

23. Величко А.А. Криогенный рельеф позднелейстоценовой перигляциальной зоны Восточной Европы // Четвертичный период и его история. М.: Наука, 1965. С. 96–112.
24. Бердников В.В. Палеокриогенный микрорельеф центра Русской равнины. М.: Наука, 1976. С. 126.

Ин-т географии РАН

Поступила в редакцию
14.08.2012

RIMMED DEPRESSION OF THE LAKE KRASNOYE IN THE MOSCOW REGION – ANCIENT DEGRADED PINGO

V. Vad. BRONGULEYEV, A.N. MAKKAVEYEV, V.A. KARAVAYEV

Summary

The lake Krasnoye lays on the 3d terrace of the Moscow River in the periglacial region of the Moscow and Valdai glaciations. It has rounded conical shape 300 m in diameter and 9 m in depth, and is surrounded by a gentle rim 2-6 m in height and 100-150 m in width. Deposits of the rim (sand and sandy-loam) have lumpy, practically non layered structure which is similar to gravitational deposits of the slope foot. Authors suggest that these deposits might be formed at the foot of the large ancient pingo existed here in the periglacial conditions, from the slopes of which unconsolidated sediments crept and were washed down. The impact origin of this rimmed depression should be rejected because of the complete absence of the deep rocks ejecta.

УДК 551.435.36→556.557(571.53)

© 2014 г. О.А. МАЗАЕВА, В.А. ХАК, Е.А. КОЗЫРЕВА

МОНИТОРИНГ ЛОКАЛЬНЫХ БЕРЕГОВЫХ ГЕОСИСТЕМ БРАТСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Введение

Одним из ярких примеров антропогенного преобразования природной среды на юге Иркутского амфитеатра является Братское водохранилище. Это линейно-вытянутое в меридиональном направлении крупное равнинное водохранилище долинного типа сложной конфигурации с чередованием сужений и озеровидных расширений. Его создание повлекло значительные изменения природной среды, еще возросшие в результате хозяйственного освоения прилегающих территорий. Мощным фактором воздействия стал нестабильный уровеньный режим водохранилища. Особенностью, отличающей Братское водохранилище от других равнинных, является приуроченность максимальных отметок уровня воды к осеннему периоду.

В настоящее время береговая зона Братского водохранилища находится в стадии становления [1]: идет активная абразионная переработка, особенно заметная на берегах, сложенных рыхлыми отложениями. Суммарная длина последних достигает 2277 км (или 38% от их общей протяженности). За период эксплуатации с 1967 по 2000 гг. суммарная длина абразионных берегов увеличилась до 2056 км и составила 34.2% от общей протяженности береговой линии. Создание водохранилища, его нестабильный уровеньный режим, интенсивная абразия привели к активизации на его берегах оползневых, карстовых, эрозионных и других процессов [2]. Большинство из них является унаследованными, и наряду с гидродинамическими процессами они определяют морфологию береговой зоны водохранилища. Изучение режима и механизмов развития

экзогенных геоморфологических процессов (ЭГП) позволяет оценить их потенциальное воздействие на хозяйственные объекты и экологические условия прилегающих территорий.

Методика

Для изучения режима и условий функционирования локальных береговых геосистем и их изменения под воздействием техногенных факторов, связанных с созданием и особенностями эксплуатации водохранилища, важное значение имеют мониторинговые исследования.

Для ангарского каскада ГЭС была создана система геодинамических полигонов, расположенных в различных ландшафтных условиях. Систематические ежегодные наблюдения за отдельными видами ЭГП проводились на 77 участках, среди которых на 43 изучалась абразия, на 15 – гравитационные процессы, на 11 – карстово-суффозионные и на 8 – эрозионные [2]. Использовались инструментальная съемка по выделенным створам, учет выноса материала (масса и состав) по системе площадок и наносоуловителей в днищах оврагов, велись измерения линейных и вертикальных изменений прибрежного рельефа.

Тенденцией современных исследований является наблюдение за развитием локальных геосистем. Береговые локальные геосистемы, по представлению авторов, – это участки побережий с развивающимся в их пределах комплексом парагенетически связанных экзогенных процессов, отражающих состояние системы и ее изменение во времени и пространстве. Береговые локальные геосистемы находятся в зоне влияния колебания уровня водоема [3]. В природной обстановке наблюдаются результаты взаимодействия различных ЭГП в пространстве и во времени, степень и уровень которого могут быть различными в пределах одной геосистемы: от простого территориального соседства до тесной парагенетической связи.

