	++
Fusarium solani	4,5	+
Fusarium chlamydosporum	9	+
Fusarium semitectum	4,5	+
Humicola grisea	4,5	+
Mucor hiemalis	4,5	+
Mucor racemosus	9	+
Penicillium brevicompactum	18,2	++
Penicillium citrinum	22,7	++
Penicillium decumbens	36,4	+
Penicillium frequentans	4,5	+
Penicillium roqueforti	4,5	+
Phialophora sp.	4,5	+
Scytalidium lignicola	4,5	+
Trichoderma aurantiogriseum	4,5	+
Trichoderma koningii	4,5	+
Trichoderma viride	13,6	++
Неспороносящий светлоокрашенный гриб	9	+–

Примечание. Степень агрессивности по отношению к строительным материалам: (++) – активные биодеструкторы материалов и изделий; (+) – деструкторы материалов и изделий; (+–) – деструктивные свойства мало изучены.

По результатам проведенных исследований следует вывод о том, что на Чебоксарской ГЭС необходимо организовать специализированный мониторинг за состоянием основных бетонных сооружений (здание машинного зала и водосливная плотина), который будет включать наблюдения за изменением численности микроорганизмов и их агрессивности по отношению к конструкционным материалам.

Авторы статьи благодарят за помощь руководителя отдела диагностики Чебоксарской ГЭС Н.А.Шабалина при проведении съемки в сухой потерне и исследовательских работ на водохранилище, а также за предоставление материалов по состоянию бетонных сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ларионов А.Д.* Чебоксарская плотина на р. Волге / А.Д.Ларионов, С.П.Егоров, Н.П.Ларионова // Геология и плотины. М., 1962.

2. *Макаров В.Б.* Чебоксарская гидроэлектростанция / В.Б.Макаров, Л.Т.Фридлянов // Труды Гидропроекта. 2002. № 7.

3. *Пронин А.П.* Активные глубинные разломы центральной части Русской платформы и их геоэкологическое значение // Геоэкологические исследования и охрана недр. 1994. Вып.3.

REFERENCES

1. *Larionov A.D., Egorov S.P., Larionova N.P.* A Cheboksary dam on the river to Volga // Geology and dams. Moscow, 1962.

2. *Makarov V.B., Fridljanov L.T.* Cheboksary hydroelectric power station // Works of the Hydroproject. 2002. N 7.

3. *Pronin A.P.* Active deep breaks of the central part of Russian platform and their geoecological value // Geoecological researches and protection of bowels. 1994. Vol.3.