

MULTIANNUAL DYNAMICS OF THE LENA RIVER MOUTH NEAR THE “YAKUT ROBBERY” AND THE GROUND FREEZING IMPACT

A.A. ZAITSEV, N.I. TANANAYEV

Summary

Retrospective analysis of channel alterations revealed durable tendencies of channel processes in the heavy branchy riverbed area known as “Yakut Robbery”. The rates and volumes of channel deformations as well as the effect of seasonal freezing and perennial frozen upon these processes were estimated. Together with flow cinematic calculations for affluent phase of water regime it helped developing the prognostic assessment of channel processes and their impact on engineering facilities and navigation conditions.

УДК 551.435.8(282.251.2)

© 2008 г. Е.А. КОЗЫРЕВА, Ю.Б. ТРЖЦИНСКИЙ, О.А. МАЗАЕВА

КАРСТОВО-ОПОЛЗНЕВЫЕ И КАРСТОВО-ЭРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛОКАЛЬНЫХ ГЕОСИСТЕМАХ БЕРЕГОВЫХ ЗОН БРАТСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Береговые массивы искусственных водоемов находятся в особых инженерно-геологических условиях, определяющихся общим состоянием геологической среды, развитием унаследованных и вновь сформировавшихся экзогенных процессов, а также режимом эксплуатации искусственного водоема, контролируемым человеком. Состояние локальной природно-техногенной геосистемы является следствием сочетания природного потенциала данной территории (другими словами “запасом прочности”), с одной стороны, и техногенных нагрузок, с другой. При освоении и использовании береговых зон искусственных водоемов важно оценить и правильно распоряжаться природным потенциалом того или иного участка побережья, учитывая динамику его развития, и осуществлять продуманное вмешательство человека в природную среду, направленное на стабильное развитие системы в целом, а также комфортное проживание людей.

В связи с созданием Ангарского каскада ГЭС в зону влияния водохранилищ вовлечены громадные территории. Береговые геосистемы отличаются геолого-геоморфологическими условиями, набором процессформирующих факторов, величиной воздействия техногенной нагрузки и, следовательно, по-разному реагируют на таковую, демонстрируя различную динамику и активность проявления экзогенных геологических процессов.

Братское водохранилище является самым крупным искусственным водоемом в Ангарском каскаде ГЭС. В мировом списке крупных водохранилищ оно находится на втором месте по объему водной массы (169.3 км^3) и на четвертом по площади акватории (около 5500 км^2). Величина подпора у створа ГЭС в районе города Братска составляет 105 м. Его максимальная ширина в озеровидных расширениях достигает 10–12 км, а общая протяженность берегов составляет 6000 км [1]. По характеру стока водохранилище является регулятором многолетнего вида с полной величиной понижения уровня до 10 м при ежегодном колебании в пределах 2–3 м.

Береговые массивы в южной части водоема сложены породами красноцветной терригенно-карбонатной формации (доломиты, доломитизированные известняки, аргиллиты, алевролиты), а в северной – терригенной и карбонатно-терригенной формациями (песчаники, доломиты, алевролиты), а также сверхпрочными траппами. Субаэрально-флювиогляциальные рыхлые отложения представлены делювиальными суглинками и

супесями, в том числе и лёссовидными, а также глинами и песками ангарских террас.

Основным критерием оценки геоэкологического состояния локальной геосистемы во времени служат динамика экзогенных геологических процессов и их взаимодействия. Развитие природно-техногенных геосистем Братского водохранилища в первую очередь определяется уреченным режимом последнего.

В южной части Братского водохранилища широко распространены растворимые породы карбонатной формации – доломиты, известняки, ангидрит-доломиты, гипсы, в которых развивается сульфатный карст. Интенсивное развитие карста на данной территории приводит к появлению на дневной поверхности крупных провалов, образованию карстовых воронок, общей просадке территории и т. д.

Ослабленные карстующиеся породы в настоящее время находятся в зоне переменного водонасыщения и в верхней части зоны полного водонасыщения. В результате наполнения и эксплуатации водоема, при переменном обводнении и осушении пород происходит их интенсивное выветривание – физико-химическое изменение: доломит превращается в доломитовую муку, а та, в свою очередь, – в “пещерную” глину. При выщелачивании карбонатных пород (доломитов) и образовании рыхлых элювиальных отложений в минералогическом составе продуктов выветривания начинают преобладать гидрослюды, что увеличивает способность грунтов к набуханию и снижает их механическую прочность при обводнении. Создаются специфические условия для проявления типично карстовых форм на дневной поверхности, а также и других сопутствующих деформаций: карстово-оползневых, карстово-эрозионных форм рельефа (иногда значительного масштаба), проявляющихся в пределах береговых массивов.