В 2001 г. на базе уже существующих региональных методик и ранее полученных результатов была разработана оригинальная методика для оценки геодинамической обстановки и динамики локальных геосистем [3, 4], суть которой заключается в следующем. На ключевом участке производится мониторинг нескольких взаимодействующих экзогенных процессов, которые находятся здесь в одинаковых условиях и под воздействием одних и тех же техногенных факторов. Для построения цифровой модели рельефа (ЦМР) участка разбивается сеть реперов и проводится крупномасштабная (1:1000) топографо-геодезическая съемка.

Далее выполняется сравнительная оценка разновременных ЦМР одного участка, анализ изменений положения характерных элементов и форм процессов, анализ и сопоставление данных по динамике с природными и антропогенными факторами, выявление взаимосвязей. Применение ЦМР для целей мониторинга позволяет оценивать динамику процессов со сложной пространственной конфигурацией или значительной по площади формой проявления. Для оценки состояния локальных геосистем эта методика является оптимальной, поскольку позволяет в короткие сроки и с наименьшими финансовыми затратами произвести расчеты динамики отслеживаемых процессов и их взаимовлияние.

В 2004 г. в береговой зоне залива Оса были начаты исследования комплекса абразийных, эрозионных и эоловых процессов. В 2007–08 гг. для построения ЦМР ключевых участков Рассвет и Закорюково был успешно применен метод GPS-съемок в кинематическом режиме [5, 6]. Динамика оврагов на участке Рассвет оценивалась по изменению их объема за период между измерениями с частотой 1 раз в год. Детальная морфометрическая съемка оврагов выполнялась с помощью лазерного дальномера “Leica disto A8”. Дополнительно для получения данных по динамике эоловых полей на участке Рассвет и эрозионных форм на участке Улей применен сравнительный анализ разновременных аэрофотоснимков 1969 (м-б 1:7200), 1971 (м-б 1:6500) и 1980 гг. (м-б 1:10000).

Результаты мониторинга на ключевых участках

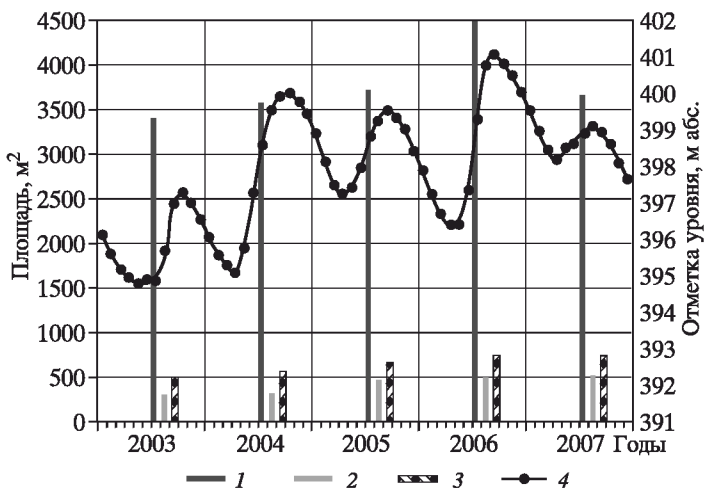
После 40-летнего периода эксплуатации водоема в южной части Братского водохранилища сформировался ряд новых и достаточно активных оползневых деформаций – Балаганский оползень, участок в районе поселка Быково, Шалотский оползневой район. Первый опыт построения ЦМР на основе крупномасштабной топогеодезической съемки был получен на эрозионно-оползневом участке Быково [4]. Были выявлены следующие особенности функционирования геосистемы в условиях колебания уровня. В период с 2003 по 2006 гг. зафиксировано увеличение площади оползневых смещений на фоне повышения отметок уровня воды в многолетнем ходе (рис. 1). Максимальное увеличение площади оползневых смещений (на 746 м²) было зафиксировано в июне 2006 г., который характеризовался максимально обильными осадками и наивысшим за период наблюдений уровнем воды в водохранилище. Смещенный материал был переработан абразией осенью 2006 г., и благодаря этому в последующем 2007 г. отмечалось значительное уменьшение площади оползневых деформаций. Дальнейшее понижение уровня воды привело к усилению фильтрационных потоков в прибрежном массиве пород и закономерной активизации суффозионно-просадочных процессов. После абразионной подрезки устьевых частей оврагов сформировался новый профиль продольного равновесия и активизировалась глубинная эрозия, однако это не отразилось на площадной эрозионной пораженности побережья. Образовавшиеся на отмели при снижении уровня вторичные абразионные уступы прорезались эрозионными промоинами.

