

УДК 556

О.Е. Хвостова

ОЦЕНКА ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ ГОРЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Государственный университет – Высшая школа экономики (Нижегородский филиал)

Рассмотрены и проанализированы вопросы, связанные с гидрогеологией части бассейна реки Волга от Рыбинского до Чебоксарского водохранилища, проведена общая оценка текущего состояния гидрогеологии водохранилищ по различным параметрам. Выявлено, что эрозионные процессы в бассейне Горьковского водохранилища имеют среднюю интенсивность по сравнению с аналогичными процессами в бассейнах Рыбинского и Чебоксарского водохранилищ, но активность ЭПП присутствует. Особое внимание уделено процессам размыва и эрозии береговой линии Горьковского водохранилища, представлена математическая и численная модель оценки запаса устойчивости склонов.

Ключевые слова: гидрология водохранилищ, моделирование гидрогеологических процессов, оползни, эрозия берега, численное моделирование.

Введение

Исследование динамических процессов береговой зоны Горьковского водохранилища является актуальной темой как при строительстве новых объектов, так и при эксплуатации уже возведенных. Систематическое наблюдение за подмывом берегов, оползнями, изменением уровня воды в реке Волга и другими процессами позволит предотвратить разрушение откосов (как естественных, так и искусственных), склонов, не допустить угрозы аварийных ситуаций, а значит, избежать человеческих жертв и значительных денежных затрат.

Согласно исследованиям Приволжского регионального центра государственного мониторинга состояния недр, выполненных на основе сравнительно-геологического анализа [1], была выявлена оползневая и селевая эрозия почв и размыв грунта вдоль побережья Горьковского водохранилища. Прогноз развития экзогенных геологических процессов, показал, что при сохранении существующего уровня водной поверхности водохранилища и ветрового режима размываемые участки береговой линии сохраняют унаследованный характер и ожидается размыв береговой линии. Подмыв водой склонов, а также переувлажнение подземными водами пород – последствия создания водохранилищ и одновременно причина активизации большинства оползневых процессов.

В настоящей работе рассмотрены и проанализированы вопросы, связанные с гидрогеологией части бассейна реки Волга от Рыбинского до Чебоксарского водохранилища, особое внимание при этом уделено Горьковскому водохранилищу. Также исследованы процессы размыва и эрозии береговой линии Горьковского водохранилища, систематизированы собранные гидрологические данные. Проведена общая оценка текущего состояния гидрогеологии водохранилищ по различным параметрам, относящимся к различным типам факторов: геологическое строение и рельеф (неизменные факторы), климат и почвы (факторы, изменяющиеся в длительной перспективе), метеорологические условия и хозяйственная деятельность (быстроизменяющиеся факторы). Теоретически исследованы процессы размыва и эрозии береговой линии водохранилищ. Выбраны наиболее оптимальные математические модели, пригодные для оценки запаса устойчивости склонов.

Гидрогеологические характеристики Горьковского водохранилища

Горьковское водохранилище находится между Рыбинским и Чебоксарским водохранилищами по течению реки Волга. Все три водохранилища входят в одну систему водохра-

нилищ Волжско-Камского каскада. Рыбинское и Чебоксарское водохранилища являются определенными барьерами для вод, поступающих и вытекающих из Горьковского водохранилища. Поэтому анализ гидрогеологических данных позволит найти адекватную методологию оценки эрозии берегов водохранилища.

Горьковское водохранилище было образовано плотиной Нижегородской ГЭС, заполнено в 1955—1957 гг. Площадь — 1590 км², объём — 8,71 км³, средняя глубина — 3,65 м, максимальная глубина — 22 м, длина — 427 км, ширина — до 16 км, высота над уровнем моря — 84 м [2].

Рельеф прилегающих территорий — это в основном низменные, слегка всхолмленные равнины, приподнятые над уровнем моря, в основном, на 100–150 м. Гидрогеологические условия определяются наличием нескольких этажно-расположенных артезианских водоносных горизонтов и комплексов, разделенных относительно водоупорными толщами. Мощность зоны активного водообмена изменяется от нескольких десятков до 150–200 м [3]. Наиболее активными экзогенными геологическими процессами (ЭГП) являются переработка берегов Горьковского водохранилища и оползнеобразование [4], вследствие чего идет постоянное отчуждение земель уникальной ландшафтной зоны Волжского побережья. Так, волновая переработка берегов, особенно в *озерной* части, достигает с начала заполнения водохранилища на отдельных участках 40–60 м. В настоящее время величина смещения бровки берегового уступа на активных участках переработки не превышает 0,5–0,8 м в год, а объём размытых пород — 5–7 м³/м.

Повышенная активность переработки берегов и оползневого процесса в основном наблюдается при повышенном увлажнении оползневых тел и откосов абразионных уступов за счет большого количества атмосферных осадков, а также при более длительном стоянии воды в водохранилище на отметках выше допустимого уровня. Скорость смещения активных оползней варьируется от 0,1 до 8 м в год, чаще от 0,2 до 2 м. Периодически происходит активизация древних оползней, примером чего является оползень 2005 г. у д. Воробьецово в За-волжском районе Ивановской области протяженностью вдоль берега р. Волги около 0,7 км (рис. 1, слева). Объём активизировавшегося оползня превышает 1 млн м³, при этом создались предпосылки для вовлечения в оползневой процесс жилых строений восточной части д. Воробьецово на протяжении около 250 м (рис. 1, справа).



