

О. А. МАЗАЕВА, Е. А. КОЗЫРЕВА, Ю. Б. ТРЖЦИНСКИЙ

ОЦЕНКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛОКАЛЬНЫХ БЕРЕГОВЫХ ГЕОСИСТЕМАХ БРАТСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Представлены результаты комплексной оценки взаимодействия экзогенных геологических процессов, отражающих состояние и изменение во времени локальных береговых геосистем Братского водохранилища. Выполнена комплексная съемка полигонов, позволяющая достоверно фиксировать изменения внутри геосистемы, выявлять типы взаимодействия процессов и масштабы их проявления, влияние факторов на развитие геосистемы в целом и ее элементов в отдельности. Составлена иерархическая структура взаимодействий в локальных геосистемах, приведена картографическая модель одного из ключевых участков.

Presented are the comprehensive assessment results on the interaction of exogenous geological processes, characterizing the state and temporal variations of the local coastal geosystems along the Bratsk reservoir. A comprehensive survey of the research plots has been carried out to reliably record changes in a geosystem, identify the interaction types of processes and the scales of their manifestation, and the influence of the factors on the development of the entire geosystem and its individual elements. The hierarchical structure of interactions in local geosystems has been generated. A three-dimensional cartographic model is provided for one of the key plots.

Создание искусственных водохранилищ в последние десятилетия XX в. — один из важнейших факторов преобразования природной среды. В этом отношении особенно показательна Восточная Сибирь, где в результате гидротехнического освоения территории возник ряд серьезных экологических проблем. Одна из них связана с активизацией экзогенных рельефообразующих процессов в береговой зоне водохранилищ.

В настоящее время в мире накоплен значительный опыт изучения процессов, но их взаимодействующее развитие на берегах искусственных водоемов рассмотрено недостаточно. Наши исследования касаются в основном доминирующих процессов в отдельности, как факторов, осложняющих использование земель в пределах береговых зон водохранилищ (уменьшение площадей урбанизированных территорий и сельскохозяйственных угодий, снижение плодородия земель), определяющих необходимость защиты городов и населенных пунктов от размыва берегов, наносящих ущерб транспортным и другим коммуникациям.

В природной обстановке очень часто проявляются результаты взаимодействия различных процессов в пространстве и во времени, степень и уровень которого могут различаться в пределах одной геосистемы — от простого территориального соседства до тесной парагенетической связи. В любом случае сочетание процессов формируют определенную геодинамическую обстановку, как правило, более сложную, чем при развитии одного типа процесса. В связи с этим оценка эколого-геодинамической обстановки территорий становится невозможной без комплексного подхода к изучению экзогенных процессов, их взаимосвязей и взаимообусловленности.

В статье рассмотрены береговые локальные геосистемы, представляющие собой участки побережий с развивающимися в их пределах комплексами парагенетически связанных экзогенных процессов, отражающих состояние системы и ее изменение во времени и пространстве. Береговые локальные геосистемы являются бинарными, они ограничены участками береговой зоны, находящимися в зоне влияния подпора водоема.

Проблемы оценки геодинамики локальных береговых геосистем рассмотрены на примере искусственного водоема — Братского водохранилища. Изучение геодинамических особенностей его прибрежных локальных геосистем имеет огромное научное и прикладное значение, ибо в результате его почти полувековой геологической деятельности в пределах этой, по сути дела громадной природной лаборатории — грандиозного геодинамического полигона — уже сейчас можно видеть последствия интенсивного преобразования геологической среды.

На берегах Братского водохранилища активизировались унаследованные оползневые, эрозионные, карстовые, суффозионные и просадочные явления. Возникли и новые для этого региона абразионно-аккумулятивные процессы. Все они, вместе взятые, и определяют геодинамическое состояние береговых геосистем. Ангарские водохранилища характеризуются особыми геолого-геоморфологическими и климатическими условиями, в том числе сейсмичностью, особенно проявляющейся в последние годы и вызванной режимами их эксплуатации при колебании уровня воды до 10 м.

В пределах южного Приангарья в течение последних 50–55 лет выполнен большой цикл инженерно-геологических и геодинамических исследований [1, 2]. С помощью геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических съемок разных масштабов и назначения в зоне затопления и на прилегающих территориях получены новые данные об условиях залегания, составе и свойствах грунтов, изучены экзогенные процессы, осложняющие условия строительства. В это же время на геодинамических стационарах изучался режим формирования оползней, карста, курумов, процессов выветривания и абразии, рассматривались факторы и условия их развития.