Далее на участках Рассвет, Улей, Хадахан, Закорюково были продолжены наблюдения за динамикой эрозионных форм с различными механизмами приращения, являющимися результатом сложного взаимодействия эрозионных, суффозионно-просадочных, карстовых, оползневых, золовых и абразионных процессов.

Наибольшие темпы абразии отмечены на участке Рассвет, имеющем протяженность 2000 м и расположенном в пределах стрелки на южном побережье залива Оса. Берег здесь сложен аллювиально-делювиальными супесями и суглинками с прослоями среднезернистых песков. Отступление бровки в период 2006–08 гг. колеблется в пределах от 0 до 8 м. Максимальное значение объема грунта, вынесенного при отступании бровки берега за год на участке Рассвет, достигло 13860.0 м³ [6]. По состоянию на 2007 г. объем зафиксированных здесь 21 эрозионной формы составил 1360.1 м³. Несмотря на незначительные объемы эрозии по сравнению с абразией, эрозионные процессы активно преобразуют береговой склон. Их количественная и объемная динамика представлены на рис. 2.

Рис. 1. Динамика площадной пораженности участка Быково оползневыми и эрозионными процессами на фоне колебаний уровня воды в водохранилище

Площади: 1 – оползневых смещений, 2 – развивающихся в борту карьера (базис эрозии стабилен), 3 – выходящих устьями в береговую зону водохранилища (их развитие связано с оползневыми процессами и колебаниями уровня воды); 4 – уровень воды в водохранилище



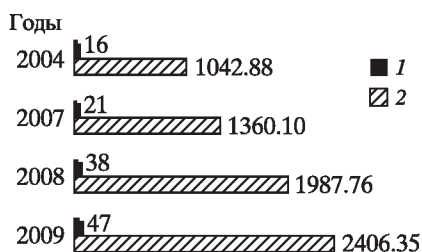


Рис. 2. Динамика количества оврагов и их объема
1 – количество оврагов, 2 – суммарный объем оврагов участка, м³

Активное развитие абразии и эрозии на данном участке объясняется строением разреза (лёссовидные супеси подстилаются песком) и свойствами грунтов (высокая пылеватость супесей, низкие плотность и сцепление, сульфатное засоление). При увлажнении грунты здесь

быстро размокают, теряют прочность, при высыхании – проявляют деформации усадки. Активная абразия при высоком уровне воды в водохранилище приводит к отступанию берега и увеличению его высоты, подвешиванию устьевых частей большинства оврагов. Начинается выработка нового продольного профиля равновесия, с чем связана периодическая активизация глубинной и регрессивной эрозии, сопровождающаяся залповыми приростами объема оврагов [5].

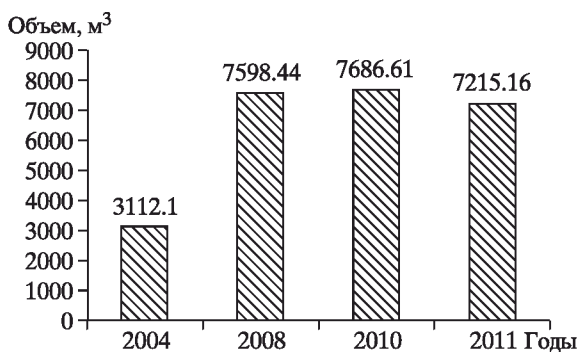
В развитии эоловых процессов на ключевом участке Рассвет отмечены, как увеличение площади распространения песчаного материала, так и наращивание мощности эоловых отложений, перекрывающих почвенно-растительный слой берегового склона. Этому способствуют как приоткосные эоловые образования, формирующиеся у подножья берегового уступа и нивелирующие его, так и эрозионные формы, выполняющие роль дефляционных коридоров. За анализируемый период 1969–1980 гг. высокий уровень воды в водохранилище наблюдался в 1971–74 гг., остальное время положение уровня характеризовалось низкими отметками (1969–70) или постоянным понижением (с 1975 по 1982 г.). Эти условия продолжительного нахождения уровня воды в водохранилище на низких отметках и способствовали значительному (более чем в 15 раз) увеличению площади эоловых полей [7]. По данным GPS-съёмки 2007–08 гг., увеличение площади эолового массива за год составило 3620 м² [5].