Рис. 1. Обвальнo-оползневой уступ на участке активизации древнего оползня вдоль южной окраины д. Воробьецово: левый берег р. Волги, ниже впадения в нее р. Меры

Рыбинское водохранилище образовано в 1941 г. водоподпорными сооружениями Рыбинского гидроузла, расположенного в северной части Рыбинска, перекрывающими русла двух рек: Волги и Шексны. Площадь — 4580 км², объём — 25,5 км³, средняя глубина — 5,5 м, максимальная глубина — 30 м.

Рельеф прилегающих территорий Рыбинского водохранилища — это низменные тер-

ритории, по его побережью тянутся сырые луга, леса, болота. Лишь местами по долинам затопленных рек можно встретить обрывы, поросшие соснами. Гидрогеологические условия территории определяются совокупностью климатических, структурных и литолого-фациальных факторов. Положение водохранилища в зоне умеренно влажного климата с преобладанием осадков над испарением благоприятствует атмосферному питанию подземных вод [4].

Так же, как и на Горьковском водохранилище, имеет место переработка берегов. На их формирование оказывают влияние значительные колебания уровня воды Рыбинского водохранилища, периодически высокие течения при сбросе воды, а работы по укреплению берегов ведутся очень медленно.

Чебоксарское водохранилище образовано плотиной Чебоксарской ГЭС, расположенной в г. Новочебоксарске (Чувашская Республика). Заполнено в 1980–1982 гг. Площадь – 2190 км², длина – 341 км, наибольшая ширина – 16 км, глубина – до 35 м [5]. Волга разделяет район Чебоксарского водохранилища на две орографические провинции: возвышенное правобережье, являющееся краевой частью Приволжской возвышенности, и низменное левобережье, представляющее Горьковско-Марийскую низменность. По этой причине склоны долины р. Волги в данном районе имеют резкую асимметрию. Правобережный склон долины высокий и крутой, в то же время местами развиты пойма и низкие надпойменные террасы длиной до 10–15 км [3, 6]. Левый склон долины состоит из поймы и трёх надпойменных террас, сложенных аллювиальными, преимущественно песчаными отложениями.

На правобережных склонах оползневые процессы и процесс переработки береговой линии происходят намного активнее, чем на левобережных. Активизация оползней зачастую связана с климатическими, гидрогеологическими и техногенными факторами. Активность переработки берегов Чебоксарского водохранилища увеличивается с повышением уровня воды в нем. Так, например, в 2004 г. при подъеме уровня на 0,15–0,20 м, среднегодовая величина отступления берега возросла в 1,2 раза по сравнению с 2002–2003 годами. Сейчас скорость переработки берегов в основном не превышает 0,5 м/год по отступанию бровки и 0,5–2 м³/м в год по объему размытых пород [5].

Сравнение гидрогеологических характеристик водохранилищ показывает, что Рыбинское водохранилище является самым большим из рассматриваемых, а его береговая линия наименее всего подвержена влиянию эрозионных процессов. Горьковское водохранилище – самое маленькое, и эрозионные процессы вдоль его береговой линии происходят со средней интенсивностью. Для Чебоксарского водохранилища характерна самая высокая степень интенсивности протекания эрозионных процессов.

Заметим также, что для всех трех водохранилищ характерны разные типы почв и растительности, что является одним из ключевых факторов, влияющих на развитие эрозионных процессов. Так, для Рыбинского водохранилища с заболоченными поймами характерна низкая оползневая и эрозионная активность, для Чебоксарского с преимущественно песчаными почвами и высоким холмистым правобережьем – высокая, для Горьковского водохранилища с дерново-подзолистыми почвами – средняя. При этом активность переработки береговой линии, наиболее интенсивная вдоль Горьковского водохранилища, приводит к тому, что величина смещения бровки берегового уступа на активных участках переработки и объем размытых пород здесь выше, чем в Рыбинском и Чебоксарском.

Экзогенные геологические процессы

Переработка берегов протекает под влиянием волновой энергии воды и оползневых процессов. Опыт эксплуатации построенных крупных водохранилищ (Куйбышевского, Днепровского и др.) показывает, что разрушение берегов в отдельных случаях может продвигаться вглубь суши до 100–200 м. Эти процессы очень опасны для близко расположенных населенных пунктов.

Экзогенные геологические процессы (ЭГП) – это геологические процессы, возникающие в приповерхностной зоне литосферы под воздействием внешних природных и техноген-

ных факторов. К ЭГП относятся оползни и обвалы, карст, суффозия, овражная и речная эрозия, термокарст, наледи, подтопление и др. От активности этих процессов напрямую зависят скорость и масштабы процесса переработки берегов водохранилища.

Существует несколько групп факторов усиления ЭГП. К первой группе относят геологическое строение и рельеф, т.е. те факторы, которые на время прогноза можно считать неизменными. Ко второй группе факторов относят климат, гидрогеологические и геокриологические условия, растительность и почвы. К третьей группе факторов (быстроизменяющихся) относят метеорологические условия (атмосферные осадки, температура, ветер и т.д.), гидрологические (расходы и уровни воды в водоемах), сейсмические (землетрясения) и хозяйственную деятельность (вырубка лесов, подрезка склонов, сооружение насыпей, горные работы и т.д.).