Для разработки нового системного подхода к анализу и оценке сложных геодинамических условий В. М. Литвиным [3] предложена принципиальная трехуровневая модель формирования экзогеодинамических обстановок, учитывающая взаимодействия: 1) на внутривидовом уровне, формирующие геодинамически значимые свойства пород; 2) на уровне факторов, определяющих развитие процессов; 3) на уровне геологических процессов, формирующих геодинамическое и геоэкологическое состояние регионов. Этот подход использован нами при определении иерархической структуры взаимодействий в локальных береговых геосистемах Братского водохранилища.

Братское водохранилище — водоем многолетнего регулирования, где сработка уровня достигает 10 м. Взаимодействие водной массы и береговых склонов осуществляется на разных отметках уровня с различной продолжительностью. В эту переработку, не прекращающуюся до настоящего времени, вовлечены большие площади земель.

На основании изучения опубликованных литературных и фондовых материалов об активности и интенсивности развития экзогенных геологических процессов, закономерностях их проявления произведен анализ условий и факторов их развития до и после создания водоема. В результате дешифрирования разновременных аэрофотоснимков выявлены изменения, произошедшие за время его эксплуатации, выделены наиболее представительные участки, находящиеся в различных геолого-геоморфологических условиях с комплексом взаимосвязанных, интенсивно развивающихся процессов.

Для оценки геодинамической обстановки локальных геосистем применена комплексная методика на базе существующих региональных методик и ранее полученных результатов [4, 5]. Используются также результаты многолетних исследований, проводимых лабораторией инженерной геологии и геоэкологии Института земной коры СО РАН на разных этапах — от проектирования до современной эксплуатации водоема. Такая оценка развития локальных геосистем с рассмотрением всех внутренних взаимодействий осуществлена для Братского водохранилища впервые.

Методика предполагает выполнение трех блоков. Первый блок включает выбор ключевого участка на основе сбора и обработки материалов по закономерностям развития и активизации геологических процессов в зонах влияния водохранилища в разные периоды времени, анализ условий и факторов развития подсистем до и после его создания, а также дешифрирование аэрофотоснимков. Второй — обеспечивает организацию и проведение мониторинговых исследований с размещением сети наблюдений и проведением топографо-геодезической съемки. На заключительном этапе (третий блок) проводятся обработка и анализ полученных данных с построением объемных картографических моделей, их сравнительный анализ, выявляются качественные и количественные взаимосвязи в геосистеме.

Исследования велись с 2000 по 2004 г. на ключевом участке у пос. Быково, расположенном на левом берегу Ангарской акватории (рис. 1). На снимках 1953 г. (до наполнения водоема) этот береговой склон не был поражен оползневыми процессами. С 1969 г., после наполнения водохранилища, в северной части участка стала производиться добыча песка, и первые сведения об изменениях здесь относятся к концу 1980-х гг. Таким образом, причиной образования деформаций могли стать абразионная деятельность водохранилища, разработка карьера или их взаимное влияние.

К началу первых экспедиционных исследований участок представлял оползневый склон северо-восточной экспозиции протяженностью 250–300 м, осложненный эрозионными формами. Зона пляжа и абразионный уступ выполнены отложениями верхней подсвиты гипсово-соленосно-карбонатной формации нижнего кембрия, частично перекрытыми отложениями нижневерхоленской подсвиты