Геолого-геоморфологические условия образования оползней, вызванных развитием карста, на участке от г. Свирска до залива Унга примерно аналогичные: смещения происходят по глинистому прослою, образовавшемуся на контакте гипс-ангидритовых пород с известняками и загипсованными доломитами. Фильтрация пресных вод водоема в береговые массивы сказывается на активизации карстового процесса. Формирующиеся оползневые цирки, как правило, в плане не имеют типично округлой формы. Прямоугольная форма блоков контролируется тектонической трещиноватостью, поэтому смещающиеся оползневые ступени имеют вид правильных параллелепипедов.

Активизация карстово-оползневых деформаций в береговой зоне хорошо видна по ежегодно обновляющимся провалам, карстовым и суффозионным воронкам, и все более четко проявляющимся оползевым элементам – заколам, трещинам отпора, карстово-оползневым рвам. В основании склонов в зонах переменного колебания уровня воды формируются горизонтальные полости выщелачивания, выполненные рыхлым материалом – доломитовой мукой. В период низкого положения уровня в водохранилище были отобраны образцы отложений из такого слоя. Лабораторные исследования этих грунтов показали, что они обладают низкой механической прочностью, а при обводнении переходят в пластичное и текучее состояния. В пределах этих преобразо-

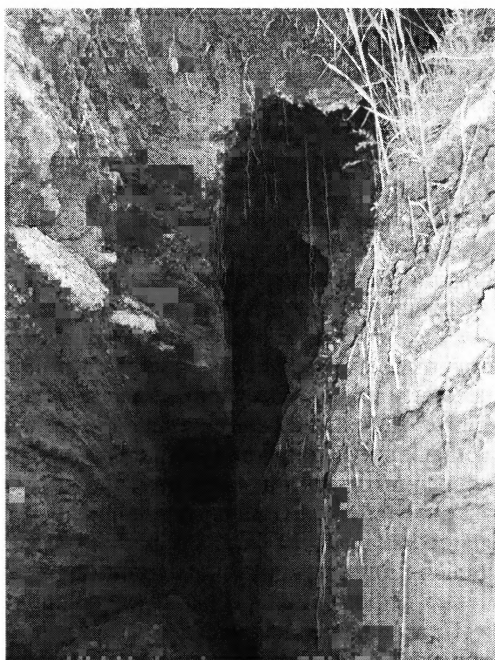


Рис. 1. Вход новообразованной карстовой пещеры в борту залива Мухор-Желга (2005 г.)

ванных и ослабленных полостей выщелачивания, по их пластичному заполнителю и происходят деформации, приводящие к смещению блоков вышележащих пород в сторону эрозионного вреза. Динамика развития карстово-оползневых участков зависит от скорости выщелачивания карбонатных пород.

Близ мысов, ограничивающих залив Шалоты находится один из типичных участков с активным развитием карстово-оползневых деформаций. В пределах выделенной локальной геосистемы наглядно видна взаимосвязь карстового и оползневого процессов, контролируемых в свою очередь уровенным режимом водоема. Ежегодное обследование участка и анализ полученных материалов свидетельствует о формировании оползневых рвов и заложении выше по склону еще одной трещинной зоны, что подтверждает значительную динамику оползневого процесса. При высоких уровнях воды в водохранилище происходит размыв сформировавшихся делювиальных отложений, и подножье склона отступило вглубь до 3 м (2003–04 гг.). По трещиноватым зонам происходит общее проседание дневной поверхности до 15 см в год. Выше по склону летом 2004 г. зафиксировано проявление ряда провалов шахтного типа – по всей видимости, произошло заложение границы нового оползневого блока. Отмечены нарушения дернового покрова, провалы на поверхности имели небольшие размеры (40 × 40 см), но значительную глубину – более 3 м. Все говорило о том, что блоковый оползень медленно смещается. Таким образом, на данном участке можно говорить о не снижающейся скорости карстового процесса в глубине массива и активном проявлении оползневых деформаций в зоне влияния водохранилища.