Наиболее вероятное время активизации ЭГП в бассейне водохранилищ – периоды весеннего снеготаяния (апрель-май) и максимума осенних осадков (июль-сентябрь). На эти периоды обычно прогнозируется низкая активность обрушения и отступления береговой линии водохранилищ, волновая и ветровая эрозия в период максимума осадков весеннего снеготаяния (апрель-май) и осенних дождей (сентябрь-октябрь).

Состоянием и мониторингом ЭГП занимаются Федеральное государственное унитарное геологическое предприятие «Гидроспецгеология», Центр мониторинга состояния недр (г. Москва). Ежеквартально выпускаются сводки о проявлениях экзогенных геологических процессов и последствиях их воздействий на населенные пункты и хозяйственные объекты на территории Российской Федерации.

Для анализа данных об ЭГП на участке р. Волга от Рыбинского до Чебоксарского водохранилища были выбраны соответствующие данные из информационных сводок за 2007–2009 гг. [7–9]. Отметим, что до 2007 года мониторинг проявлений ЭГП на территории Центрального, Приволжского и Северо-Западного округов не проводился. Также при анализе данных сводок просматривается, что наблюдение за ЭГП на участке р. Волга от Рыбинского до Чебоксарского водохранилища проводится не самым тщательным образом, основное внимание уделено Южному, Сибирскому и Дальневосточному федеральным округам.

В рассмотренных сводках отмечаются случаи воздействия ЭГП на населенные пункты, земли и хозяйственные объекты, сопровождавшиеся незначительным ущербом. В основном это процессы активизации оползневых, карстово-суффозионных и эрозионных явлений. Отметим также, что ЭГП наиболее часто проявляют себя в местах, где велика крутизна склонов, эти места во многих случаях соответствуют высоким углам – более 25° от горизонтали.

Необходимо более тщательно исследовать проблему активизации оползневых и эрозионных процессов на участке р. Волга от Рыбинского до Чебоксарского водохранилища, развивать математические модели оценки устойчивости склонов, более тщательно подходить к вопросам мониторинга ЭГП на участках гидротехнических сооружений, таких как водохранилища. Зная законы и закономерности развития оползневых процессов и явлений, можно прогнозировать их образование и тем самым предупредить возможные аварии и катастрофы.

Возникновение и прогнозирование оползневых процессов

Оползни могут быть вызваны действием разных факторов. Земная поверхность состоит главным образом из склонов. Некоторые из них устойчивы, другие в силу различных условий становятся неустойчивыми. Это происходит тогда, когда изменяется угол наклона откоса склона или если склон оказывается отягощён рыхлым материалом. При этом сила тяжести оказывается больше силы связности грунта. Это может быть вызвано:

- увеличением крутизны склона в результате подмыва водой;
- ослаблением прочности пород при выветривании или переувлажнении осадками и подземными водами;
- воздействием сейсмических толчков;
- строительной и хозяйственной деятельностью.

Оползни редко отмечаются на склонах крутизной менее 10–12°. И при уклоне 15° оползни возникают только при благоприятных геологических и гидрогеологических условиях. Но достаточная влажность пород, обеспечивающая их пластичность, всегда необходима. Можно отметить, что при соблюдении ряда необходимых условий оползни есть функция крутизны и высоты склона. Для возникновения оползней наиболее благоприятны такие геологические условия, когда в основании оползневого склона залегают водоупорные пласты, а выше лежат водоносные породы.

Оползни, вызванные изменением природных условий, как правило, не начинаются внезапно. Первоначальным признаком начавшихся оползневых подвижек служит появление трещин на поверхности земли, разрывов дорог и береговых укреплений, смещение деревьев и т.п. С максимальной скоростью (десятки км/час) оползни движутся в начальный период, с течением времени скорость постепенно замедляется. Именно благодаря постепенному возникновению, оползневые процессы можно прогнозировать.

В настоящее время в зависимости от конкретных условий оползневого склона разработано и применяется на практике достаточно много методов определения оползневых смещений, большинство из которых основано на применении геодезических методов.

Самый распространенный и простой метод оценки устойчивости склонов и откосов - метод аналогий, при этом по необходимости выполняются соответствующие расчеты и моделирование [10]. Метод основан на использовании данных наблюдений за устойчивостью откосов и склонов такой же крутизны, сложенных сходными породами. По данным этих наблюдений подбираются аналоги изучаемого участка. Применять этот метод можно только при уверенности, что сравниваемые инженерно-геологические условия эталонного и изучаемого участков аналогичны.

Учитывая, что в каждом регионе грунты имеют свои генетические особенности, предпочтительнее при прогнозировании применять механико-математические расчеты устойчивости склонов и искусственных откосов.

Существует группа методов, которые базируются на подборе наиболее опасной поверхности скольжения. Для этого заранее задаются углы откоса (по аналогии с другими естественными или искусственными откосами или по нормативным данным), а об устойчивости оцениваемого откоса судят по значению коэффициента безопасности.

В работе [11] описан метод расчета устойчивости для оползней консеквентной структуры. Условия равновесия оползня по плоскости скольжения здесь определяются следующим уравнением:

$$T = N \operatorname{tg} \varphi + CL, \quad (1)$$

где T - составляющая силы тяжести, стремящаяся сместить массы горных пород вниз по склону или откосу; N - составляющая силы тяжести, ориентированная перпендикулярно к поверхности скольжения, стремящаяся удержать массы горных пород в равновесии; $f = \operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент внутреннего трения пород; C - расчетное сцепление пород по поверхности или в зоне ослабления; L - длина поверхности скольжения. Здесь подразумевается, что поверхность скольжения – плоскость, имеющая однородный наклон.