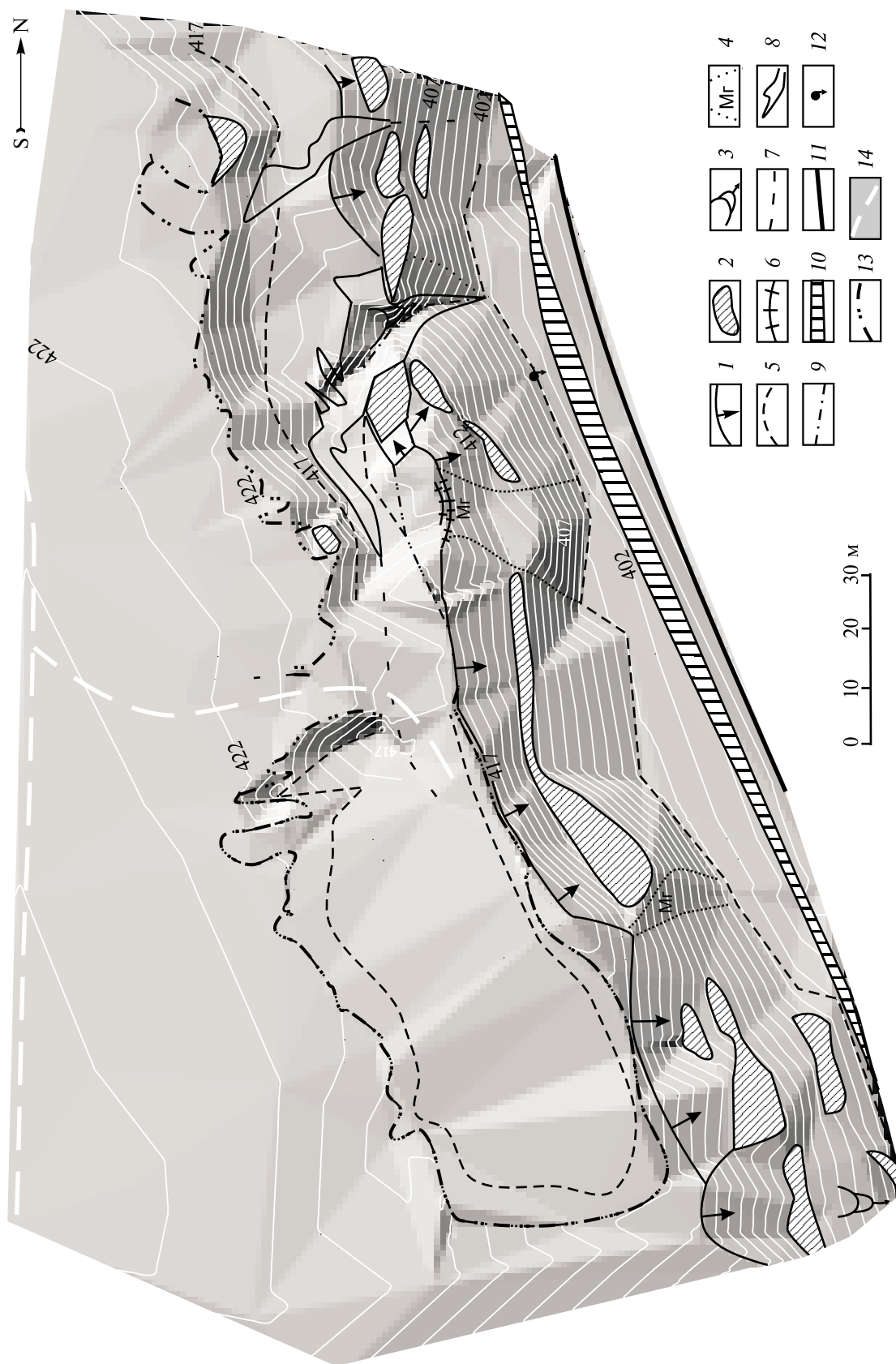


Рис. 1. Объемная картографическая модель участка Быково.

1 — бровка срыва оползневого цирка; 2 — поверхность оползневой ступени; 3 — оползень-поток; 4 — межоползневой гребень; 5 — подошва оползневого склона и тыловой шов карьера; 6 — трещина бортового отпора; 7 — промоина; 8 — бровка эрозионной формы; 9 — днище эрозионной формы; 10 — абразивный уступ; 11 — урез водохранилища; 12 — выход водохранилища у подножия оползневого склона; 13 — карьер; 14 — грунтовая дорога.

среднего–верхнего кембрия. Оползневый процесс захватывает средне-верхнечетвертичные грунты фрагмента эрозионно-аккумулятивной террасы, представленные песком, песком с галькой, супесями и суглинками. Поверхностью скольжения оползня служат глины — продукт выветривания аргилли-тов и алевролитов нижневерхоленской подсыты среднего–верхнего кембрия.

При высоких уровнях водоема в коренных карстующихся породах, выходящих на поверхность в южной и северной частях участка, образовалась серия волноприбойных ниш, снижающих устойчи-вость склона. Динамично развивающийся оползневый склон испытывает постоянную антропоген-ную нагрузку — при разработке песчаного карьера, от работы механизмов и транспорта.

При наблюдаемом эрозионно-оползневом типе взаимодействия усиливается и ускоряется развитие эрозионного и оползневого процессов, которые носят здесь циклический характер. На крутом склоне водохранилища повсеместно наблюдаются разбитые трещинами оползневые ступени с понижением в их тыловых частях (своеобразные оползневые рвы), где во время снеготаяния и дождей собираются воды временных водотоков. Формирующиеся по ним ручьи размывают рыхлые отложения и образуют овраги и промоины, а по бортам наиболее крупных оврагов происходит оползание. В конечном счете интенсивно растущие овраги и промоины уничтожают элементы оползневого рельефа, снижая об-щую устойчивость склона, что в свою очередь приводит к формированию новых оползневых цирков.