При проведении полевых работ были отобраны фрагменты коренного доломита с образовавшейся на них корочкой выветривания. По данным рентгено-структурного анализа (аналитик Евгений Галускин, Силезский университет, Польша) выветрелая часть представлена доломитом и опаловидным веществом, с примесью кальцита, глинистого минерала (сметита) и брусита. Краевая зона образована параллельно-шестоватым агрегатом, в основании которого находится зона доломита, на которую нарастает кальцит. Таким образом, уже на начальной стадии преобразования коренных растворимых пород в составе их выветрелого слоя присутствуют минералы группы монтмориллонита, что, безусловно, влияет на прочностные и деформационные свойства перестроенного рыхлого материала, заполняющего подземные полости.

Карстовые процессы на описываемой территории имеют длительную историю развития, в которой отмечается несколько этапов карстообразования, что наложило отпечаток на строение и состав горных пород данной территории. Происходили процессы гипергенного метасоматоза и перекристаллизации вещества, приведшие к формированию в карбонатных толщах различных включений, в т. ч. полезных ископаемых. В отобранных нами образцах коренного субстрата обнаружены крупные сферолиты целестина, что подтверждает значительную обводненность данных горных пород в позднекембрийскую эпоху. Целестин образуется в осадочных горных породах в озерных и морских условиях, т.е. это образование сформировалось из водных растворов зоны полного водонасыщения. По мнению Г.П. Вологодского, в позднекембрийскую эпоху “процессы выщелачивания в карбонатных породах сменились процессами уплотнения и перекристаллизации пород с залечиванием каверн разного рода минеральными новообразованиями” [2, с. 99].

На современном этапе развития территория вновь обводнена, но уже по воле человека, и карстовые процессы возобновились или, точнее сказать, активизировались, и этот процесс носит техногенный характер. За время эксплуатации водохранилища произошла активизация карстового процесса на порядок, возросла пораженность карстовыми формами прилегающих к водохранилищу территорий [3].

Техногенно обусловленный процесс в настоящее время приводит к дальнейшему развитию унаследованных карстовых форм и формированию современных аналогов. В пределах береговых склонов при выходе карстующихся пород на дневную поверхность непосредственно на урезе формируются волноприбойные ниши, эфемерные пещеры. При выщелачивании гипса (по данным В.М. Филиппова) наиболее важную

роль играет не его химический состав, а структурно-текстурные признаки, наличие микротрещин, включение терригенного материала и т.д. Растворение гипса идет достаточно быстро, и за один сезон стояния воды на высоких отметках в береговых уступах по тектоническим и литогенетическим трещинам могут формироваться объемные полости, размеры которых зависят от состава конкретных пород и их раздробленности: их ширина колеблется от 0.1 м до 1.2 м, а глубина от 0.5 м до 6 и более метров. Протяженность эфемерных пещер в районе деревни Хадахан по трещинным зонам достигает 30 м, наружный диаметр входа – более 2 м. При обследовании южной части побережья Братского водохранилища летом 2005 г. в заливе Мухор-Желга в массиве коренных пород были обнаружены вскрывшиеся свежие карстовые пещеры. Все карстовые ходы, полости и залы приурочены к региональной тектонической трещиноватости СЗ и СВ простирания (рис. 1).

Карстовые полости выработаны в кембрийской терригенно-карбонатной формации, представленной ангидритами и гипсами, и имеют значительные размеры. Ширина ходов достигает 1.5 м, высота залов до 5 м. Вскрывшийся на высоте 16.5 м от уреза вход в одну из пещер представляет собой раскрытую трещину шириной 0.7 м и высотой при входе 3.7 м. В сводовой части центрального хода есть зияющий провал небольших размеров (0.3×0.55 м). На дневной поверхности отмечена целая серия мелких провалов и ряд блюдцеобразных воронок (5.8×7.6 м и 10.9×12.10 м). Некоторые из них вскрывают протяженные полые трещины шириной до 0.5–0.6 м и глубиной раскрытия до 6 м.

