

Том XII 1/2018

GeoRisk

ISSN 1997-8669 (Print)
ISSN 2587-8220 (Online)

ГЕОРИСК



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



Саморегулируемая организация



Обзор опасных природных явлений за январь — март 2018 года

ШАНИНА В.В.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

6

Масштабы и опасность наводнений в Северо-Западном регионе России

РАЗУМОВ В.В.

Почвенный институт им. В.В. Докучаева

РАЗУМОВА Н.В.

АО «Российские космические системы» Роскосмоса

ПЧЕЛКИН В.И.

Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России

12

Земляные глетчеры и криогенные покровы в высоких горах Азии

ГОРБУНОВ А.П.

Казахстанская высокогорная геокриологическая лаборатория Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН

ТИТКОВ С.Н.

ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве»

34

Моделирование влияния морского канала к порту Сабетта на гидродинамический режим и соленость Обской губы

АРХИПОВ Б.В., СОЛБАКОВ В.В., ШАПОЧКИН Д.А.

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН

АЛАБЯН А.М.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

ДМИТРИЕВА А.А.

ОАО «Ямал СПГ»

46

Особенности экзогенного рельефообразования в долине реки Тимптон (Южная Якутия) при гидротехническом строительстве: современное состояние и прогноз развития

ЕРМОЛОВ А.А.

АО «Институт экологического проектирования и изысканий», Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

60

Снежные лавины на Лагонакском нагорье (Западный Кавказ): условия образования и распространения

ЕФРЕМОВ Ю.В.

Кубанский государственный университет

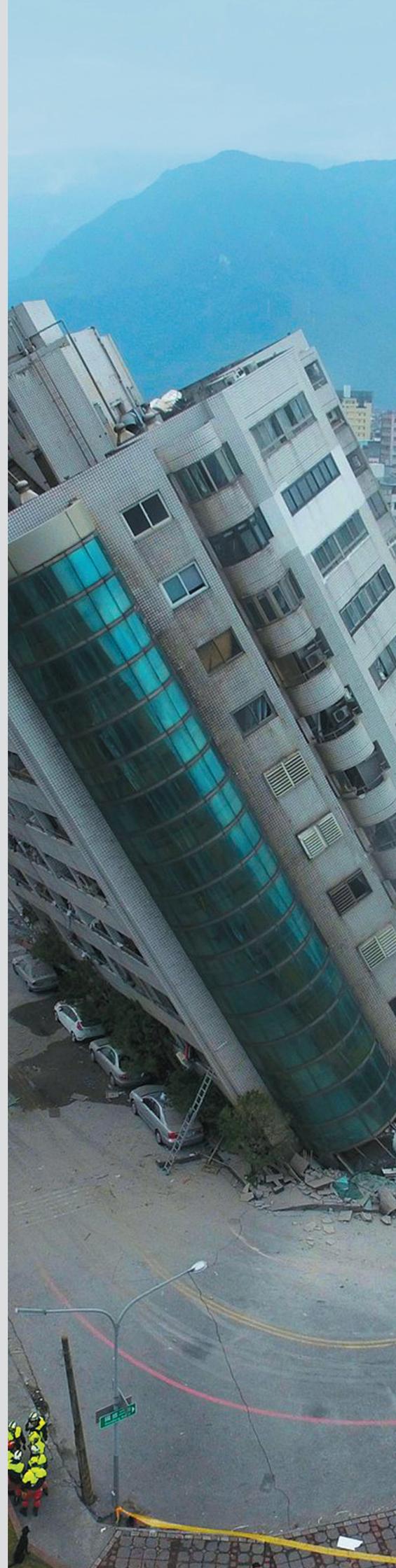
76

ПРИЛОЖЕНИЕ

Какие стихийные бедствия угрожают человечеству?

Отрывок из книги А.М. Городницкого «Тайны и мифы науки. В поисках истины»

86



Review of natural hazardous events for January – March of 2018

SHANINA V.V.

Lomonosov Moscow State University

6

Magnitude and hazard of floods in the Northwestern region of Russia

RAZUMOV V.V.

Dokuchaev Soil Science Institute

RAZUMOVA N.V.

JSC "Russian Space Systems" of Roskosmos

PCHELKIN V.I.

All-Russian Research Institute on Problems of Civil Defence and Emergency Situations of Emercom of Russia

12

Ground glaciers and cryogenic covers in high mountains of Asia

GORBUNOV A.P.

Kazakhstan Alpine Geocryological Laboratory, Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of RAS

TITKOV S.N.

"Russian Geotechnical Institute" LLC

34

Modeling of the navigation canal to the port of Sabetta influence on the Ob Gulf hydrodynamics and salinity

ARHIPOV B.V., SOLBAKOV V.V., SHAPOCHKIN D.A.

Federal Research Center "Informatics and management" of RAS

ALABYAN A.M.

Lomonosov Moscow State University

DMITRIEVA A.A.

OJSC "Yamal LNG"

46

Peculiarities of exogenous relief-formation in Timpton River valley (South Yakutia) under conditions of hydrotechnical construction: the current state and forecast of development

ERMOLOV A.A.

JSC "Institute of ecological design and surveys", Lomonosov Moscow State University

60

Snow avalanches in the Lagonaki Highlands (Western Caucasus): conditions of formation and distribution

EFREMOV Yu.V.

Kuban State University

76

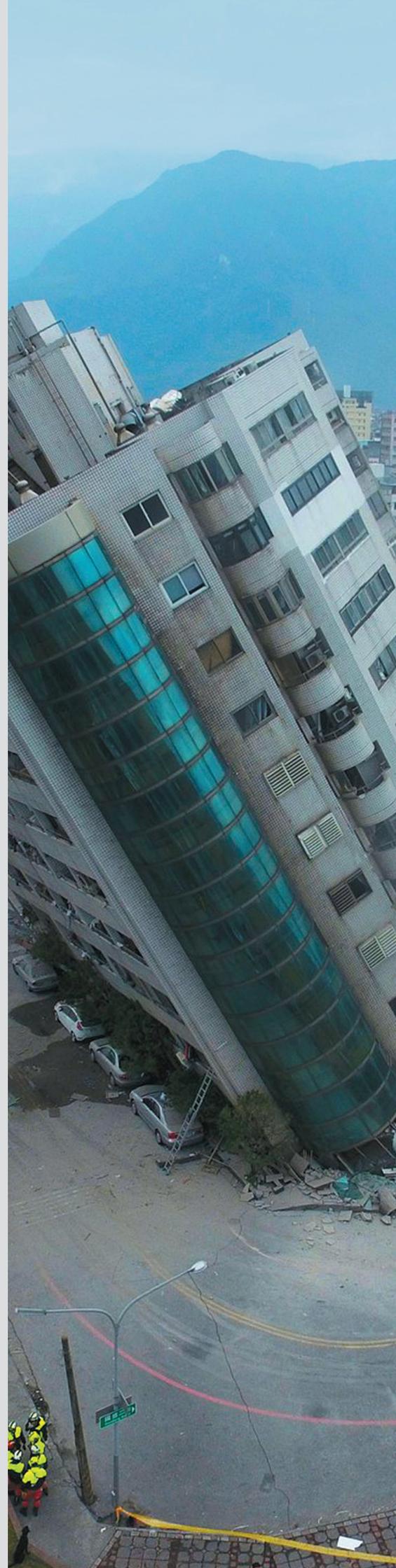
APPENDIX

What natural disasters threaten humanity?

A piece out of the book of "Mysteries and myths of the science. In search of the truth"

by A.M. Gorodnitskiy

86



ОСОБЕННОСТИ ЭКЗОГЕННОГО РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЯ В ДОЛИНЕ РЕКИ ТИМПТОН (ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ) ПРИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ

УДК 551.4.042



ЕРМОЛОВ А.А.