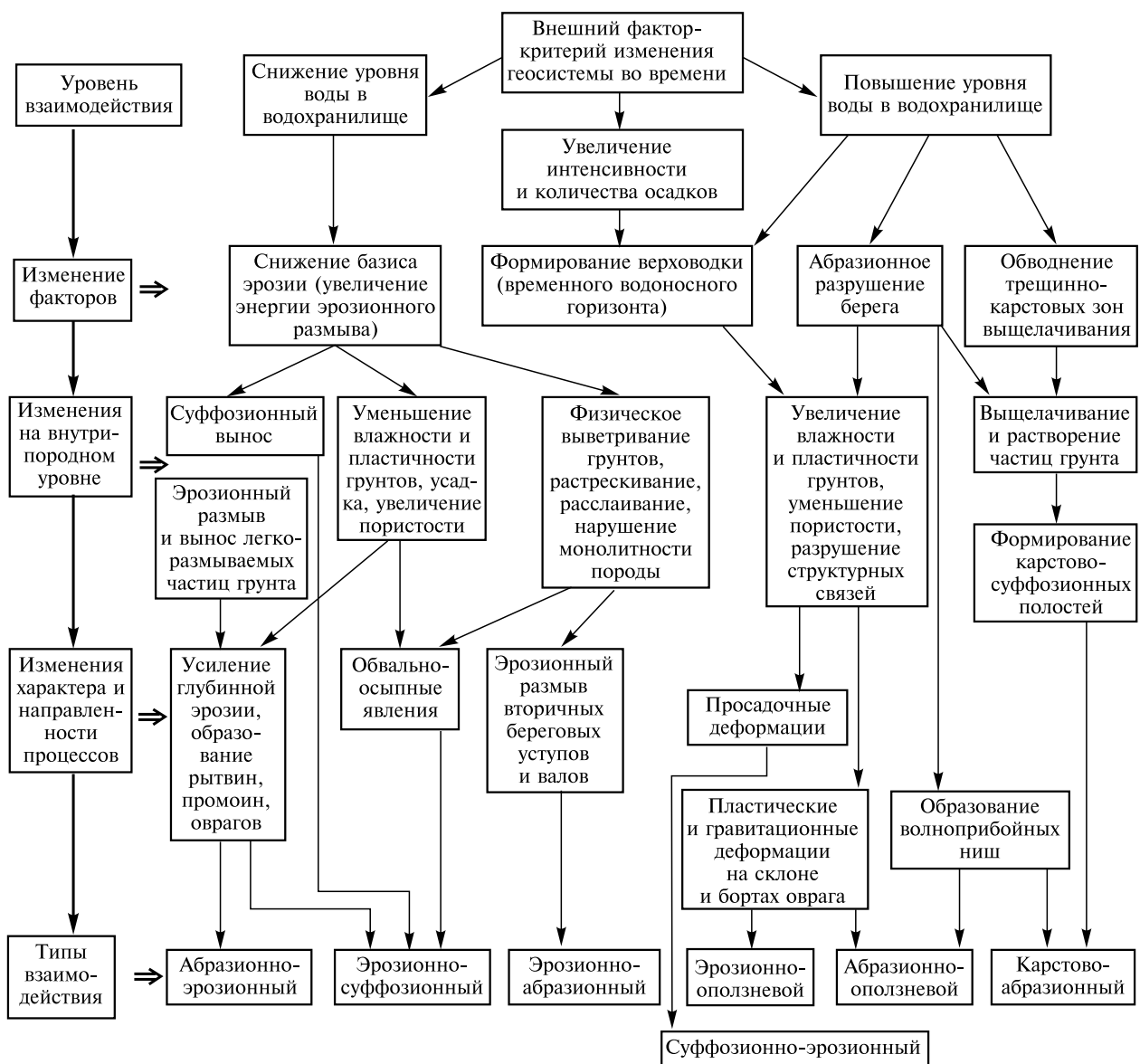


Рис. 2. Иерархическая структура взаимодействия экзогенных процессов в локальных береговых геосистемах Братского водохранилища.