Тогда коэффициент устойчивости оползня определяется из соотношения

$$\eta = \frac{(N \operatorname{tg} \varphi + CL)}{T}. \quad (2)$$

Обычно расчет устойчивости оползня усложняется тем, что поверхность скольжения может иметь неоднородный наклон, т.е. плоскоступенчатую форму, или нижняя часть оползня может быть затоплена, например водами реки, водохранилища и т.д.

Данная методика позволяет найти наиболее опасную поверхность скольжения, оценить устойчивость грунтовых откосов, в том числе при развитии контактных оползней и оползней с выдавливанием пород основания.

В работе [12] описана методика расчета точности и периодичности геодезических измерений при наблюдениях за смещениями на оползневых склонах, основанная на расчете среднеквадратических эллипсов смещений оползней с учетом их пространственно-временных характеристик. Однако данный метод трудно применить в рамках обобщенного исследования, так как для получения начального векторного поля для последующего построения среднеквадратических эллипсов требуется точное и систематическое наблюдение за определенным оползневым участком.

В работе [13] описан метод геодинамического потенциала, предусматривающий оценку вероятностного показателя опасности возникновения оползней или возможности их активизации. Геодинамический потенциал вычисляется по формуле

$$W_{\text{landside}} = 1 - \prod_{k=1}^m (1 - p_k), \quad (3)$$

где p_k - вероятность возникновения или активизации оползней в пределах площади с проявлением признаков k , относящихся к учитываемым при прогнозировании факторам. Для оценки риска активизации оползня привлекается информация по разнообразным факторам формирования и развития оползневых процессов.

Так как строение оползней, причины их возникновения и условия, способствующие их развитию, достаточно разнообразны, то и методы расчета их устойчивости применяются разные. Выбор метода расчета устойчивости должен определяться структурой оползня, формой выявленной или намечаемой поверхности скольжения, возможностью учета всех силовых воздействий на оползень, определяющих степень его устойчивости: состояние равновесия масс горных пород, слагающих оползень, постоянные или временные нагрузки, гидродинамическое давление, гидростатическое взвешивание, ускорение свободного падения при сейсмических колебаниях и др.

Оценка запаса устойчивости склонов

Рассмотрев методы моделирования оползневых процессов, был выбран следующий метод оценки устойчивости склонов. Кроме средней крутизны, условия равновесия склона зависят и от его формы в вертикальном разрезе, т.е. его профиля [10]. В механике грунтов для случая общего предельного равновесия склонов в однородной среде выявлены зависимости между их основными характеристиками для следующих трех типов профилей:

1) для прямолинейного склона или откоса, ограниченного сверху и внизу горизонтальными плоскостями, определяемые путем подбора наиболее опасных круглоцилиндрических поверхностей скольжения;

2) вогнутого склона предельного очертания с вертикальной верхней частью максимальной возможной высоты H_0 , ограниченного сверху горизонтальной плоскостью и неограниченно продолжающегося вниз, рассчитанные на основе предположения, что горизонтальный слой мощностью H_0 сверху находится в упругом состоянии, а ниже весь грунт – в предельном;

3) выпуклого склона предельного очертания с вертикальной частью максимальной высоты H_0 внизу и неограниченно продолжающегося вверх, установленные на основе предположения, что на всем склоне до глубины H_0 грунт находится в упругом состоянии, глубже – в предельном.

Несмотря на различное очертание этих склонов и различие примененных методов расчета и гипотез, средняя крутизна склонов, находящихся в состоянии предельного равновесия или имеющих одинаковый коэффициент запаса устойчивости, во всех трех случаях оказывается почти одинаковой. Довольно обычный при глубоких смещениях естественный оползневый склон с одной оползневой ступенью представляет собой комбинацию этих двух

типов. На более высоких оползневых склонах обычно наблюдается и большее число (четыре-пять) оползневых ступеней.

Во всех случаях общее равновесие склона определяется соотношением пяти величин:

- крутизны склона;
- общей высоты склона H ;
- угла внутреннего трения грунта φ ;
- его сцепления c ;
- объемного веса γ .

При одинаковых геологических условиях, т. е. при постоянном значении величин φ , c и γ , критическая крутизна склонов оказывается функцией только одной величины H , т. е. высоты склона.

Основываясь на изложенном для оценки устойчивости откосов, предполагая, что нарушение устойчивости откоса может произойти в форме обрушения со срезом и вращением, будем основываться на методе круглоцилиндрических поверхностей скольжения. На рис. 2 схематически представлена модель расчета устойчивости склона с помощью этого метода, где φ - угол внутреннего трения грунта, град; c - удельное сцепление грунта, т/м²; l - длина отрезка дуги скольжения в пределах данного блока, м; α - угол наклона поверхности скольжения блока к горизонту; $T = P \sin \alpha$ - сдвигающая сила, действующая на блок; $N = P \cos \alpha$ - нормальная составляющая веса блока P .