АО «Институт экологического проектирования и изысканий», Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, alexandr.ermolov@gmail.com

Аннотация: в работе рассмотрены некоторые результаты геолого-геоморфологических исследований в долине реки Тимптон (Южная Якутия), выполненных на участке предполагаемого размещения плотины Канкунской ГЭС и в зоне затопления. Данные исследования позволили провести качественную оценку наиболее распространенных в современных условиях экзогенных геологических процессов, геоморфологическое районирование и картографирование. Благодаря обширной программе полевых работ, включавшей многоцелевые аэровизуальные вертолетные обследования с посадками на ключевых участках, удалось не только уточнить, но и существенно дополнить имеющиеся представления о строении рассматриваемых речных долин и геологических процессах. Была составлена картосхема опасных экзогенных геологических процессов и гидрологических явлений, а также предпринята попытка анализа вероятных изменений условий экзогенного рельефообразования на берегах будущего водохранилища. Активизация геологических процессов станет одним из наиболее серьезных последствий создания ГЭС. Опасность для инженерных объектов будут представлять протаивание многолетнемерзлых грунтов, подтопление и заболачивание отдельных участков, изменение режима и химического состава подземных вод, вскрытие и растворение торфяников, активизация склоновых и возникновение новых геодинамических процессов, таких как переработка берегов, заносимость водохранилища, переформирование рельефа его ложа, а также усиление эрозионной деятельности реки в нижнем бьефе гидроузла в условиях дефицита наносов. При этом проблема прогноза развития опасных геологических процессов на берегах водохранилища очень сложна, поскольку процессы, развивающиеся в долине реки во время проведения инженерных изысканий, имеют довольно мало общего с теми явлениями, которые ожидаются на берегах будущего водохранилища. Таким образом, результаты инженерных изысканий, хотя и должны учитываться при прогнозе, не могут в полной мере быть положены в его основу, а решение проблемы предполагает использование данных исследований на объектах-аналогах — естественных водоемах или ранее созданных водохранилищах.

Ключевые слова: речная долина; р. Тимптон; гидротехническое строительство; геоморфологическое районирование; экзогенные геологические процессы; прогноз развития

Ссылка для цитирования: Ермолов, А.А., 2018. Особенности экзогенного рельефообразования в долине реки Тимптон (Южная Якутия) при гидротехническом строительстве: современное состояние и прогноз развития. Геориск, Том XII, № 1, с. 60–74.

PECULIARITIES OF EXOGENOUS RELIEF-FORMATION IN TIMPTON RIVER VALLEY (SOUTH YAKUTIA) UNDER CONDITIONS OF HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION: THE CURRENT STATE AND FORECAST OF DEVELOPMENT

ERMOLOV A.A.

JSC "Institute of ecological design and surveys", Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, alexandr.ermolov@gmail.com

Abstract: the paper considers some results of geological and geomorphological studies in the Timpton River valley (South Yakutia), performed on the site of the proposed placement of the Cancun hydroelectric dam and in the flood zone. The conducted researches allowed to carry out a qualitative assessment of the most widespread exogenous geological processes, geomorphological zoning and mapping. Due to extensive field work programme, which included multi-purpose aerial surveys with landings at key sites, it was possible not only to clarify, but also to significantly complement the existing ideas on the structure of the river valleys and geological processes. A map-scheme of dangerous exogenous geological processes and hydrological phenomena was drawn up. Besides, it was made an attempt to analyze the changes in the conditions of exogenous relief-formation on the banks of the future reservoir. The intensification of geological processes will be one of the most serious consequences of the HPP building. The set of processes will threaten the engineering objects. These processes are thawing permafrost, flooding and swamping, the changes of regime and chemical composition of the groundwater, opening and dissolution of peat bogs, activation of slope processes and emergence of new geodynamic processes (coast deformations, reservoir filling with sediments, transformation of bottom relief, increasing of river erosion activity downstream of the dam due to sediment deficit). At the same time, the problem of forecasting of development of geological processes on the banks of the reservoir is very difficult. The fact is that the processes developing in the river valley during the survey differ from the phenomena that are expected on the banks of the future reservoir. Therefore, on the one hand, the results of the survey should be taken into account in the forecast. On the other hand, these results cannot be the basis of such forecast. Solution of the problem involves the use of the data of studies on the analogic objects — natural waterbodies or previously created reservoirs.

Key words: river valley; Timpton River; hydraulic engineering; geomorphological zoning; exogenous geological processes; development forecast

For citation: Ermolov, A.A., 2018. Peculiarities of exogenous relief-formation in Timpton River valley (South Yakutia) under conditions of hydrotechnical construction: the current state and forecast of development. Georisk, Vol. XII, No. 1, pp. 60–74.

Актуальность

Идея создания Южно-Якутского гидроэнергетического комплекса сформировалась еще в 60-е гг. XX в. в ходе изучения гидроэнергетического потенциала р. Алдан и его притоков Учюра и Тимптона. В середине 1980-х гг. началось проектирование первоочередных гидроэлектростанций (ГЭС), в частности, прорабатывались варианты создания Иджеской, Нижне-Тимптонской и Канкунской ГЭС. Но ухудшение экономической ситуации в 1990-е гг. сделало этот проект неактуальным.

В 2000-х гг. интерес возобновился. Активные переговоры с Китаем, социально-экономическое развитие и реализация приоритетных инвестиционных проектов в Южной Якутии предполагали неизбежный дефицит электроэнергии, для восполнения которого и планировалось создание новых энергогенерирующих мощностей, включая каскад ГЭС на р. Тимптон. Необходимость опережающего развития энергетической инфраструктуры региона была закреплена государственной программой, разработанной в соответствии с поручением Президента и Правительства РФ, и в 2006 году ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева» начал проектно-изыскательские

работы, продолжавшиеся четыре года. Однако строительство так и не было начато — проект вновь был заморожен на неопределенное время.

Тем не менее сравнительно низкий энергетический потенциал Южной Якутии на фоне активно развивающегося международного сотрудничества, разработки новых месторождений и планов развития региона не оставляет сомнений в скором возобновлении данного проекта. Это дает основание считать полученные в период проведения изыскательских работ сведения весьма важными, а проблемы, возникающие при гидротехническом строительстве, актуальными.

Общие сведения

Общими и основными техническими требованиями к гидротехническим сооружениям, связанным с удержанием и пропуском огромных масс воды, является их устойчивость: устойчивость плотины на осадку, сдвиг в основании и у бортов долины; устойчивость берегов водохранилища; минимальная заносимость котловины водохранилища и минимальная фильтрация — под плотину и в обход ее, в днище и борта. В этой связи особенности рельефа, мерзлотно-геологические условия и геологические процессы выступают в каче-

стве важнейших факторов, определяющих пригодность территории для строительства подобных объектов.

Создание водохранилища приведет к изменению мерзлотной и гидрогеологической обстановки в долине реки, к волновому и тепловому воздействию на берега и ложе водохранилища. Поэтому при оценке устойчивости склонов затопляемой долины процессы, действующие на ее берегах, необходимо рассматривать главным образом в отношении их вероятной активизации при заполнении чаши водохранилища.

Проблема прогнозирования переработки берегов водохранилища и иных процессов очень сложна. Дело в том, что процессы, развивающиеся в долине реки во время проведения инженерных изысканий, имеют довольно мало общего с теми явлениями, которые ожидаются на берегах будущего водохранилища. Поэтому результаты их изучения, хотя и должны учитываться при прогнозе, не могут в полной мере быть положены в его основу [3].

В настоящей работе рассмотрены некоторые результаты геолого-геоморфологических исследований, выполненных автором в 2010 г. на участке предполагаемого размещения Канкунской ГЭС и в зоне затопления. Район проектируемого размещения основного створа ГЭС расположен в Нерюнгрин-

Методы исследований

Геолого-геоморфологические работы осуществлялись в соответствии с требованиями нормативно-технической документации и государственных стандартов Российской Федерации на основании стандартных и общепринятых методик. На подготовительном этапе был выполнен сбор, обработка и анализ всех имеющихся картографических материалов и спутниковых снимков с целью предполетного дешифрирования и разработки плана работ.

Полевые наблюдения выполнялись в летний период по намеченным маршрутам, ключевым участкам и дополнительным площадям с учетом фактической ситуации на местности для получения всей возможной информации о геоморфологическом строении и геологических процессах. Работы включали вертолетное обследование наиболее крупных речных долин, попадающих в зону затопления (рр. Тимптон и Нельгюу), маршрутные наблюдения на междуречье и в долинах рр. Курунг-Хоонку и Тимптон в районах проектируемого размещения производственной базы, створов плотины и других объектов инфраструктуры. В работе использовались вертолеты МИ-8, моторные лодки, навигационное, геодезическое оборудование и пр.

Методика полевых работ заключалась в составлении геолого-геоморфологических описаний по маршрутам и на точках наблюдения, картографировании и профилировании отдельных участков, наземном дешифрировании и анализе топографических карт, описании разрезов рыхлых отложений, сборе фотоматериалов. Выявление и изучение опасных экзогенных геологических процессов и гидрологических явлений также проводилось методами маршрутно-визуального обследования с использованием анализа временных рядов быстроедействующих факторов и вероятностной оценкой их проявления. На участках с проявлением опасных процессов производились визуальные и инструментальные наблюдения, изучались площадная пораженность территории, интенсивность и основные факторы рельефообразования. Выполнялась оценка техногенного воздействия на отдельные компоненты природной среды и развитие экзогенных геологических процессов.