С одной стороны, под воздействием оползневых процессов на бортах оврага увеличивается его ширина, а с другой — расширение и углубление оврага ведет к разделению массива на блоки, изменяет напряженное состояние, ослабляет связи и способствует отделению оползневых блоков от основного склона. Формируется динамично развивающаяся эрозионно-оползневая трещина отпора. Концентрация стока в днище эрозионной формы способствует увлажнению грунтов, снижению их прочности и развитию оползневых процессов, что подтвердили результаты лабораторных исследований грунтов.

Суглинок, вскрытый на отметке тальвега оврага, находится в мягкопластичном состоянии (природная влажность W составляет 29,6 % и приближается к влажности предела текучести W_l , равной 32,8 %). При дополнительном насыщении дождевыми водами он способен переходить в текучее состояние. На отдельных участках происходит нивелировка оврага оползнями-потоками, в результате чего ширина оврага увеличивается, а глубина уменьшается. Таким образом, оползневые и эрозионные процессы здесь выступают антагонистами, но их совместное воздействие по преобразованию берегового склона возрастает.

При сопоставлении объемных ситуационных моделей ключевого участка Быково установлены критерии прогноза изменения геодинамической обстановки геосистемы. Одним из них стало положение уровневого режима Братского водохранилища, который за последние пять лет его эксплуатации представлял собой чередующиеся этапы высокого и низкого стояния воды. Отступление подножия берегового уступа под воздействием абразии в период высокого уровня воды (2001–2002 гг.) достигло на изучаемом участке 10 м. Размывы не отмечались в местах выхода коренных пород, где образовались ниши за счет интенсивного выщелачивания карстующихся отложений и дополнительной абразионной нагрузки.

После нескольких циклов колебания уровня в результате размыва делювиальной толщи вскрылись карстующиеся породы, что увеличило фильтрацию пресных вод в береговые массивы. Это, безусловно, сказывалось на интенсивности карстового процесса в глубине массива на всем протяжении участка (обнажения сульфатно-карбонатных пород на береговом склоне). Сформировалось несколько свежих оползневых цирков. В этот период наблюдалась активизация оползневого процесса, поразившего 30,4 % общей протяженности участка. Произошло обводнение бортов оврага, что способствовало развитию гравитационных и просадочных деформаций, вызвавших увеличение ширины оврага (с 6 до 19 м). Линейного прироста отвершков не отмечено.

Период высоких уровней водохранилища сменился этапом его низкого положения (2003 г.), когда при среднемесячном уровне воды в июле 394,84 м наблюдались активизация эрозионных процессов и стабилизация оползневых деформаций склона. В пределах отмели отмечены два вторичных абразионных уступа с высотой первого 0,5–1,5 м, второго — 0,35–0,39 м. На отмели образовались также два береговых вала небольшой высоты — 0,30–0,55 м. На бровке вала, сложенного песчаным материалом, интенсивно формировались промоины.

В 2004 г. (среднемесячный уровень воды в июле 398,57 м) отмечена значительная активизация оползневых процессов, по размерам превысившая активизацию овражной эрозии. В северной части участка находится оползневый цирк шириной 22 м с тремя четко выраженными запрокинутыми под склон оползневыми ступенями. Высота образовавшейся стенки срыва 3,5 м, угол наклона 46°. Сошедшие массы грунта практически полностью перекрыли среднюю и устьевую части оврага, превратившегося в узкую промоину. В центральной части склона, как по лотку, сошел оползень-поток с ярко выраженной стенкой срыва и обнаженными в некоторых местах зонами скольжения. Оползневой грунтовой «язык» с растущими на нем кустарниками вышел непосредственно к урезу воды.

Увеличение количества выпавших осадков и их интенсивность, геологическая структура массива сформировали временный грунтовой горизонт, разгрузка которого происходит на крутом оползневом склоне и по тальвегу оврага, где, несмотря на жаркую сухую погоду, стоит вода. Подобная ситуация наблюдалась и в 2001 г. при уровне воды в июле 397,8–399,6 м и среднемесячном уровне 398,5 м. Склон интенсивно увлажнен, отмечается рассредоточенный выход поверхностных вод. В южной части на протяжении 50 м он деформирован свежим оползневым цирком с сохранившимися элементами ранее сошедших оползневых ступеней. Стенка срыва с видимой высотой 3,5–4 м в некоторых местах перекрыта осыпью вышележащего аллювиального песка.

