ПНИИИС Госстроя СССР

Рекомендации

по инженерным изысканиям для прогноза переработки берегов водохранилищ



Москва 1986

gost.e-ecolog.ru

Производственный
и научно-исследовательский институт
по инженерным изысканиям в строительстве
(ПНИИИС) Госстроя СССР

Рекомендации

по инженерным изысканиям для прогноза переработки берегов водохранилищ

Москва Стройиздат 1986

УДК 624.131.1 + 627

Рекомендованы к изданию секцией Научно-технического совета ПНИИИС Госстроя СССР.

Рекомендации по инженерным изысканиям для прогноза переработки берегов водохранилищ / /ПНИИИС – М.: Стройиздат, 1986. – 56 с.

Определены задачи, состав и очередность инженерно-геологических и инженерно-гидрометеорологических изысканий на проектируемых и эксплуатируемых равнинных водохранилищах для составления прогнозов переработки берегов и последующего обоснования схем и проектов хозяйственного освоения и защиты прибрежных территорий. Характеризуются особенности изучения выветривания, осыпей, обвалов, оползней, карста, суффозии, эрозии, абразии и других геологических процессов.

Для работников изыскательских, проектных и научно-исследовательских организаций.

Ил. 6.

Р $\frac{3202000000 - 490}{047\ (01) - 86}$ Инструкт.-нормат., 1–93–86

©Стройиздат, 1986

ПРЕДИСЛОВИЕ

Создание водохранилищ наряду с решением важнейших энергетических и водохозяйственных проблем приводит к необратимым потерям ценных прибрежных территорий из-за активизации в их пределах абразионных, оползневых, карстово-суффозионных и других опасных геологических процессов. Проблема рационального использования и защиты берегов водохранилищ является актуальной для многих отраслей народного хозяйства, постоянно находится под контролем партийных и советских органов, отражена в решениях последних съездов КПСС и в ряде постановлений Совета Министров СССР. Решение этой проблемы во многом зависит от качества инженерных изысканий на водохранилищах, позволяющих обоснованно подойти к прогнозу переработки берегов, к выбору оптимальных вариантов защиты прибрежных территорий и расположенных на них народнохозяйственных объектов.

В настоящих Рекомендациях отражены особенности проведения инженерно-геологических и инженерно-гидрометеорологических изысканий с учетом специфики условий равнинных водохранилищ и платформенных прибрежных территорий. В Рекомендациях освещены основные виды инженерных изысканий, необходимые для составления прогнозов переработки берегов и обоснования берегозащитных мероприятий. Отмечены особенности проведения инженерных изысканий для разработки схем и проектов защиты прибрежных территорий.

Рекомендации разработаны ПНИИИС Госстроя СССР (канд. географ. наук Л.Б. Иконников – разделы 1–7, 18, 19, 21; канд. геол.-минерал. наук А.А. Рагозин – предисловие, разделы 1, 2, 8–15, 17; канд. географ. наук В.В.Кузнецов – разд. 18; канд. геол.-минерал. наук Г.А.Разумов – разд. 10; канд. геол.-минерал. наук И.О.Тихвинский – разд. 13; инженеры Г.П.Буланова – разд. 17, Л.В.Тюрина – разд. 7) при участии Пермского государственного университета (д-р геол.-минерал. наук И.А.Печеркин – разд. 16; канд. геол.-минерал. наук В.Е.Закоптелов – разд. 14; канд.геол.-минерал. наук А.И.Печеркин – разд. 15) и института "Гидропроект" им. С.Я.Жука – Ленинградское отделение (инж. Е.Н.Белохина – разд. 20).

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации предназначены для использования при проведении специализированных инженерно-геологических и инженерно-гидрометеорологических изысканий на водохранилищах для составления прогнозов переработки берегов и последующего обоснования схем и проектов хозяйственного освоения и защиты прибрежных территорий.

1.2. В Рекомендациях определены задачи, состав и очередность изысканий на проектируемых и эксплуатируемых равнинных водохранилищах. Отдельные разделы Рекомендаций могут использоваться при изысканиях на горных и предгорных водохранилищах, а также на водохранилищах гидроаккумулирующих электростанций.

1.3. Под переработкой берегов понимается совокупность физико-геологических процессов (эрозия, абразия, оползни, карст, суффозия и др.), обусловленных изменившимися в результате создания водохранилища природными условиями и приводящих к деформациям прибрежных территорий.

1.4. Характер и интенсивность переработки берегов водохранилищ определяются взаимодействием геологических, геоморфологических, гидрогеологических, гидрометеорологических и техногенных факторов, из которых основными являются:

породы, условия их залегания, состав, состояние и свойства, включая водопрочность;

форма и размеры береговых склонов и прибрежной части дна водохранилища, их генетические типы, история формирования и современное состояние;

подземные воды, их распространение, условия движения и разгрузки в разные фазы уровенного режима водохранилища;

уровенный режим водохранилища, включая размах колебаний и продолжительность стояния уровня в определенных интервалах, а также скорость его снижения и подъема в разные по водности годы;

ветровое волнение, течения, вдольбереговое перемещение наносов и ледовые явления.