Камеральные работы включали анализ особенностей строения рельефа и

протекающих экзогенных геологических процессов, геоморфологическое районирование территории и разработку «Картосхемы опасных экзогенных геологических процессов и гидрологических явлений» и др.

Геолого-геоморфологические условия

Рельеф территории предполагаемого строительства ГЭС представляет собой сложный комплекс форм, возникших в результате тектонических и денудационных преобразований докембрийской пенепленизированной поверхности Алданского щита и эрозионно-аккумулятивной деятельности рек и временных водотоков. Обширные выровненные водораздельные пространства круто обрываются по глубоким эрозионным и эрозионно-тектоническим долинам рек в их среднем и нижнем течении.

Долина р. Тимптон — сквозной геоморфологический элемент значительной протяженности (около 644 км), приуроченный к зоне разломов. Сложное морфоструктурное строение региона определило неравномерную извилистую форму долины и ее притоков в плане. Ширина долины значительно сокращается вниз по течению, не превышая 1,8–2,5 км в створе проектируемой плотины, поперечный профиль также значительно меняется на всем протяжении. В верхнем и среднем течении отмечается чередование участков с широкими (до 500–700 м и более) террасовыми уровнями и асимметричным корытообразным, трапециевидным, ящикообразным, реже каньонообразным профилем. В нижнем течении с увеличением глубины эрозионного вреза до 600 м и более становится типичным симметричный V-образный поперечный профиль долины, сочетающийся с асимметричными участками фрагментарного развития нешироких (до 150–300 м) террасовых уровней в днище (рис. 2). Продольный профиль р. Тимптон и ее притоков не выработан, имеет ступенчатую форму и значительный уклон, русла шириной 100–300 м изобилуют перекатами, порогами, многочисленными островами и отмелями, на больших притоках встречаются водопады высотой до 6–8 м (руч. Неожиданный и др.). Берега реки обычно представлены высокими скалистыми или галечниково-валунными бечевни-

ками, к современным образованиям относятся и многочисленные острова, отмели и побочни.

Пойма и надпойменные террасы развиты фрагментарно и носят как аккумулятивный, так и эрозионно-аккумулятивный характер (цокольные террасы в устье р. Чульмакан и др.). Их относительная высота изменяется в широких пределах — от 2–5 до 8–15 м, ширина составляет 100–300 м. Наклонная поверхность террас почти всегда задернована и нередко залесена, заболочена, у тылового шва встречаются небольшие старичные озера.

Рельеф коренных бортов долины отличается высокой изменчивостью в пространстве. В верхнем течении это сравнительно пологие невысокие склоны длиной до 150–300 м, прерываемые выходами коренных пород и тектоническими нарушениями дизъюнктивного характера. С увеличением глубины эрозионного вреза длина склонов увеличивается до 600–800 м, а крутизна возрастает до 30–50° и более. Форма профиля склонов преимущественно выпуклая, выпукло-вогнутая, реже ступенчатая или вогнутая. Морфология склонов крайне разнообразна и во многом определяется литологическим составом пород фундамента, мощностью рыхлого чехла и деятельностью тех или иных склоновых и эрозионных процессов. Поперечное расчленение склонов в большинстве случаев имеет тектоническую природу с экзогенной препарировкой, обусловленной деятельностью водотоков.

Абсолютные отметки водоразделов достигают 1 000 м и более, относительные превышения в нижнем течении р. Тимптон составляют 400–600 м. Бровки долины весьма четкие. Долины крупных притоков (рр. Нельгюу, Хатами, Оюмрак, Курунг-Хоонку и др.) по своей морфологии схожи с долиной главной реки, уступая ей по морфометрическим параметрам.

Четвертичный покров на бортах долин имеет прерывистое распространение, в основном грубообломочный, маломощный (до 2–4 м). Пологие склоны покрыты делювиально-солифлюкционными отложениями, представленными супесями и суглинками с дресвой и щебнем, обладающими повышенной влажностью. На крутых склонах гольцовой области развиты крупноглыбовые осыпи, у подножий склонов — делювиальные шлейфы. Аллювиальные отложения поймы и надпойменных тер-



Рис. 2. Асимметричная V-образная долина р. Тимптон на участке проектируемых створов (вид вниз по течению). В Канкунском створе р. Тимптон имеет ширину русла 134 м, асимметричный профиль V-образной формы с крутым левым (35–55°) и более пологим (15–25°) правым бортами

рас представлены в нижней части разреза валунными и галечниковыми грунтами с крупным песком, в верхней — слоистыми песками, супесями, реже суглинками. Общая мощность аллювиальных отложений 5–20 м.

В долинах рек и на низких водоразделах породы преимущественно многолетнемерзлые льдистые, в осевых частях хребтов — морозные. В зоне сплошного распространения криогенной толщи мощность многолетнемерзлых пород составляет: в долинах 100–250 м, на водоразделах — 50–600 м. Вероятны локальные талики в днищах долин. Мощность сезонно-талого слоя составляет 0,5–4,5 м.

Коренные породы в зонах выветривания и разгрузки, в тектонических зонах — льдосодержащие, мерзлые, сохранные — лишены ледяных включений и представляют собой типично морозную породу. Склоновые образования характеризуются высокой льдистостью и подвержены процессам пучения. При оттаивании снижается их несущая способность и возможны значительные осадки.

Современные опасные экзогенные геологические процессы

Проведенные полевые работы, изученные литературные и фондовые материалы свидетельствуют о крайне сложных природных условиях района будущего строительства ГЭС и долин рек зоны затопления. Основными факторами, определяющими специфику развития геологических процессов в исследуемом районе, являются:

- суровый резко континентальный климат с большими амплитудами и резкими колебаниями среднемесячных сезонных (43–53°C) и суточных температур;
- сложное структурно-тектоническое строение территории, приуроченность долины р. Тимптон к зоне разломов;
- сложное и неоднородное геоморфологическое строение долины р. Тимптон (глубина расчленения до 400–600 м, крутизна склонов до 40–50° и более и пр.);

- прерывистое распространение и незначительная (0–20 м) мощность четвертичных отложений;
- высокая прочность кристаллических пород (гнейсы, граниты, гранито-гнейсы, кристаллические сланцы, кварциты), их трещиноватость;
- сплошное распространение многолетнемерзлых пород с предположительным таликом под руслом (мощность сезонно-талого слоя (СТС) — до 2,5 м и более);
- сейсмичность территории 8 баллов (шкала MSK-64) для степени сейсмической опасности В (5%) и С (1%) (ОСР-2016).

Подавляющее большинство экзогенных процессов по своей физической сущности криогеодинамические. Важнейшими с инженерной точки зрения являются процессы физического выветривания, склоновые, эрозионные, мерзлотные процессы, а также возрастающее антропогенное воздействие. Не останавливаясь подробно на всем спектре опасных экзогенных геологических процессов и гидрологических явлений,



Рис. 3. Курумовые поля, склоны и потоки (реки) в долине р. Тимптон

рассмотрим наиболее распространенные из них.

Одними из самых существенных в инженерно-геологическом отношении являются процессы физического выветривания, которые оказывают большое влияние на прочностные свойства кристаллических пород и обуславливают возникновение и развитие других процессов и явлений — осыпей, обвалов и пр. Неглубокое залегание и многочисленные выходы скальных пород на поверхность, нередко в виде останцов выветривания разнообразной формы и размера, способствует дезинтеграции и механическому дроблению массива, камнеобразованию¹. Высокая интенсивность этих процессов обусловлена резкими колебаниями суточных температур воздуха, сравнительно большим количеством атмосферных осадков и тектонической трещиноватостью кристаллических пород, представленной густой сетью новейших и омоложенных разломов и трещин различной ориентировки (до 3–5 направлений). Следствием является курумообразование — скопление разнообразных глыб с незаполненными мелкоземом межглыбовыми полостями. Ха-

рактер и размеры обломочного материала находятся в прямой зависимости от минералогического состава коренных пород, мощность элювия от 1,5 до 5–10 м. При этом общая мощность зоны выветривания и разгрузки, выявленная по данным геофизических работ, может достигать 25–35 м.

Геоморфологическое положение курумов разнообразно — крутые склоны долин, водораздельные поверхности, вершины в гольцовом поясе, цокольные террасы. По очертанию в плане различают курумные склоны крутизной до 45°, курумные поля крутизной от 3–5° до 15° и площадью до нескольких квадратных километров, курумные потоки (каменные реки) крутизной от 3–5° до 30–40°, а также курумные конусы выноса, валы, шлейфы (рис. 3).