Оползневые массы вспахали береговой пляж, они разбиты трещинами и разрушаются. Оползневыми деформациями затронуто 52 % общей протяженности участка. При повышении уровня водоема затоплены и размывы вторичные уступы и ранее сформированные абразионно-аккумулятивные валы, сформировался новый вторичный уступ высотой 1–1,2 м. Отступление подножия берегового уступа неравномерно, его максимальная величина пять метров. В основном размываются сошедшие ранее оползневые массы, территория размыва составила 19 % всей протяженности участка.

Как показал анализ динамики эрозионных форм в стенке карьера, на развитие которых не влияют оползневые процессы и уровень водохранилища, ширина оврага изменяется незначительно (0,2 м), вершина одного из наблюдаемых оврагов за период 2002–2004 гг. росла с постоянной скоростью 1,7 м в год. Судя по изменению глубины оврага, его приращение идет за счет провально-обвальных явлений, хотя интенсивность эрозионного размыва обвалившихся блоков грунтов в 2004 г. была наименьшей. Скорость линейного приращения другой промоины составила за 2002–2003 гг. 0,17 м, а за 2003–2004 гг. — 2,75 м.

При одинаковых климатических условиях всего участка дополнительное и преобразующее влияние на его эрозионные формы оказывают оползневые процессы, увеличивающие скорость (интенсивность) изменения ширины оврага. Приращение эрозионных форм, находящихся вне зоны влияния уровневого режима водохранилища, происходит с постоянной скоростью, зависящей от метеорологических факторов. В то же время для форм, выходящих устьями к водохранилищу, колебания уровня приводят к активизации процессов (в данном случае эрозионного), превышающей его обычную динамику.

На основе проведенных исследований, построения и сопоставления объемных картографических моделей ключевого участка предложена схема иерархической структуры взаимодействия экзогенных геологических процессов в локальных береговых геосистемах Братского водохранилища (рис. 2). Комплексная методика съемки полигонов позволила достоверно установить изменения внутри геосистемы, выявить типы взаимодействия процессов и масштабы их проявления, влияние различных факторов на развитие всей геосистемы и ее элементов в отдельности.

Выявлены абразионно-оползневой, карстово-абразионный, эрозионно-оползневой типы взаимодействия. Дана характеристика состава, структуры и свойств грунтов, определяющих взаимодействие на внутривидовом уровне. Для геодинамической оценки небольших участков побережья любого водохранилища эта методика представляется оптимальной, поскольку позволяет в короткие сроки и с наименьшими финансовыми затратами рассчитать динамику отслеживаемых процессов и выявить их взаимодействие.

Установлено, что ответная реакция состояния геосистем (динамика процессов, их взаимодействие, изменение среды) характеризуется определенной цикличностью, соответствующей изменению уровня воды, и стабилизация процессов может быть лишь относительной — до следующей смены уровневого режима.

Таким образом, основным критерием прогноза развития береговых геосистем во времени можно считать уровневый режим водохранилища. С этих позиций рассмотрены несколько вариантов развития системы с учетом положения уровня: медленное (несколько лет) его повышение до НПП; стремительное (в один сезон) повышение до НПП; высокое положение (в течение сезона) в районе НПП; низкое в районе УМО; стремительное понижение; медленное понижение уровня воды в водохранилище. Следует отметить, что в подобных инженерно-геологических условиях находятся участки береговых зон многих водохранилищ, в частности всех ангарских, т. е. существует возможность применения результатов данной методики на региональном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тржцинский Ю. Б., Литвин В. М.** Некоторые проблемы инженерной геодинамики юга Восточной Сибири // Сергеевские чтения. — М.: ГЕОС, 2001. — Вып. 3.
2. **Овчинников Г. И., Павлов С. Х., Тржцинский Ю. Б.** Изменение геологической среды в зонах влияния ангаро-енисейских водохранилищ. — Новосибирск: Наука, 1999.
3. **Литвин В. М., Тржцинский Ю. Б.** Взаимодействия в сложных геосистемах и их значение для геодинамической опасности территории // Оценка и управление природными рисками. — М.: Анкил, 2000.
4. **Мазаева О. А., Козырева Е. А., Рыбченко А. А.** К вопросу изучения взаимодействия экзогенных геологических процессов в береговой зоне Братского водохранилища (на примере участка Быково) // Z badan nad wplywem antropopresji na srodowisko. — Sosnowiec, 2001. — Т. 2.
5. **Козырева Е. А., Мазаева О. А., Рыбченко А. А.** Обоснование методики работ по выявлению функциональных взаимодействий основных экзогенных геологических процессов в береговой зоне искусственного водоема // Z badan nad wplywem antropopresji na srodowisko. — Sosnowiec, 2002. — Т. 3.