Отступление берега эрозионно-абразионного участка Улей за весь период с 1967 по 1999 г. достигло 10–20 м [2]. В пределах водохранилища протяженность такого типа берегов, сформированных в отложениях верхоленской свиты, составляет 53.75 км. На протяжении 1600 м участка берега прямого профиля ЮЗ экспозиции наблюдается развитие 31 эрозионной формы длиной 65–200 м.

Динамика оврагов с 1971 по 1980 г. по результатам дешифрирования аэрофотоснимков колеблется от 0 до 44 м, при средних значениях 10–20 м. Средняя скорость роста составляет 1–2 м, максимум – 4 м в год. Полевые работы 2007 г. показали, что за период с 1980 г., характеризующийся продолжительным стоянием уровня воды на высоких отметках, величина отступления берега в результате абразионного размыва на участке Улей составила 33.4 м и превысила наблюдаемые здесь темпы эрозии, что привело к уменьшению протяженности оврагов.

Наибольшая динамика характерна для оврага на участке Хадахан (залив Шалоты), образовавшегося в результате сочетания карстового и эрозионного процессов. История его развития началась с образования в 1976 г. карстового провала на автодороге Хадахан – Закулей, который далее соединился с расположенным ниже по склону оврагом [8]. Сочетание процессов определило экстремальные величины прироста этого карстово-эрозионного оврага. Объем оврага за период с 2004 по 2008 г. увеличился в 2.4 раза, ширина по верху достигла 15–19 м, глубина увеличилась до 8.5 м. В настоящее время эрозионно-карстовая форма выработана на всю длину склона и остается неизменной по протяженности, в результате врезания днища и разрушения бортов меняется только ее объем (рис. 3). Фактором активизации карстово-эрозионных процессов наряду с количеством осадков являются колебания уровня водоема. Тесная взаимосвязь уровня подземных вод с уровнем водохранилища определяет активизацию карста во всей зоне подпора и высокие темпы выщелачивания сульфатно-карбонатных пород.

Рис. 3. Динамика карстово-эрозионной формы на участке Хадахан



Участок Закорюково характеризуется меньшими величинами отступления бровки берега и объемами размыва грунта до 2690 м³ за год. Основную роль здесь играют эрозионные процессы, в отличие от участка Рассвет, где наибольшая часть материала выносится за счет абразионной деятельности водохранилища. На этом участке

за 2006–2008 гг. не наблюдалось существенного влияния сезонных и годовых колебаний уровня воды на динамику эрозионных форм.

Рост эрозионных форм происходит преимущественно благодаря суффозионно-просадочным процессам, которые неравномерны во времени: периоды относительной стабилизации оврага сменяются резким ростом его вершины и отвершков. По результатам наблюдений за 12 месяцев с июля 2002 г. линейное приращение вершины оврага “Большой” составило 0.43 м; с июля 2003 по 2004 г. – 2.89 м (произошло слияние вершины оврага с просадочной воронкой глубиной 1.1 м). По наблюдениям 2008 г. рост оврага на участке Закорюково продолжается и за 2004–2008 гг. составил 1.95 м (в вершине зафиксирован свежий провальный колодец глубиной 1.7 м, а на прибрежной отмели – небольшой конус выноса). Анализ климатического фактора показал, что периоды наименьшей активизации прироста оврага соответствуют периодам с наименьшей годовой суммой осадков, минимальным количеством ливней и их небольшой интенсивностью.

Выводы

Развитие локальных геосистем (динамика процессов и их взаимодействие, изменение состояния и свойств грунтов) характеризуется цикличностью, обусловленной изменением уровня воды Братского водохранилища. При высоких уровнях активизируются оползневые процессы, при низких положениях – эрозионные и эоловые, после резкого снижения уровня – карстовые. Таким образом, в береговых геосистемах водохранилища положение уровня воды является фактором, приводящим к активизации того или иного процесса.