Курумообразование и движение обломков усиливается процессами морозной дифференциации (сортировки) пород, выпучиванием материала, десерпцией и делювиальным смывом мелкозема, льдообразованием. На подвижность обломочных образований оказывают влияние потоки надмерзлотных вод и высокая льдистость пород в основании

слоя сезонного протаивания. Средне-многолетняя скорость движения курумов обычно не превышает первых сантиметров в год, возрастая в определенных условиях до 1,0–1,5 м/год. Одной из причин катастрофических подвижек служат сейсмические явления.

Обвальнo-осыпные склоны имеют локальное распространение на крутых и обрывистых бортах речных долин, в береговых откосах, эродлируемых рекой. Факторами активизации этих процессов также могут служить сейсмические явления, при этом сейсмогравитационные формы характеризуются более крупными масштабами.

В ходе инженерных изысканий зафиксировано несколько ярких примеров развития обвальнo-осыпных процессов (рис. 4). При этом потенциально неустойчивые участки склонов весьма многочисленны. Обнаруженные в долине р. Нельгю обвальнo-осыпные лотки имеют протяженность свыше 150 м, ширину порядка 10–20 м, глубину желоба до 2–4 м, форма в плане прямая или извилистая. Обвальные массы поступают непосредственно на бечевник и в русло реки, но конусы выноса кол-

¹ Симонов, Ю.Г., Кружалин, В.И., 1993. Инженерная геоморфология. МГУ, М.

лювиальных отложений практически не образуются (не сохраняются).

Обвальнo-осыпные склоны зачастую являются и лавиноопасными, особенно участки горно-гольцового рельефа на правобережье реки Тимптон и его притоков. На остальной территории признаки формирования лавин и селей выявлены не были.

Оползневые склоны не имеют широкого распространения на исследуемой территории в связи с незначительной мощностью чехла рыхлых отложений и их преимущественно крупнообломочным, супесчаным составом. Оползневые процессы в большинстве случаев являются следствием боковой эрозии рек, подрезающей основание склонов. Встречаются мелкие оползни-оплывины, захватывающие оттаявшую толщу мощностью от 0,3 до 1,5 м.

Преобладание крупнообломочных пород и густота растительного покрова определяют сравнительно ограниченное развитие процессов солифлюкции. На крутых склонах солифлюкционное течение грунтов сочетается с делювиальными процессами и оползнями-оплывинами, а также медленным массовым перемещением материала (мерзлотным крипом). Скорость движения грунта определяется комплексом факторов и измеряется первыми сантиметрами в год. Морфологическим отражением гравитационного смещения материала служит мелкобугристый натечный микрорельеф солифлюкционных террасок, валов и гряд, так называемый «пьяный лес», когда стволы деревьев вследствие движения грунта оказываются наклоненными в разные стороны, а также падение деревьев (рис. 5).

В целом склоновая денудация является одним из основных агентов формирования рельефа и поступления мате-



Рис. 4. Обвальнo-осыпные лотки на крутых бортах долины в нижнем течении р. Нельгюу. Длина лотков достигает 150–180 м, ширина 10–20 м, глубина 2–4 м

риала в долины рек. Процессы, протекающие на склонах, ведут к удалению, перемещению, а также накоплению продуктов выветривания. При этом чем быстрее происходит удаление рыхлого материала со склона, тем интенсивнее развиваются процессы морозобойного расщепления, сортировки и пр.

Другим мощнейшим агентом рельефообразования на исследованной территории являются эрозионные и аккумулятивные процессы, обусловленные деятельностью постоянных и временных водотоков. Интенсивное развитие глубинной эрозии на фоне дифференцированного тектонического воздымания определило значительную (до 500–550 м) глубину вреза долин рек Курунг-Хоонку, Тас-Хонку, Атыр, Эгете в их нижнем течении, резкость форм и весьма ограниченное распространение тер-

расовых уровней в днище. При этом продольный профиль рек не выработан, изобилует порогами и перекатами, для большинства притоков р. Тимптон характерны висячие долины со ступенчатым продольным профилем русла, нередко встречаются водопады (рр. Курунг-Хоонку, руч. Неожиданный и др.) (рис. 6). Даже такие реки как Курунг-Хоонку, Хатыми, Нельгюу и Сейм имеют в устье перепад уровней воды (пороги) не менее 1 м. Резкое усиление глубинной эрозии рек и ручьев начинается на участках с абсолютными отметками 1 000–1 100 м. На этом уровне отмечается резкий перегиб продольного профиля, а для долин характерен V-образный или каньонообразный поперечный профиль.

Эрозионная деятельность временных водотоков на склонах речных до-

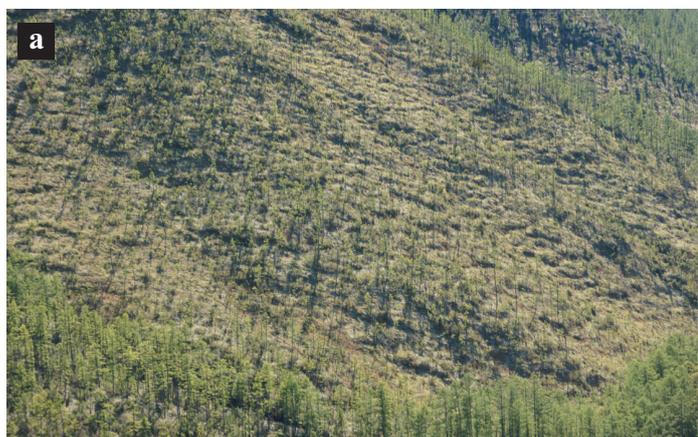


Рис. 5. Участки коренного борта долины р. Тимптон в районе устья р. Нельгюу (а) и фрагмент склона долины руч. Неожиданный (б) с заметным мелкобугристым рельефом натечных солифлюкционных террасок, валов и гряд

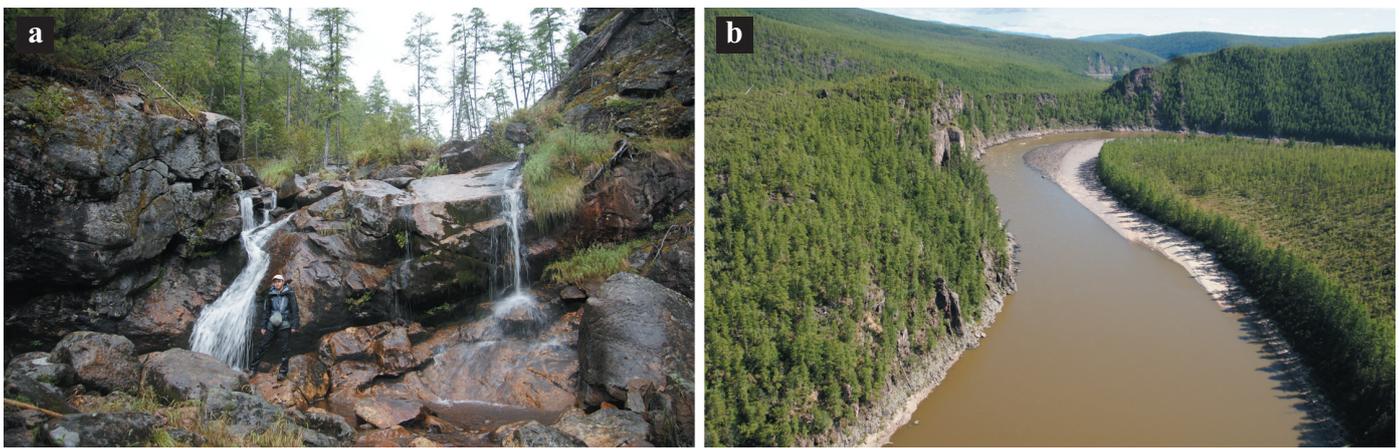


Рис. 6. Водопад на руч. Неожиданный высотой 4–5 м (а) и одна из излучин р. Тимптон ниже устья руч. Каменистый (б)