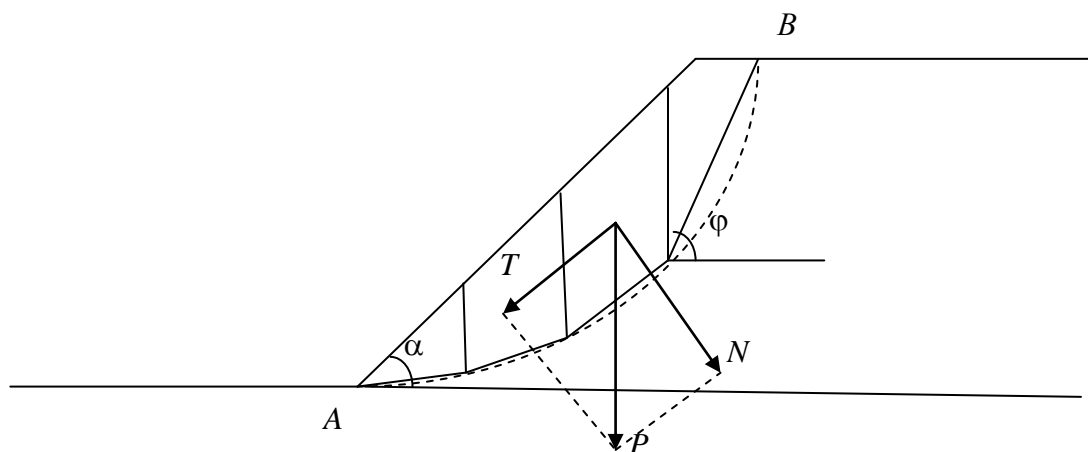


Рис. 2. Схема расчета устойчивости по схеме обрушения со срезом и вращением

Степень устойчивости откоса оценивается по величине коэффициента запаса устойчивости, определяемого по отношению момента удерживающих сил к моменту сдвигающих сил относительно центра наиболее опасной дуги скольжения:

$$n = \frac{M_{уд.}}{M_{сд.}} \quad (4)$$

Коэффициент запаса устойчивости - эта общепринятая характеристика склона или откоса. В момент начала оползания он равен единице, а если склон неподвижен, то коэффициент всегда больше единицы. Существуют нормативные значения для этого коэффициента, которые предусматривают запас устойчивости склона.

Для определения коэффициента устойчивости выделенный при расчете отсек, ограниченный кривой скольжения AB , разделяют вертикальными сечениями на ряд блоков, примерно одинаковых по ширине. Границы блоков назначают в местах перелома линии откоса, в местах пересечения границ различных слоев откоса с поверхностью скольжения и т.п. Далее определяют силы, действующие на каждый блок:

- сила P , приложенная в центре тяжести блока, равная собственному весу блока;
- реакция грунта на поверхности скольжения, которая состоит из силы трения, равной $N \operatorname{tg} \varphi$, прямо пропорциональной нормальному давлению;
- силы сцепления, равные CL для каждого участка;
- сдвигающая сила $T = P \sin \alpha$.

После этого определяют коэффициент устойчивости откоса для принятой поверхности скольжения. При этом выражение (1) можно записать в виде

$$n = \frac{\sum N_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum C_i L_i}{\sum T_i} = \frac{\sum P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi_i + \sum C_i L_i}{\sum P_i \sin \alpha_i}. \quad (5)$$

Рассмотрим всю береговую линию водохранилища, где имеются различные значения этих параметров, зависящие от многих условий. Ограничимся средними значениями, характерными для данного региона, а если быть точнее, то значениями, свойственными среднезернистому песку с тонкими прослойками глины и суглинка. Это наиболее характерный тип грунта для рассматриваемой области. Для него $\varphi = 0,334 \text{ рад} \approx 19^\circ$, $c = 5,2 \text{ т/м}^2$, $\gamma = 1,97 \text{ т/м}^3$.

По описанной модели поведен расчет коэффициента запаса устойчивости склонов для береговой линии Горьковского водохранилища. Расчет коэффициента производился по следующему шаблону. Для каждой точки карты, вычислялись коэффициенты запаса устойчивости по 8 ближайшим точкам (рис. 3).

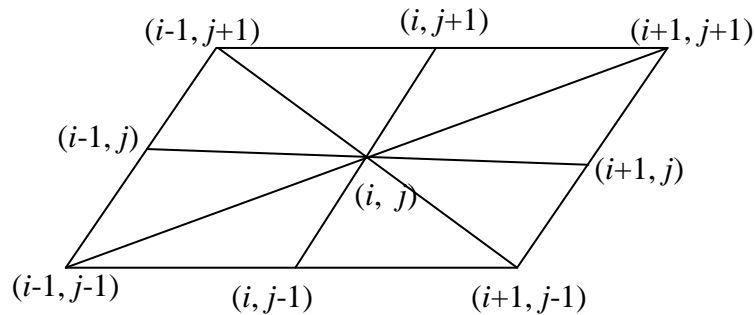


Рис. 3. Шаблон для вычисления коэффициента запаса устойчивости

Батиметрия региона Горьковского моря была получена с помощью программы Google Earth, а также с использованием топографических карт Горьковского водохранилища (рис. 4). Расчетная область представляет собой равномерную сетку, 1651*4501 точек, с расстоянием между узлами 20 метров по вертикали и горизонтали. Так как средний уровень высоты Горьковского водохранилища над уровнем моря составляет 80 метров, а значения глубин мы не учитывали, то с целью упрощения расчетов все значения высот были понижены на 80 метров, получив нулевой уровень на поверхности водохранилища.