Наиболее протяженная, с просторными ходами пещера находится в центральной части залива. Вход шириной 0.8–0.9 м расположен в свежем провале. Глубина вертикального входа 3.45 м. Главный ход пересекает ряд трещин, образуя боковые ответвления. Свод левого хода соединяется с провалом, расположенным ниже по склону, через который проникает солнечный свет. Высота хода 2 м, длина 2.5 м, ширина у свода от 0.2 до 0.5 м, далее ход расширяется до 3 м. Дно карстовой полости заполнено глиной с обломками вмещающей породы размерами до 5 см. Правый ход направлен под небольшим углом в глубь склона. Его высота 2.5 м, ширина от 0.4 м до 3 м, в расширенном участке находится небольшое озерцо с сохранившимся на стенках до июля месяца белым льдом. Ход заканчивается глыбовым обвалом гипса.

На правобережье залива Мухор-Желга непосредственно на урезе обнажены коренные сильно трещиноватые гипс-ангидритовые образования. Участок представляет собой интенсивно корродированную структуру с большим количеством полостей, ходов, щелеобразных трещин значительных размеров. Один из протяженных ходов имеет длину 8 м и ориентирован субпараллельно береговой линии, высота свода достигает 5 м. В глубь берегового массива ходы сужаются, превращаясь в глубоко проникающие трещины. Некоторые ходы-гrotы соединяются с водохранилищем под водой, о чем свидетельствует подсветка воды и наличие в них рыбы. Видимая глубина таких сифонов значительна и достигает 4 м и более. В начале гrotов и ходов наблюдаются завалы из обломков и крупных глыб гипса, и поэтому находиться в них довольно опасно. В ходах, дно которых заполнено глиной, отмечены небольшие озерца, покрытые льдом. Из узких трещин и ходов, недоступных для проникновения, идет пар, стелющийся по поверхности воды. Над краевыми трещинами, выше по склону, сформировалась цепочка сопряженных провалов глубиной до 4 м, общей протяженностью 13.25 м. Один из провалов вскрывает узкий ход, глубоко уходящий в массив.

В результате многолетнего существования водохранилища вскрылись многие обновленные карстовые полости. До заполнения чаши водохранилища в этом районе для исследователей была доступна одна из крупнейших пещер Восточной Сибири – Балаганская. Протяженность ее обследованных полостей составляла 1200 м. Сеть ходов имеет СВ и СЗ простирание и расположена в четыре этажа [4]. В настоящее время пещера затоплена, но при низких уровнях воды в водохранилище открывается небольшая часть входа. Однако проводить исследовательские работы, в том числе и подводные, в пещере не представляется возможным из-за высокого риска обрушений

в связи с хрупкостью пород, слагающих ее стены и своды. По нашему мнению, все вышеописанные явления карста в пределах береговых склонов и сама Балаганская пещера – это единая карстовая Хадахано-Мельхитуйская система. В настоящее время происходит ее обновление и интенсивное развитие, которые активно контролируются уровнем режимом водоема. В этом районе на поверхности ежегодно появляются новые провальные формы, обновляются уже существующие, отмечена взаимосвязь карста с другими экзогенными геологическими процессами.

Многие эрозионные формы локальных береговых геосистем также развиваются унаследовано. Их активизация и новый цикл развития были также вызваны техногенным фактором – созданием водохранилища и состоянием его уровня режима. В районах распространения гипсово-карбонатно-соленосной формации нижнего кембрия наблюдается взаимодействие эрозионных и карстовых процессов.

Формирование эрозионно-карстовых форм обусловлено наличием карстующихся и, в то же время, легкоразмываемых пород. Еще одним фактором, определяющим тесное взаимодействие карстовых и эрозионных процессов, является их приуроченность к зонам тектонических нарушений. При этом в условиях покрытого карста эрозионные формы сами являются своеобразными “трещинами”, обеспечивающими доступ поверхностных вод в массивы карстующихся пород.

Среди карстово-эрозионных форм на побережье территории лесостепной зоны Братского водохранилища различают древние карстово-эрозионные формы, представленные суходолами, и современные карстово-суффозионно-эрозионные провалы и овраги [5].