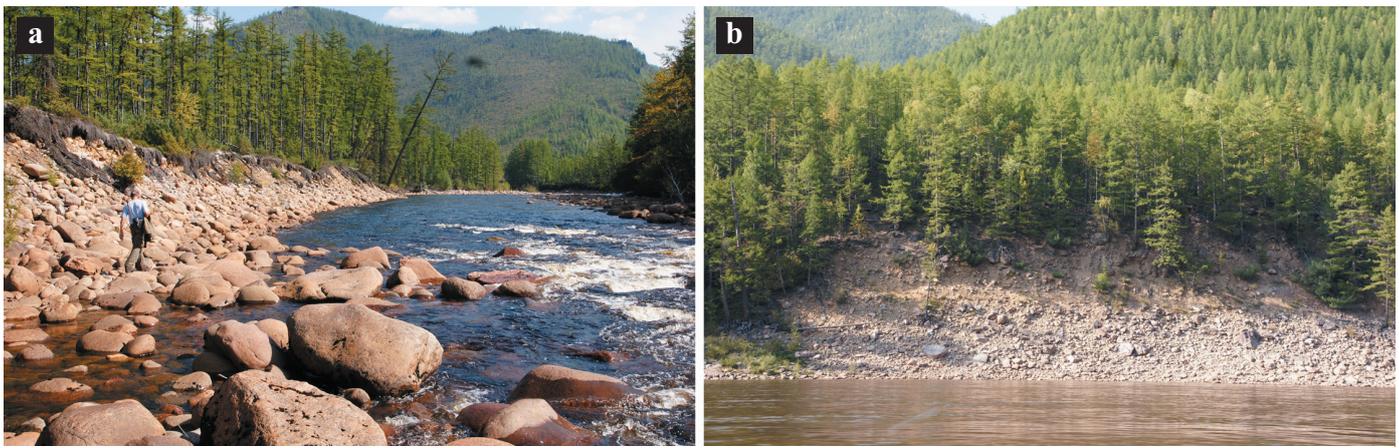


Рис. 7. Эрозионные береговые уступы, выработанные в надпойменной террасе в нижнем течении р. Курунг-Хоонку (а) и в 700 м выше проектируемого створа ГЭС на р. Тимптон (б). Характерно активное развитие обвально-осыпных процессов

лин способствует их интенсивному поперечному расчленению, образованию водосборных воронок, эрозионных борозд и рытвин (каналов стока). Большая часть этих форм заложена вдоль выветрелых зон структурно-тектонических дислокаций и даек менее прочных пород (сиенит-порфиры, диабазы и пр.). В зимний период эрозионно-денудационные воронки и врезы на крутых склонах могут способствовать сходу лавин лоткового типа.

Боковая эрозия в сочетании с особенностями морфоструктурного плана территории определила сложную, извилистую в плане форму речных долин и широкое распространение бечевников вдоль коренных берегов, замещаемых на отдельных участках эрозионными уступами. Среднегодовая скорость смещения русел рек в прочных породах фундамента при сильной боковой эрозии — 5–10 мм/год, при средней — 1–5 мм/год, при слабой — до 1 мм/год.

На участках, сложенных более податливыми размыту четвертичными осадками (рис. 7), скорости отступления берега существенно выше и определяют

ся, главным образом, сезонными гидрометеорологическими параметрами. По оценке специалистов, скорость размыва берегового уступа, выработанного в аккумулятивном террасовом уровне и сложенного аллювиальными разнозернистыми песками, галечниковыми и валунными грунтами в отдельные годы может достигать десятков сантиметров — первых метров. При этом разрушение уступа происходит в результате действия комплекса геологических процессов, включая обвально-осыпные, оползневые, эрозионные и криогенные. Наиболее активно размыв происходит при высоких уровнях и возросшей силе потока в половодье и паводки.

Сравнительно редкие участки аккумуляции аллювия приурочены к устьевым областям притоков р. Тимптон, выпуклым берегам и участкам с резким падением гидродинамической активности речного потока. Морфологическим выражением аккумуляции обломочного материала служат острова, побочни, осередки, пойменные террасы с редкими старицами. Состав осадков определяется геолого-геоморфологическими и

гидродинамическими условиями, типичным является двучленное строение толщи. По данным буровых работ в нижней базальной части аллювиальной толщи преобладают валунные и галечниковые грунты с галькой и гравием до 15%, с песчаным заполнителем, мерзлые, с массивной криотекстурой. Верхнюю часть разреза составляют слоистые пески, супеси, реже суглинки, перекрытые торфом. В ходе полевых работ были выявлены участки локальной аккумуляции песчаных наносов на поверхности прирусловых отмелей и низких пойменных террас рек Нельгюу и Тимптон (рис. 8). При этом мощность песчаной толщи, перекрывающей грубообломочные отложения, достигала 1–2 м, а ширина зоны аккумуляции составляла 50–70 м и более.

Овражная эрозия на обследованной территории практически отсутствует. Исключение составляют участки надпойменных террас, сложенные мерзлыми грунтами и подверженные антропогенному воздействию. Так, на поверхности террасы на левом берегу р. Тимптон в 1,6 км ниже устья р. Курунг-Хоонку (в



Рис. 8. Формирование пойменной террасы в результате аккумуляции разнозернистых песков мощностью до 1,8 м в устье р. Анамжак (а) и верхняя часть разреза надпойменной террасы р. Тимптон (б)

районе поселка изыскателей) зафиксирован активно развивающийся эрозионный врез, который по своей морфологии и наличию временного водотока может рассматриваться как овраг. Длина вреза достигает 50 м, глубина — 2–3 м, ширина — 3–5 м, форма в плане слабо извилистая. Наличие многолетнемерзлых грунтов в разрезе свидетельствует о значимой роли термоэрозии в развитии этой формы.

Неглубокое залегание мерзлых толщ (в том числе кристаллических пород) и связанные с ними воды слоя сезонного оттаивания способствуют приповерхностному положению уровня грунтовых вод, разгрузка которых осуществляется в соответствии с уклонами местности. Это вызывает заболачивание замкнутых понижений в рельефе, дренаж которых затруднен (недостаточные уклоны, структурно-тектонические ловушки и пр.). Для таких участков характерны избыточное увлажнение, гидрофильная растительность и специфические почвенные процессы. Последние часто выражаются в накоплении торфа, мощность которого не превышает первых метров.

Не менее важными с инженерной точки зрения процессами в современных условиях являются периодические затопления пойм рек в половодья и паводки. Уровень воды р. Тимптон и его притоков способен подниматься на 6–8 м. На это указывают многочисленные признаки эрозионной деятельности на крутых берегах, зафиксированные в ходе полевых работ. Так, например, на острове в устье р. Курунг-Хоонку сохранился плавник, повисший на деревьях на вы-

соте 3–4 м. На затопление острова указывает и отмытая (оголенная) корневая система деревьев, мелкие русла, заполненные галечно-валунным материалом, навалы плавника и пр. Повышения уровня воды в реках сопровождаются изменением морфологии береговых уступов, падением деревьев в русла, формированием аллювия и расширением прирусловых отмелей и бечевников.

Антропогенное воздействие на рельеф в современных условиях сравнительно невелико. Населенные пункты, промышленные предприятия и объекты инфраструктуры располагаются далеко за пределами рассматриваемой территории. Единственным участком, подверженным антропогенному воздействию, является пионерная производственная база (поселок изыскателей) на левом берегу р. Тимптон в 1 км выше проектируемых створов (рис. 9) и участки проведения изыскательских работ.

Хозяйственная деятельность привела к заметной деградации почвенно-растительного покрова (в том числе из-за вырубki леса), активизации эрозионных и склоновых процессов, заболачиванию отдельных участков. Наибольшие деформации вызывает тяжелая гусеничная техника (буровые установки, тракторы, вездеходы и пр.), нарушающая целостность растительного и почвенного покрова.

Важно подчеркнуть, что на начальных этапах строительства следует ожидать многократного увеличения техногенного прессинга, изменений гидрогеологических и мерзлотных условий, состояния других компонентов геологической сре-

ды. В этой связи неизбежна активизация опасных геологических и инженерно-геологических процессов, а число рисков в ходе подготовительных и строительных работ может быть увеличено.

Геоморфологическое районирование территории

Проведенные инженерно-геоморфологические исследования позволили провести качественную оценку, районирование и картографирование рельефа и наиболее распространенных в современных условиях экзогенных геологических процессов. Благодаря обширной программе полевых работ, включавшей многоцелевые аэровизуальные вертолетные обследования с посадками на ключевых участках, удалось не только уточнить, но и существенно дополнить имеющиеся представления о строении рассматриваемых речных долин и опасных геологических процессах.

На заключительном этапе было выполнено геоморфологическое картографирование, описание и пространственный анализ рельефа и рельефообразующих процессов. Это повысило степень информативности «Картосхемы опасных экзогенных геологических процессов и гидрологических явлений», составленной в масштабе 1:50 000 (зона затопления) и 1:10 000 (площадь проектируемого строительства). С целью выявления морфоструктурных особенностей и генезиса основных орографических элементов, участков развития тех или иных процессов помимо фактического материала использовались



Рис. 9. Пионерная производственная база на левом берегу р. Тимптон в районе проектируемых створов ГЭС. Хорошо заметны следы гусеничной техники на поверхности террасового уровня и другие техногенные воздействия

архивные и литературные сведения. Основываясь на всем комплексе информации, была разработана оригинальная легенда к картосхеме, учитывающая масштабы объектов и степень их генерализации. Данная система условных обозначений призвана детализировать рельеф и отразить его пластику, характеризуя при этом современные экзогенные процессы. При оценке устойчивости склонов в пределах затапливаемой долины современные процессы рассматривались в отношении их вероятной активизации при заполнении чаши водохранилища.