Полученная карта коэффициентов запаса устойчивости береговой линии Горьковского водохранилища представлена на рис. 5.

Проведем анализ полученных результатов. В основном наименее устойчивые склоны выделяются на правом побережье р. Волги. Так, в северной части водохранилища вблизи деревень Спириха, Мальгино, Скуратиха, севернее г. Юрьевца в Ивановской области наблюдаются склоны с коэффициентом запаса устойчивости менее 1,4 (рис. 6, слева). Если посмотреть на физическую карту того же региона (рис. 6, справа), то можно заметить, что в этом же месте обозначены обрывы. Это дает основание полагать, что полученный нами результат совпадает с реальной ситуацией на побережье. Действительно, в этом регионе склоны неустойчивые, и там идет процесс активного оползания.

Примерно также ситуация обстоит и южнее г. Юрьевца (рис. 7). Здесь коэффициент запаса устойчивости получился несколько больше, но есть небольшие участки, где присутствует оползневая опасность. Полученные результаты согласуются с данными из физической карты водохранилища, где также отмечены обрывы и овраги.

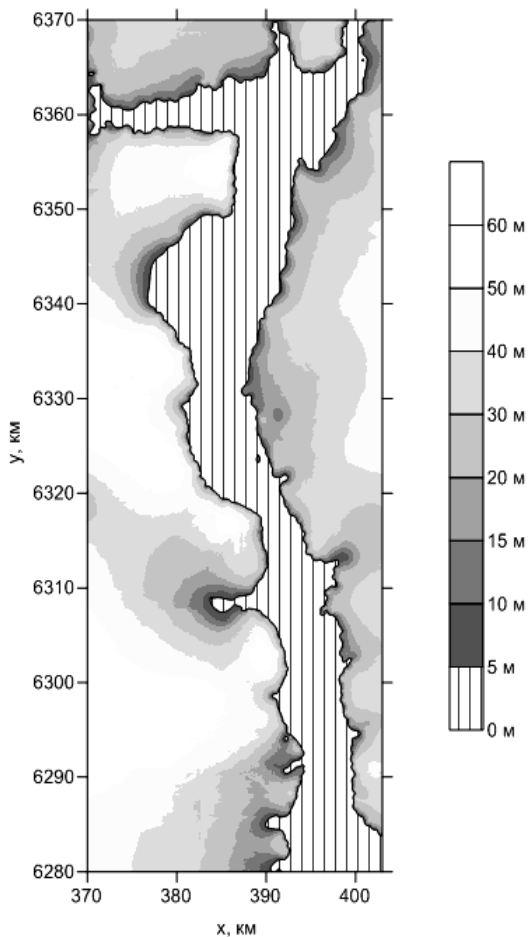


Рис. 4. Батиметрия Горьковского водохранилища

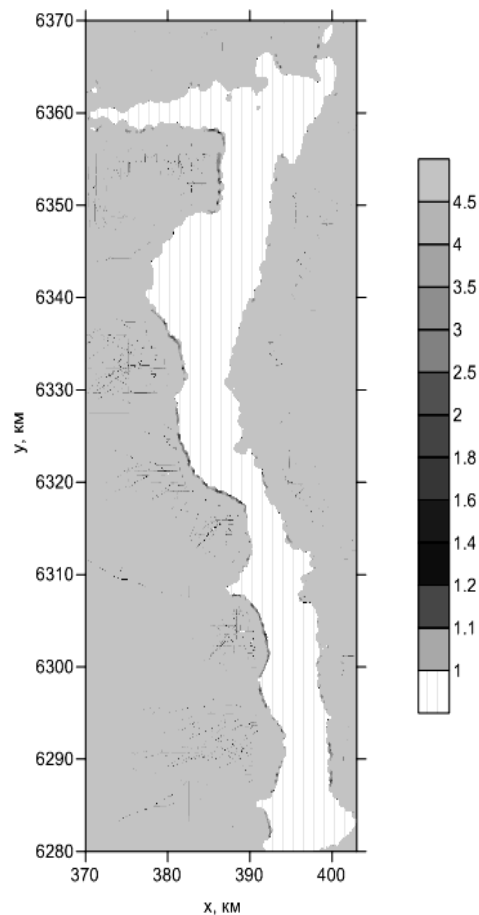


Рис. 5. Рассчитанные коэффициенты запаса устойчивости склонов для Горьковского водохранилища