Результаты мониторинга эрозионных форм на участках Хадахан и Улей, прекративших свой линейный рост, еще раз доказали необходимость измерения динамики объема оврагов. Анализ влияния различных механизмов на динамику эрозионных форм территории показал, что наибольший прирост их объема происходит при сочетании карстовых и эрозионных процессов, что и наблюдается на участке Хадахан.

Различия в геологическом и геоморфологическом строении участков, находящихся в одинаковых условиях колебания уровня, определили развитие разных комплексов процессов: на участке Улей – абразионных, эрозионных и карстовых, на участке Рассвет – абразионных, эоловых, эрозионных и карстовых. Нестабильный уровенный режим привел к возникновению новых механизмов формирования и развития эрозионных форм, не характерных для естественных условий исследуемой территории.

Создавшаяся экзогеодинамическая ситуация на побережье Братского водохранилища определяется особенностями развития ЭГП и воздействием на них техногенной составляющей.

Проведенный мониторинг береговой зоны водохранилища с применением современного оборудования и методик позволил определить скорости развития ЭГП береговых геосистем в зависимости от уровенного режима и динамики абразии. В большинс-

тве рассмотренных случаев абразия активизирует процессы в геосистеме или стирает результаты их проявления (абразионный размыв оползневых масс и устьевых частей оврагов).

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. Выполненный локальный геодинамический мониторинг береговой зоны является одной из составных частей регионального мониторинга, разработка и реализация концепции которого остается важной задачей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Широков В.М. Формирование берегов и ложа крупных водохранилищ Сибири. Новосибирск: Наука. Сибирское отд-ние, 1974. 172 с.
2. Обчинников Г.И., Павлов С.Х., Тржцинский Ю.Б. Изменение геологической среды в зонах влияния Ангаро-Енисейских водохранилищ. Новосибирск: Наука. Сибирское отд-ние, 1999. 254 с.
3. Мазаева О.А., Козырева Е.А., Тржцинский Ю.Б. Оценка взаимодействия экзогенных процессов в локальных береговых геосистемах Братского водохранилища // География и природные ресурсы. 2006. № 3. С. 81–86.
4. 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. Sosnowec: Widzial Nauk o Ziemi US, 2002. Т. 3. С. 52–57.
5. Хак В.А., Мазаева О.А., Козырева Е.А. Применение цифровых моделей рельефа для мониторинга экзогенных геологических процессов // Сергеевские чтения. Моделирование при решении геоэкологических задач / М-лы годичной сессии Научного совета РАН по пробл. геоэкологии, инж. геологии и гидрогеологии (23–24 марта 2009 г.). М.: ГЕОС, 2009. Вып. 11. С. 140–145.
6. Mazaeva O.A., Grobelska H., Hak V.A. Rozwoj dolinek erozyjnych w strefie brzegowej sztucznego zbiornika wodnego (zbiornik Bracki, Rosja) // Dokumentacja geograficzna. 2006. № 32. S. 195–199.
7. Хак В.А. Геоэкологическая оценка воздействия абразионно-аккумулятивных и эоловых процессов на прибрежные территории зон переменного подпора Братского водохранилища (на примере Ангарской акватории): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2006. 18 с.
8. Козырева Е.А., Тржцинский Ю.Б., Мазаева О.А. Карстово-оползневые и карстово-эрозионные процессы в локальных геосистемах береговых зон Братского водохранилища // Геоморфология. 2008. № 1. С. 36–42.

ИЗК СО РАН, Иркутск

Поступила в редакцию
03.02.2012

MONITORING OF LOCAL COASTAL GEOSYSTEMS OF THE BRATSK RESERVOIR

O.A. MAZAEVA, V.A. KHAK, E.A. KOZYREVA

Summary

The dynamics of coastal processes was evaluated by the comparison of digital relief models obtained from repeat large-scale topographic survey and the kinematic GPS survey. By monitoring of the reservoir shore zone, the rates of coastal processes were assessed in relation to the level regime and the dynamics of abrasion. In major local geosystems, the process of abrasion is the dominant factor that determines the other process dynamics. It was shown that the landslide activation occurs at high water levels, the erosion and eolian processes occurs at low water levels, and the sharp lowering of water level induces the reactivation of karst. The intensive development of abrasion entails the shore edge retreat, increase of the shore height and steepness, and hanging of most gully mouths. Formation of new longitudinal equilibrium profile of gullies, activation of vertical and regressive erosion followed by the extreme growth of sediment runoff take place.