1.5. Равнинные водохранилища отличаются, как правило, большими площадями водной поверхности, мелководностью, малым размахом колебания уровня воды, берегами относительно простого геологического строения, сложенными преимущественно пологозалегающими осадочными породами, и зональностью развития берегоформирующих процессов, обусловленной преобладающим воздействием ветрового волнения на берега в нижних и средних зонах, а стоковых течений – в верхних зонах водохранилищ.

1.6. Инженерные изыскания на водохранилищах в зависимости от сложности природных условий, вида хозяйственного освоения территории и проектируемых защитных мероприятий выполняются в две или в одну стадию: проект и рабочая документация или рабочий проект. При проектировании новых или пересмотре проектов использования действующих водохранилищ дополнительно проводятся изыскания для обоснования специальных и локальных (детальных) схем защиты прибрежных территорий.

1.7. Основными задачами инженерных изысканий на стадии схемы защиты территории являются:

выявление основных регионально-геологических и гидрологических, а также зонально-климатических факторов развития процессов переработки берегов по всему водохранилищу или его части, подлежащей освоению;

приближенное определение ведущих берегоформирующих процессов на ключевых (характерных) участках и составление схематической прогнозной модели их развития;

обоснование методики прогноза переработки берегов, отвечающей принятой модели;

производство ориентировочных локальных и региональных долгосрочных прогнозов переработки берегов.

1.8. Факторы и закономерности развития процессов переработки берегов на стадии схемы определяются с детальностью, требуемой при составлении карт масштаба 1:100 000 – 1:200 000 на водохранилищах, имеющих длину более 100–150 км, и масштаба 1: 25 000 – 1:50 000 на водохранилищах длиной менее 100 км.

1.9. На эксплуатируемых водохранилищах на стадии схемы необходимо выполнять:

сбор и анализ опубликованных и фондовых материалов прежних работ, включая материалы наблюдений за берегоформирующими процессами и гидрометеорологическим режимом;

рекогносцировочные маршруты по периметру водохранилища для детализации имеющихся материалов и выявления новых данных о факторах и современном развитии переработки берегов;

карты инженерно-геологического и гидрологического районирования водохранилища в масштабе, указанном в п. 1.8;

инженерно-геологическое и гидрологическое картирование ключевых участков в схематические карты районирования в масштабе 1:2000–1: :10 000, захватывающие побережье в пределах зоны возможных деформаций;

стационарные наблюдения за переработкой берегов и определяющими ее факторами на ключевых участках в случае, если такие наблюдения не ведутся или проводятся в недостаточном объеме.

1.10. На проектируемых водохранилищах изыскания на стадии схемы включают все виды работ, перечисленные в п. 1.9, и дополняются анализом данных о развитии берегоформирующих процессов на водохранилищах – аналогах, эксплуатируемых более 10 лет и сходных по условиям переработки берегов с исследуемым водохранилищем.

1.11. Основными отчетными материалами изысканий на стадии схемы являются:

карта инженерно-геологического и гидрологического районирования водохранилища (прогноза переработки берегов) мелкого (1:100 000 – 1:200 000) или среднего (1:25 000 – 1:50 000) масштаба в зависимости от сложности природной обстановки и протяженности водоема; схематические крупномасштабные (1:2000 – 1:10 000) карты ключевых участков, содержащие прогнозную оценку переработки берегов;

инженерно-геологические разрезы ключевых участков основного масштаба 1:500 – 1:2000 с результатами прогноза переработки берегов;

пояснительная записка к картам и разрезам, в которой приводятся сведения об инженерно-геологических и гидрометеорологических условиях района изысканий, развития берегоформирующих процессов, состоянии сооружений на берегах и даются рекомендации по основным направлениям защиты прибрежных территорий.

1.12. После окончания изысканий на стадии схемы необходимо предусматривать продолжение стационарных наблюдений за берегоформирующими процессами и факторами, их определяющими, на ключевых участках силами организации заказчика или организации, проводящей изыскания (по дополнительной программе), а в случае невыполнимости этого условия – включение данных участков в сеть стационарных наблюдений, имеющуюся в Мингео и Минводхозе СССР и союзных республиках.

1.13. По результатам изысканий на стадии схемы, проектных и технико-экономических проработок осуществляется определение принципиальных направлений по борьбе с процессами переработки берегов, выбор основных типов и конструкций сооружений инженерной защиты, оценка их ориентировочной стоимости, экономической целесообразности, технической возможности и очередности их строительства.