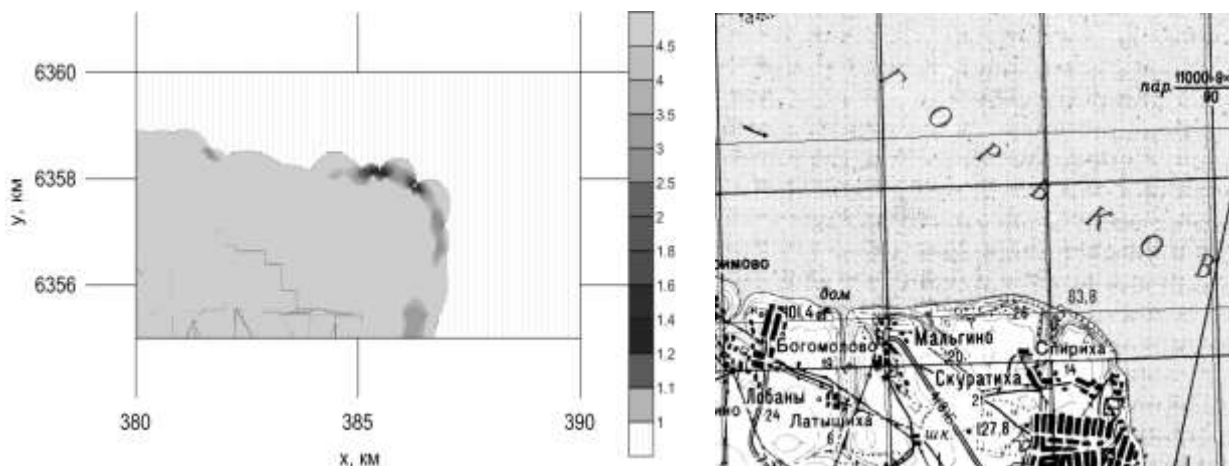


Рис. 6. Участок Горьковского водохранилища севернее Юрьевца: рассчитанные значения коэффициента запаса устойчивости (слева) и часть топографической карты (справа)

Также можно выделить склоны с наименьшим коэффициентом запаса устойчивости севернее г. Пучежа Ивановской области в районе деревень Яблоново, Бол. Луговое, Кудрумово, Бол. Васильковое, Бакланиха, Девкина Гора. По высоте здесь склоны не превышают 20 метров, но, как можно видеть по физической карте, берег в некоторых местах имеет обрывы, отсюда и значения коэффициента запаса устойчивости ниже 1,4. Наличие здесь большого количества населенных пунктов увеличивает возможность ущерба хозяйству и населению от размывания и оползания берегов.

Еще одним из наиболее опасных участков на побережье является участок севернее поселка Катунки в Чкаловском районе Нижегородской области, вблизи деревень Лукинское, Дмитриево, Галашино. Здесь также имеют место обрывы в прибрежной зоне, что понижает значения коэффициента устойчивости склонов.

На левом побережье склоны более пологие, и если на физической карте и можно увидеть обозначение обрыва, то на нашей карте эти склоны обладают достаточно высоким коэффициентом запаса устойчивости. Это объясняется тем, что математическая модель не учитывает возможность подрезания водой склона, а также достаточно крупным разрешением батиметрической карты.

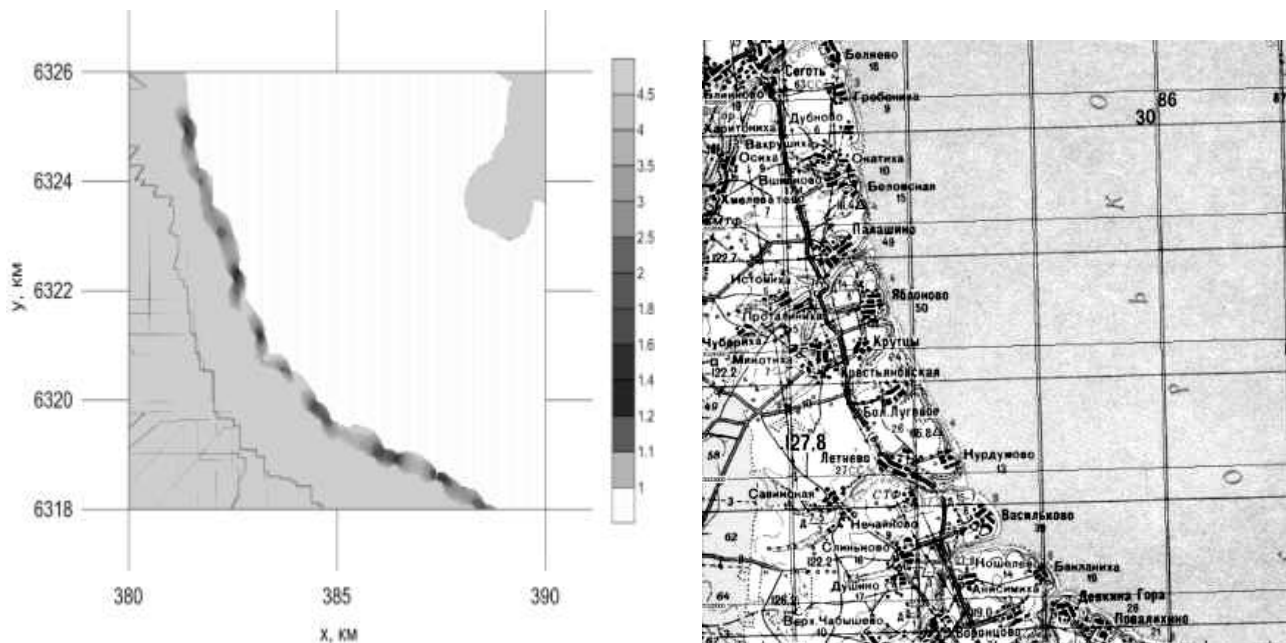


Рис. 7. Участок Горьковского водохранилища южнее Юрьевца:
 рассчитанные значения коэффициента запаса устойчивости (слева)
 и часть топографической карты (справа)

Выводы

В настоящей работе представлены и систематизированы собранные гидрологические данные применительно к процессам, происходящим в бассейне Горьковского водохранилища, на участке реки Волга от Рыбинского до Чебоксарского водохранилища. Проведена общая оценка текущего состояния гидрогеологии водохранилищ по различным параметрам, относящимся к различным типам факторов: геологическое строение и рельеф (неизменные факторы), климат, и почвы (факторы, изменяющиеся в длительной перспективе), метеорологические условия и хозяйственная деятельность (быстроизменяющиеся факторы).