Вероятные изменения условий экзогенного рельефообразования в результате создания водохранилища

Зоной влияния гидротехнического сооружения принято считать территорию бассейна реки, в пределах которой изменение режима расходов воды или подпорных уровней может вызвать изменения качественных и количественных показателей, видов и интенсивности протекающих геологических процессов.

В этой зоне выделяются подзоны прямого и косвенного (опосредованного) влияния¹ [1, 3]. В подзоне прямого влияния происходит качественное изменение протекающих геологических процессов. К ней относятся площади вблизи водохранилища, в пределах которых ожидается активизация и возникновение новых геодинамических процессов, таких как переработка берегов водохранилища, оползни, сели, лавины, деградация многолетней мерзлоты и термокарст. С изменением гидрологического и гидрогеологического режима будут связаны подтопление, заболачивание, вскрытие и растворение торфяников и пр. (РД 153-34.2-02.409-2003 «Методические указания по оценке влияния гидротехнических сооружений на окружающую среду»). В зависимости от рельефа и геологического строения подзона прямого влияния может изменяться в широком диапазоне — от первых метров до нескольких километров, имея тенденцию к сокращению площади со временем.

В подзоне косвенного влияния происходит изменение количественных показателей интенсивности геологических процессов. К их числу относится снижение эрозионной деятельности водотоков в связи с повышением базиса эрозии, снижение скорости денудационных процессов, увеличение скорости осадконакопления, изменение динамического режима подземных вод и т.п. В отличие от подзоны прямого влияния, подзона косвенного влияния во времени расширяется и способна охватить весь бассейн реки.

Затапление долины р. Тимптон неизбежно приведет к подъему уровня грунтовых вод и деградации многолетнемерзлых пород на берегах, что, в свою очередь, может изменить пути фильтрации и условия разгрузки. При этом открытая разгрузка подземных вод перейдет частично в разряд субаквальной, а наличие градиента напора обеспечит возможность нисходящей фильтрации через ложе и борта водохранилища, в том числе в обход плотины. Местами это может вызвать заболачивание и подтопление берегов водохранилища, но в целом геолого-литологическое и геоморфологическое строение долины р. Тимптон не предполагает существенных фильтрационных потерь вследствие слабой водопроницаемости литифицированных пород. Более заметными в инженерно-геологическом отношении станут снижение прочностных

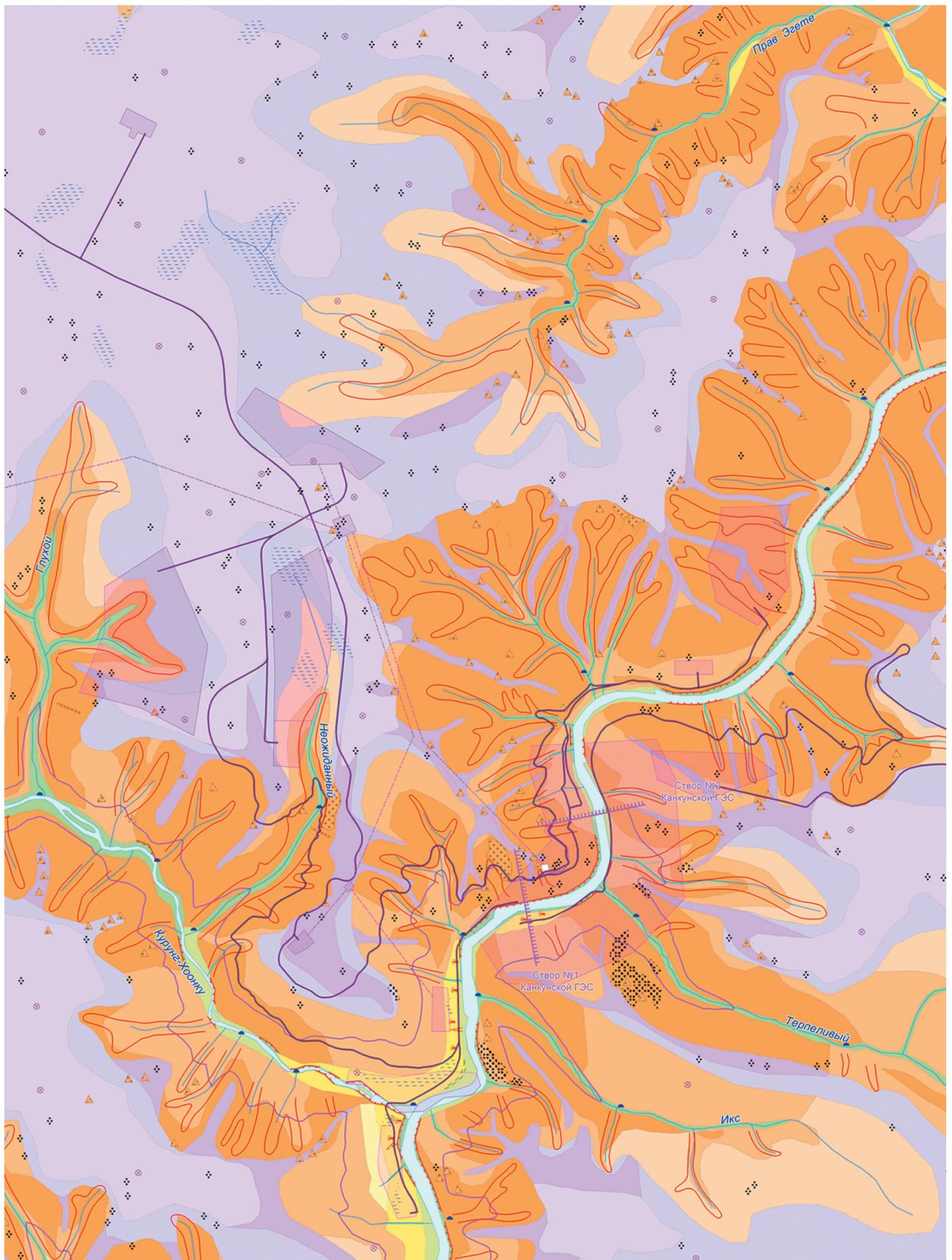


Рис. 10. Фрагмент картосхемы опасных экзогенных геологических процессов и гидрологических явлений района предполагаемого размещения Канкунской ГЭС на р. Тимптон (масштаб 1:50 000)

Легенда к картосхеме опасных экзогенных геологических процессов и гидрогеологических явлений

Геодинамические		Геоморфологическая характеристика		Морфолитодинамические комплексы	Опасные экзогенные геологические процессы и явления
зоны	подзоны	тип рельефа	формы и элементы рельефа и средняя мощность рыхлых отложений (м)		
Выветривания	Выветривания и дезинтеграции	Денудационные пенеплены и нагорья (области устойчивых новейших поднятий) на древнем кристаллическом основании с разной степенью проявления в рельефе структурных форм	1. Плоско-увалистые слаборасчлененные поверхности междуречий (0,0–1,0 м)	1. Выветривания и криогенного рельефообразования	1. Криогенное выветривание, морозная сортировка и трещинообразование, структурный микрорельеф, пучение, термокарст, заболачивание
	Выветривания с локальным ближним переносом и аккумуляцией		2. Округловершинные и островершинные водораздельные поверхности и приводораздельные пологие склоны (0,0–0,5 м)	2. Выветривания, криогенного рельефообразования, плоскостного смыва, солифлюкции	2. Криогенное выветривание, морозная сортировка и трещинообразование, структурный микрорельеф, пучение, курумы, термокарст, солифлюкция, заболачивание
Транзита	Склонового транзита и локальной аккумуляции	Эрозионно-тектонические и денудационно-тектонические склоны речных долин и междуречий	3. Склоны междуречий крутизной 5–20° (0,2–1,0 м)	3. Склоны медленного массового смещения чехла рыхлого материала	3. Плоскостной смыв, площадная солифлюкция и делювиальный смыв, криогенное трещинообразование, термокарст, заболачивание
			4. Склоны речных долин крутизной 5–15° (0,2–0,5 м)	4. Делювиально-солифлюкционные, курумные склоны	4. Плоскостной смыв, солифлюкция, курумы, термокарст
			5. Склоны речных долин крутизной 10–30° (0,1–0,4 м)	5. Делювиально-солифлюкционные, курумные склоны	5. Оползни, оплывины, солифлюкция, курумы, снежные лавины
	Склонового транзита	6. Склоны речных долин крутизной 20–30° и более (0,1–0,3 м)	6. Гравитационные склоны	6. Обвалы, осыпи, отседание склонов, курумы, оползни, снежные лавины, подвижные осыпи	
Аккумуляции	Наложной (покровной) маломощной аккумуляции	Пологие эрозионно-денудационные склоны речных долин и надпойменные террасы	7. Слабонаклонные поверхности склонов и надпойменных террас (до 5–10°) (3,0–5,0 м)	7. Полигенной (делювиальной, пролювиальной, солифлюкционной, десертционной и коллювиальной) аккумуляции	7. Морозное пучение и трещинообразование, термоэрозия, солифлюкция, курумы, заболачивание
	Площадной и линейной (долинной) аккумуляции и локального размыва	Аккумулятивные и эрозионно-аккумулятивные надпойменные террасы и высокая пойма	8. Пологонаклонные поверхности террасовых уровней (3,0–10,0 м)	8. Аллювиальной и делювиальной аккумуляции	8. Овражная эрозия, морозное пучение, заболачивание, термоэрозия, термокарст, солифлюкция
			9. Острова, побочни, осередки, прирусловые отмели, пойменные террасы (1,0–2,0 м)	9. Аллювиальной аккумуляции	9. Затопление, подтопление, эрозия, заболачивание, наледи
			10. Русла рек, бечевники, низкая пойма (0,5–1,0 м)	10. Размыва и локальной аккумуляции	10. Затопление, эрозия, суффозия, наледи