Один из участков, где взаимодействуют карстовые и эрозионные процессы, расположен на СВ склоне залива Шалоты в 1.5–2 км северо-западнее поселка Хадахан. Этот эрозионно-денудационный склон крутизной 10–15° со слабоволнистой выпуклой поверхностью в нижней части переходит в береговой уступ крутизной до 40°. Геологический разрез участка представлен породами гипсово-соленосно-карбонатной формации верхней подбиты ангарской свиты нижнего кембрия и отложениями красноцветной терригенно-карбонатной формации верхоленской свиты среднего–верхнего кембрия. Коренные образования интенсивно разбиты субмеридиональной и субширотной системами трещин, выраженных в рельефе пологими ложбинами, к которым приурочено большинство поверхностных карстовых форм. Четвертичные отложения – делювиальные лёссовидные супеси и суглинки мощностью 2–10 м. На участке широко развиты разновозрастные карстовые, карстово-суффозионные и суффозионные воронки.

Одна из карстово-эрозионных форм развивается в делювиальных лёссовидных супесях мощностью 4.8 м, залегающих на зоне выветривания карстующихся пород. Расположена она на склоне ниже автодороги и устьевой частью подходит к береговому уступу. В 2001 г. ее протяженность составляла 35 м. Поперечный профиль ящикообразный, вершина широкая циркообразная – 7–8 м в диаметре. По бортам и в вершине оврага наблюдались скопления обрушившихся и сползших в днище блоков рыхлых отложений.

История изучения этой карстово-эрозионной формы началась после создания водохранилища и образования в 1976 г. карстового провала на автодороге Хадахан–Закулей (спустя всего полгода после ее сдачи в эксплуатацию). Ежегодно провал безрезультатно засыпали грунтом (объем до 2.5 тыс. м³), но он регулярно вновь формировался на склоне. По данным мониторинговых исследований в 1982 г. было отмечено уже две воронки, расположенные по обе стороны от дороги. Дальнейший рост карстового провала, расположенного выше по склону автодороги был связан не столько с суффозией, сколько с эрозией поверхностных талых и дождевых вод. В 2004 г. он представлял собой циркообразную форму, максимальной протяженности вдоль дороги 32 м. На склонах бортов наблюдалось развитие четырех суффозионно-эрозионных рытвин. К июлю 2004 г. произошел рост длины и ширины этой карстово-эрозионной формы и ее слияние с частью провала, расположенной ниже дороги по склону. Разме-

ры новой формы составили: длина 142,7 м, ширина от 2 до 16,73 м и глубина до 7 м (рис. 2).

Механизм образования карсто-эрозионной формы на этом участке заключается в разрастании в глубину и ширину карстовых форм под действием линейной эрозии. На первой стадии эрозионные формы как вторичный процесс осложняют склоны крупных карстовых воронок, размывая их, концентрируя сток в воронке и, тем самым, активизируя карстовый процесс. На стенках крупных карстовых форм происходит зарождение мелких рытвин или промоин, а при дальнейшем развитии эрозионного процесса –

за счет регрессивной эрозии идет формирование более крупных эрозионных форм. Подобная картина наблюдается в части провала, расположенной выше автодороги по склону.

В результате обрушения и оползания материала со стенок воронки, а также эрозионного размыва склона воронка постепенно вытянулась в длину, все больше напоминающая эрозионную. Случаи переформирования карстовых воронок за счет развития регрессивной эрозии отмечались на пологих склонах в районах сел Бильчир, Хадахан и Новонукутск. На первых стадиях развития подобные формы имеют в плане вид запятой. Образование карсто-эрозионных форм может происходить и при соединении нескольких карстовых воронок. Сливающиеся за счет эрозии карстовые воронки образуют довольно крупные формы протяженностью до 120–250 м, глубиной от 2–3 до 18–22 м. Формирование подобной карсто-эрозионной ложбины наблюдалось нами на исследуемом участке в 2004 г.

В молодых карсто-эрозионных формах воронки образуют расширяющиеся части долин и обуславливают ступенчатость русла. В их пределах происходит активизация эрозионной деятельности. В результате просадки пород над узкими карстовыми полостями в днищах падей могут формироваться настоящие карстовые овраги. По данным Г.П. Вологодского, такие формы наблюдались по пади Шалоты и ее притокам [6]. По морфологии это небольшие ущелья с отвесными стенками глубиной 7–10 м, длиной 50–150 м, шириной 2–5 м.