Собранные данные рассмотрены и проанализированы с точки зрения изменений гид-

режима водоемов. Выявлено, что эрозионные процессы в бассейне Горьковского водохранилища имеют среднюю интенсивность по сравнению с аналогичными процессами в бассейнах Рыбинского и Чебоксарского водохранилищ, но активность ЭГП присутствует. Показано, что экзогенные геологические процессы вдоль береговой линии Горьковского водохранилища происходят вследствие следующих факторов: геологического строения и рельефа местности (крутизна склонов, типы почв); гидрогеологических условий (уровень и глубина залегания подземных вод); метеорологических условий, а также хозяйственной деятельности (вырубка лесов, подрезка склонов, сооружение насыпей, горные работы и т.д.).

Исследованы процессы размыва и эрозии береговой линии с точки зрения оценки береговой устойчивости. Проведена оценка запаса устойчивости склонов берегов водохранилища, выявлены участки с наименьшим запасом устойчивости. Это участки побережья вблизи городов Юрьевец, Пучеж и пос. Катунки. Здесь имеют место крутые склоны и обрывы, коэффициент запаса устойчивости которых ниже 1,4, что позволяет говорить об оползневой опасности в этих регионах.

Научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (контракт № П205), а также при поддержке грантов Президента РФ для молодых российских ученых – докторов наук (МД-99.2010.5) и РФФИ 10 05 00199а.

Библиографический список

1. Подсистемы Мониторинга. - Приволжский региональный центр государственного мониторинга состояния недр [Электронный ресурс]. <http://www.monitoring.nn.ru>.
2. Горьковское водохранилище // Материал из Википедии – Свободной энциклопедии [Электронный ресурс]. http://ru.wikipedia.org/wiki/Горьковское_водохранилище.
3. Геологическая карта Поволжья и Прикамья [Карты] / под ред. К.Р. Чепикова; - 1:2 500 000, 250 км в 1 см; – 1 к. М.: Геология СССР, 1964.
4. Карта активности овражной эрозии на территории Российской Федерации в 2005 году [Карты] / под ред. В.В.Макарьяна, Н.А. Корнилова; 1:1 000 000, 100 км в 1 см; – 1 к. М.: ФГУГП «Гидро-роспецгеология», 2006.
5. Чебоксарское водохранилище // Википедия [Электронный ресурс]. http://ru.wikipedia.org/wiki/Чебоксарское_водохранилище.
6. Государственная геологическая карта РФ [Карты] / Спб.: ВСЕГЕИ, 2000; 1:1 000 000, 100 км в 1 см; – 1 к.
7. Сводка о проявлениях экзогенных геологических процессов и последствиях их воздействий на населенные пункты и хозяйственные объекты на территории РФ за IV квартал 2007 г. - М.: Центр мониторинга состояния недр, 2008.
8. Сводка о проявлениях экзогенных геологических процессов и последствиях их воздействий на населенные пункты и хозяйственные объекты на территории РФ за IV квартал 2008 г. - М.: Центр мониторинга состояния недр, 2009.
9. Сводка о проявлениях экзогенных геологических процессов и последствиях их воздействий на населенные пункты и хозяйственные объекты на территории РФ за IV квартал 2009 г. - М.: Центр мониторинга состояния недр, 2010.
10. Емельянова, Е.П. Основные закономерности оползневых процессов / Е.П. Емельянова. – М.: Недра, 1972.
11. Анисимова, И.И. Моделирование состояния оползня для оценки опасности // материалы 15-й Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-15, Кемерово-Томск). – Екатеринбург; Кемерово: изд-во АСФ России, 2009. Т. 1. С. 528–529.
12. Симонян, В.В. Определение главных осей движения оползня по эллипсу смещений // Актуальные проблемы землепользования, землеустройства и кадастров. – М., 2006.

13. Анисимова, И.И. Определение факторов риска активизации оползней / И.И. Анисимова, К.В. Симонов // материалы 14-й Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых учёных (ВНКФ-14, Уфа). – Екатеринбург; Уфа: изд-во АСФ России, 2008. Т. 1. С. 389–390.

*Дата поступления
в редакцию 15.10.10*

O.E. Khvostova

SLOPE STABILITY ASSESSMENT OF GORKOVSKOE RESERVOIR SHORELINE

In the present study, issues related to the hydrogeology of the basin of the Volga River from Rybinsk to Cheboksary Reservoir are reviewed and analyzed, evaluation of the current state of hydrogeology reservoirs on various parameters is performed. It is revealed that the erosion processes in the basin of the Gorky Reservoir has an average intensity in comparison with similar processes in the basins of the Rybinsk and Cheboksary reservoirs, but the activity is presented. Particular attention to the processes of erosion and shoreline erosion of the Gorky Reservoir is given. The mathematical and numerical model of the slope stability coefficient is presented.

Key words: water reservoirs hydrology, modeling of hydrogeological processes, landslides, coastal erosion, numerical simulation.