Локальные проявления опасных экзогенных геологических процессов и явлений

-  11. Боковая эрозия рек
-  12. Овражная (линейная) эрозия и термоэрозия
-  13. Эрозионно-денудационные ложбины и долины мелких водотоков
-  14. Курумы, каменные россыпи
-  15. Скалистые останцы выветривания, выходы коренных пород
-  16. Обвальнo-осыпные лотки
-  17. Термокарст
-  18. Заболачивание
-  19. Наледи

Прочие обозначения

-  20. Скалистые гребни
-  21. Контуры староречных понижений
-  22. Участки активного техногенного воздействия
-  23. Границы морфолитодинамических комплексов
-  Границы зоны затопления
-  Проектируемые площадные объекты
-  Участки основных сооружений
-  Проектируемые автодороги
-  Проектируемые ЛЭП

и деформационных свойств дисперсных грунтов и активизация экзогенных геологических процессов.

Среди последних важнейшую роль будет играть преобразование берегов вновь созданного водохранилища, наиболее интенсивно протекающее в ходе наполнения и в первые годы после достижения проектного уровня. Процессы переработки берегов в водохранилищах имеют определенную специфику, обусловленную молодостью водоемов, сравнительно небольшими размерами, своеобразной формой (затопленная долина) и более сильной, чем у морей, зависимостью от местных условий. Но основным содержанием переработки берегов остается абразионный процесс, хотя само понятие гораздо шире и объединяет целый комплекс экзогенных процессов, приводящих к тем или иным изменениям в очертаниях береговой линии водохранилища [3].

Геолого-геоморфологические условия долины р. Тимптон и ее притоков будут способствовать самозатуханию процессов переработки берегов. Основной причиной этого является высокая прочность кристаллических пород (гнейсы, граниты, гранито-гнейсы, кристаллические сланцы, кварциты), слагающих борта долины и незначительная мощность осадочного чехла на склонах с преобладанием в составе щебнисто-глыбовой фракции. Исключение составят пологие склоны, конусы выноса и делювиальные шлейфы у подножий склонов, структурные и речные террасовые уровни с мощностью осадочной толщи до 15–20 м и более. В условиях низкой активности волнения на сильноизрезанных берегах узкой речной долины с продолжительным периодом ледостава важнейшую роль в переработке этих уступов и выработке профиля динамического равновесия будут играть термоабразия и термоденудация. Скорость отступления берегов, сложенных многолетнемерзлыми отложениями, в первые годы после достижения уровнем водохранилища проектных отметок может составлять первые метры-десятки метров в год. Особенно активно разрушение будет происходить в зоне переменного смачивания, ширина которой будет определяться исходным профилем берега.

Анализируя основные факторы динамики берегов проектируемого водохранилища, их относительную роль и рас-

пространение, можно предполагать, что на начальных этапах затопления более 80% береговой линии будут образовывать абразионные, термоабразионные и денудационные типы берегов, и лишь незначительно сохранятся аккумулятивные и абразионно-аккумулятивные участки. По прошествии нескольких лет-десятилетий очертания водохранилища и окружающие его ландшафты придут в соответствие с новыми гидрометеорологическими условиями, вследствие чего темпы изменения природной среды будут снижаться. Уже через 5–10 лет после достижения проектных отметок существенно возрастет доля весьма стабильных денудационных берегов, выработанных в прочных кристаллических породах фундамента, абразионно-аккумулятивных участков и, в меньшей степени, зон аккумуляции за счет поступления в береговую зону большого объема обломочного материала. Протяженность абразионных и термоабразионных берегов будет сокращаться в соответствии с моделированием первичного рельефа склонов речных долин и составом пород, слагающих уступы и подводный береговой склон водохранилища. Общей тенденцией развития береговой зоны станет увеличение доли берегов, формирующихся при существенном участии неволновых процессов (физическое и морозное выветривание, склоновые и эрозионные процессы и пр.).

Как известно, водохранилище представляет собой искусственный слабопроточный водоем и служит искусственным базисом эрозии для расположенного выше участка реки, ее притоков. Поэтому скорости течения речных потоков здесь резко падают, и поступающие наносы оседают на дне, обуславливая процесс заиления и занесения. Мелкозернистый материал в соответствии с гидродинамикой среды относится ближе к плотине и в первое время положительно сказывается на ее функционировании, колюматирова возможные трещины и поры ее основания. Но дальнейшее увеличение поступления осадков, особенно крупнообломочных, приводит к уменьшению полезного объема водохранилища.

Скорость заносимости зависит от многих причин, включая морфологию и геологическое строение долины реки. Источниками поступления осадков, прежде всего, станут размываемые берега, неустойчивые участки склонов долины, а также твердый сток притоков средней и верхней части зоны затопле-

ния. Скорость заносимости ложа водохранилища будет тем больше, чем круче продольный профиль реки, чем выше и круче борта долины, и, следовательно, активнее транспортировка с них рыхлых наносов.

Наиболее интенсивное осаждение наносов ожидается в устьях рек и в зоне выклинивания подпора, выше которой будет постепенно развиваться регрессивная аккумуляция влекомых наносов. Тонкие частицы в виде взвеси будут выноситься течениями на акваторию водохранилища и постепенно оседать на дне, формируя донные осадки. И только малая доля наносов будет уходить из водохранилища через затворы гидроэлектростанций. Таким образом, в нижнем бьефе гидроузла следует ожидать дефицит наносов и усиление эрозионной деятельности реки [4]. Это особенно актуально в связи с увеличением гидродинамического давления водного потока при сработке, в несколько раз превышающего динамику речного потока в обычных условиях.

Недостаток информации о величине стока твердых наносов р. Тимптон и ее притоков существенно ограничивает возможность прогнозной оценки заносимости проектируемого водохранилища. Отсутствие даже приблизительных данных о количестве наносов, поступающих в водохранилище в результате переработки берегов, исключает подобную оценку в принципе. Вместе с тем водотоки бассейна р. Тимптон способны переносить огромное количество обломочного материала, в особенности при неравномерном режиме выпадения атмосферных осадков, и это следует учитывать при принятии проектных решений.

Все процессы, которые могут возникнуть или возникают в зоне, прилегающей к будущему водохранилищу, подлежат обязательному мониторингу на стадии строительства и ввода в эксплуатацию гидротехнического сооружения. Мониторинг опасных экзогенных геологических процессов должен обеспечивать сбор информации об интенсивности их проявления и влиянии строительства на их развитие, составление прогнозов развития и разработку рекомендаций для предотвращения и/или ослабления негативных последствий воздействия на инженерные объекты.

Программа мониторинга должна учитывать специфику геолого-геоморфологических условий района строительства и корректироваться в соответствии с фактическим состоянием

природно-технической системы на момент проведения работ. Объектом мониторинга будут участки развития опасных геологических процессов, захватывающие верхние горизонты горных пород в полосе строительства и в зоне его влияния. Ширина этой зоны зависит от вида экзогенных процессов и типа сооружения и может составлять первые метры-сотни метров. Для склоновых и эрозионных процессов зона влияния будет ограничена местным базисом эрозии — водотоком, водохранилищем.