Другой результат взаимодействия карстовых и эрозионных процессов представляют древние суходолы, широко распространенные в лесостепном левобережье Приангарья – на Братском водохранилище и на массивах Осинского залива. Г.П. Вологодский связывает образование суходолов с активизацией в голоцене глубинного карста, приведшей к затуханию эрозии в пределах долин [2]. Склоны и днища суходолов в настоящее время задернованы. Поверхностный сток в тальвеговых частях древних суходолов наблюдается в период весеннего снеготаяния и во время интенсивных дождей. Карстовые воронки в тальвеговых частях и бортах суходолов поглощают поверхностный сток и под воздействием коррозии продолжают развиваться. В них аккумулируются пролювиально-делювиальные отложения, которые затем выносятся подруслым потоком. Так, например, водотоки всех левых притоков р. Осы ниже ручья Онгосор исчезают в карстовых воронках и западинах, расположенных в их средних и нижних частях. Это в целом снижает эрозионную активность в пределах суходолов.

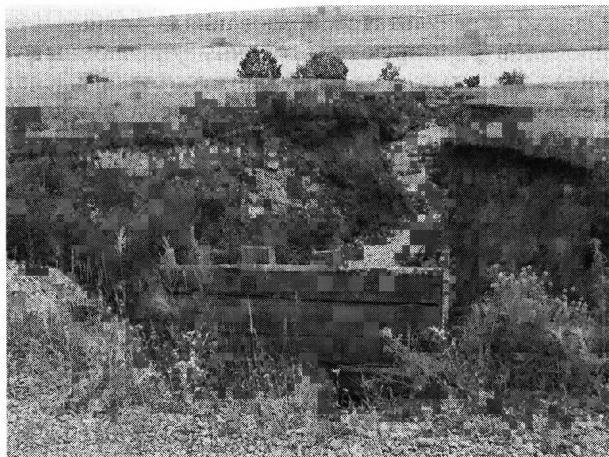


Рис. 2. Карсто-эрозионная форма возле автодороги Хадахан-Закулей (2004 г.)

Однако в результате образования в днищах этих форм коррозионно-эрозионных провалов формируются вторичные эрозионные уступы, на участках которых эрозионная деятельность активизируется. Взаимодействие эрозионных и карстовых процессов вписывается в три схемы: первая – когда существующая карстовая форма осложняется эрозионной, вторая – разновременное образование эрозионной и карстовой форм и их пространственное слияние и взаимодействие, и третья – влияние карстового процесса на условия поверхностного и подземного стока в вершинах и тальвеговых частях оврагов (т.е. когда карстовые формы осложняют крупные эрозионные формы).

Таким образом, техногенный фактор значительно влияет на природный ход процессов и накладывает дополнительный отпечаток на их взаимодействие, создавая определенные типы ландшафтов и специфические формы рельефа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинников Г.И., Павлов С.Х., Тржцинский Ю.Б. Изменение геологической среды в зонах влияния Ангаро-Енисейских водохранилищ. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1999. 254 с.
2. Вологодский Г.П. Карст Иркутского амфитеатра. М.: Наука, 1975. 124 с.
3. Kozyreva E.A., Trzhtsinsky Yu.B. Karst and its correlation with other geological processes (with reference to the zone of influence of Bratsk Reservoir) // Newsletter., Guangxi normal university press., China. 2004. № 4. С. 67–82.
4. Братское водохранилище. Инженерная геология территории. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 273 с.
5. Никифорова Г.П., Филиппов В.М. Развитие карстово-эрозионных процессов на побережье Братского водохранилища // Берега водохранилищ (тез. докл. к пятому совещ. по изуч. берегов сибирских водохранилищ). Иркутск: Иркутск. кн. изд-во, 1980. С. 42–43.
6. Вологодский Г.П. Карст Южного Приангарья // Инженерно-геологические особенности Приангарского промышленного района и их значение для строительства. М.: Наука, 1965. С. 12–25.

ИЗК СО РАН, Иркутск

Поступила в редакцию
30.05.2006

KARST-LANDSLIDE AND KARST-EROSION PROCESSES IN LOCAL GEOSYSTEMS OF BRATSK RESERVOIR COAST

E.A. KOZYREVA, Yu.B. TRZHTSINSKY, O.A. MAZAYEVA

S u m m a r y

The development of coastal geosystems of the Bratsk reservoir is determined by its water level conditions. The southern part of reservoir is characterized by wide occurrence of the soluble carbonate rocks, which is the cause of the typical karst forms development as well as associated deformations such as karst-landslides and large karst-erosion forms.