В рамках мониторинга на стадии строительства проводятся режимные (периодические) маршрутные наблюдения на участках постоянных и временных водотоков, на гравитационных склонах. Особое внимание должно уделяться местам развития опасных процессов, способных оказать отрицательное воздействие на экологическую обстановку и инженерные объекты в период эксплуатации. Положение таких участков уточняется после окончательного установления контура водохранилища, тогда же может быть организована сеть наблюдательных пунктов (сеть реперов). Периодичность наблюдений следует принимать в соответствии с нормативными техническими документами. Целесообразно проведение обследований после снеготаяния, интенсивных ливневых осадков или значимых колебаний уровня водохранилища. Такие работы позволяют с наибольшей эффективностью осуществлять контроль развития опасных процессов, выявлять участки, где мониторинг должен быть продолжен на этапе эксплуатации сооружений.

Для оценки динамики берегов вновь созданного водохранилища рекомендуется проведение специализированных литодинамических исследований на ключевых участках, направленных на уточнение характеристик морфо- и литодинамических процессов. Причем в первые 2–3 года после достижения уровнем водохранилища проектных отметок рекомендуется проводить ежемесячные инструментальные наблюдения для установления тенденций развития берега, выявления зон аккумуляции, транзита и размыва.

Безусловно, мониторинг на стадии строительства является необходимым и незаменимым для обеспечения надежной эксплуатации гидротехниче-

ского сооружения. Однако при проектировании объектов такого уровня ответственности прогноз развития геологических процессов и оценка рисков необходимы задолго до начала строительства. При этом прогноз должен включать:

- оценку влияния опасных экзогенных геологических процессов на проектируемые инженерные сооружения (плотину, объекты инфраструктуры и пр.);
- прогноз переработки берегов водохранилища (положение береговой линии на расчетный период эксплуатации — 5, 10, 25 лет и т.д.);
- прогноз заиления и заносимости водохранилища.

Очевидно, что результаты изучения экзогенных процессов на стадии проектирования не могут быть в полной мере положены в основу такого прогноза, поскольку не учитывают изменение условий и специфику экзогенного рельефообразования на берегах проектируемого водохранилища. Многие процессы в современных условиях просто отсутствуют.

Как известно [3], существует два выхода из этой ситуации. Во-первых, можно отложить окончательный прогноз до момента завершения строительства и окончательного заполнения водохранилища. Изучив процессы и их динамику, выявив тенденции их развития, оценив влияние инженерных объектов и организовав систему мониторинга за опасными геологическими процессами, можно сделать обоснованный и долгосрочный прогноз. Такой подход позволяет существенно повысить надежность эксплуатации сооружений в будущем (через 15–25 лет), но, к сожалению, менее значим для практики на этапе проектирования. Он не решает задачу обеспечения безопасности строящихся объектов, поскольку переработка берегов и другие процессы в подзоне прямого влияния водохранилища наиболее активно развиваются в первые 5–10 лет.

Другой способ — использовать для прогнозной оценки результаты изучения объектов-аналогов. Это могут быть берега естественных водоемов (морей, озер), либо ранее созданных водохранилищ. При этом точность прогноза существенно снижается, но позволяет вырабатывать рекомендации для проектирования и строительства

(по выбору участков строительства, переносу объектов, их защите, снижению их влияния на окружающую среду и пр.). Теоретическую основу такого анализа составляют представления о геоморфологии и динамике морских берегов, весьма полно разработанные благодаря работам В.П. Зенковича, О.К. Леонтьева, В.В. Лонгинова, Г.И. Рычагова, Г.А. Сафьянова и других исследователей^{2,3} [2]. Однако этот метод также имеет недостатки и по мере поступления фактических данных результаты прогноза должны корректироваться.

Заключение

Представленная характеристика рельефа и экзогенных геологических процессов наглядно демонстрирует своеобразие современных природных условий в районе предполагаемого размещения ГЭС. Вместе с тем специфика гидротехнического строительства в долинах рек подразумевает существенную перестройку условий экзогенного рельефообразования в результате создания водохранилища и возникновения новых опасных процессов. Проблема раннего прогнозирования развития этих процессов остается непростой задачей, требующей комплексного подхода.

Независимо от выбора способов решения инженерно-геоморфологические изыскания остаются незаменимыми как на стадии проектных работ, так и в ходе строительства и эксплуатации сооружений. Получаемые в рамках этих работ сведения позволяют оценивать текущее состояние и прогнозировать изменения условий и факторов рельефообразования, создавать комплексную систему мониторинга, предусматривать проведение специальных технических мероприятий по инженерной защите территории от воздействия опасных экзогенных геологических процессов, включая превентивное строительство берегозащитных сооружений, укрепление склонов и пр. Правильно выполненные исследования способны не только повысить надежность эксплуатации проектируемых сооружений, но и предотвратить неблагоприятные воздействия природно-технической системы на геологическую среду или свести их к минимуму. 

² Леонтьев, О.К., Никифоров, Л.Г., Сафьянов, Г.А., 1975. Геоморфология морских берегов. МГУ, М.

³ Сафьянов, Г.А., 1996. Геоморфология морских берегов. МГУ, М.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вендров, С.Л., Дьяконов, К.Н., 1976. Водохранилища и окружающая природная среда. Наука, М.
2. Зенкович, В.П., 1962. Основы учения о развитии морских берегов. Изд-во АН СССР, М.
3. Лютцау, С.В., Сафьянов, Г.А., 1983. Инженерно-геоморфологические исследования в долинах рек и на берегах морей. Часть 1. Инженерно-геоморфологические исследования в долинах рек. Изд-во Моск. Ун-та, М.
4. Маккавеев, Н.И., 1970. Воздействие крупного гидротехнического строительства на геоморфологические процессы в речных долинах. Геоморфология, № 2, с. 34–45.

REFERENCES

1. Vendrov, S.L., Diakonov, K.N., 1976. The reservoir and the natural environment. Nauka, Moscow. (in Russian)
2. Zenkovich, V.P., 1962. Fundamentals of the theory of the development of the sea coast. Publishing house of USSR Academy of Sciences, Moscow. (in Russian)
3. Lutzow, S.V., Safyanov, G.A., 1983. Engineering and geomorphological research in river valleys and on the shores of the seas. Part 1. Engineering-geomorphological research in river valleys. Publishing house of Moscow University, Moscow. (in Russian)
4. Maccaveev, N.I., 1970. The impact of large dam construction on geomorphological processes in river valleys. Geomorphology, No. 2, pp. 34–45. (in Russian)

Captions to figures

Fig. 1. General site plan with proposed location of hydropower plants (according to the “Vedeneev VNIIG” JSC, 2006)

Fig. 2. Asymmetric V-shaped Tipton River valley on the site of the proposed alignments (view downstream). The river has a channel width 134 m, asymmetrical profile is V-shaped with steep left (35–55°) and gentler (15–25°) right-hand sides

Fig. 3. Kurum fields, slopes and streams (rivers) in the Tipton River valley

Fig. 4. Rockfall-scrree chutes on the steep sides of the valley in the lower reaches of the Nilgau River. Length of the chutes is up to 150–180 m, width is 10–20 m, depth is 2–4 m

Fig. 5. Areas of the indigenous side of the Tipton River valley near the mouth of the Nilgau River (a) and fragment of the slope of the Neozhidanniy stream valley (b) with a noticeable malabaristas relief of solifluction terraces, ramparts and ridges

Fig. 6. Waterfall on the Neozhidanniy stream, height is 4–5 m (a) and one of the bends of the Tipton River below the mouth of the Kamenistiy stream (b)

Fig. 7. Erosion coastal ledges developed in the terrace above the floodplain in the lower reaches of the Kurung-Honku River (a) and 700 m above the projected target of HPP on the Tipton River (b). There is active development of rockfall-scrree processes

Fig. 8. Formation of the floodplain terraces as a result of the accumulation of various-grained sands with a capacity of up to 1.8 m at the mouth of the Anamzhak River (a) and the upper part of the section of the floodplain terrace of the Tipton River (b)

Fig. 9. Pioneer industrial base on the left bank of the Tipton River in the area of the projected sections of the HPP. Traces of tracked vehicles and other anthropogenic impacts are clearly visible on the surface of the alluvial terrace levels

Fig. 10. Fragment of a map of dangerous exogenous geological processes and hydrological phenomena of the area, proposed for placement of the Cancun HPP on the Tipton River (scale 1:50 000)

Информация об авторе

ЕРМОЛОВ А.А.

Руководитель Управления геологических работ АО «Институт экологического проектирования и изысканий», научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) геоэкологии Севера географического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва, Россия

Information about the author

ERMOLOV A.A.

Head of the Geological Works Department of the JSC "Institute of ecological design and surveys", research scientist of the Laboratory of Geoecology of the North, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, PhD (Candidate of Science in Geography), Moscow, Russia