1.14. Инженерные изыскания на стадиях проекта и рабочей документации (рабочего проекта) основываются, как правило, на материалах изысканий на стадии схемы, дополняют их и углубляют для решения следующих основных задач:

выявления конкретных факторов и закономерностей развития процессов переработки берегов на участках проектируемой защиты;

количественной характеристики основных берегоформирующих процессов и составления уточненной прогнозной модели их развития;

обоснования методики прогноза, отвечающей принятой модели;

производства уточненных локальных долгосрочных и краткосрочных прогнозов переработки берегов.

1.15. Изыскания на стадиях проекта и рабочей документации проводятся обычно с детальностью, требуемой при составлении карт масштаба 1:1000 – 1:5000. Они должны охватывать участок проектируемой защиты и примыкающие к нему прибрежные пространства в зоне вероятного воздействия водохранилища и защитных сооружений на развитие берегоформирующих процессов.

1.16. На эксплуатируемых водохранилищах при изысканиях на стадиях проекта и рабочей документации осуществляются:

сбор и анализ опубликованных и имеющихся фондовых материалов, характеризующих инженерно-геологические и гидрометеорологические условия, развитие берегоформирующих процессов в пределах района изысканий и на участках, близких к нему по природным условиям исследуемого и других водохранилищ;

детальное инженерно-геологическое картирование района изысканий в масштабе 1:1000 – 1:5000 и, как исключение, в масштабе 1:10 000 в случае однородных условий и несложных защитных мероприятий, а также при необходимости охвата района протяженностью более 10 км;

проведение учащенных стационарных наблюдений за развитием берегоформирующих процессов и определяющими их факторами в районе изысканий.

1.17. Для сложных в инженерно-геологическом и гидрологическом отношении участков при проектировании особо ответственных сооружений после окончания полевых изысканий и обработки полученных материалов производится лабораторное моделирование для уточнения устойчивости береговых склонов и механизма развития отдельных берегоформирующих процессов. По результатам моделирования составляется уточненный прогноз переработки берегов.

1.18. На проектируемых водохранилищах изыскания на стадиях проекта и рабочей документации включают все перечисленные в п. 1.16 виды работ, кроме наблюдений за вдольбереговым потоком наносов, волнением и связанными с ними, деформациями берегов.

1.19. Основными отчетными материалами изысканий на проектируемых и эксплуатируемых водохранилищах на стадиях проекта и рабочей документации являются:

карта инженерно-геологического и гидрологического районирования участка проектируемой защиты с прилегающими территориями масштаба 1:1000 – 1:5000 (реже масштаб 1:10 000), содержащая прогнозную оценку переработки берегов;

детальные инженерно-геологические разрезы участка основного масштаба 1:1000 – 1:2000 в количестве, зависящем от сложности природных условий и проектируемого сооружения, с отдельными врезками масштаба 1:100 – 1:500 для разрушаемого берега, на которых нанесены результаты прогноза переработки берегов;

подробная пояснительная записка к карте и разрезам, в которой приводятся детальные сведения об инженерно-геологических и гидрометеорологических условиях и развитии берегоформирующих процессов в районе изысканий, а также рекомендации по проведению берегозащитных мероприятий.

1.20. На основании результатов изысканий на стадиях проекта и рабочей документации принимаются конкретные проектные решения по типам, конструкциям, параметрам и компоновке сооружений инженерной защиты и очередности их создания непосредственно в пределах защищаемых народнохозяйственных объектов.

1.21. На период выполнения берегоукрепительных мероприятии организация, проводившая изыскания и проектирование, должна создать службу наблюдений, в задачи которой входит:

проверка сходимости прогнозов переработки берегов и их уточнение на основе продолжающихся стационарных наблюдений за берегоформирующими процессами и их факторами, а также на основе дополнительных материалов, полученных в ходе документации строительных выемок;

уточнение рекомендаций по берегозащите, включая временные меры на период строительства основных сооружений.

1.22. После окончания строительства службами, ответственными за эксплуатацию сооружений инженерной защиты, как правило, должны быть продолжены наблюдения за ходом переработки берегов для выявления неучтенных ранее или новых опасных берегоформирующих процессов и выдачи предупредительных прогнозов их развития с целью оперативного ослабления или предотвращения этих процессов, а также определения необходимости и сроков текущего ремонта защитных сооружений.

1.23. Инженерно-геологические и инженерно-гидрометеорологические изыскания на водохранилищах во всех случаях должны выполняться по единой согласованной программе с привлечением, в случае сложных природных условий и проектных решений, компетентных научно-исследовательских организаций и квалифицированных специалистов для постановки и проведения нестандартных видов изысканий, включая инженерно-геологическое картирование прибрежной территории или ее части, стационарные наблюдения за развитием берегоформирующих процессов и факторами, их определяющими, натурное и лабораторное моделирование выветриваемости и размываемости пород, вдольберегового потока наносов, определение напряженно-деформируемого состояния береговых склонов и их устойчивости; выполнение прогнозов развития процессов переработки берегов и другие виды исследований.

1.24. Состав, объемы и методика выполнения работ, содержание отчетных материалов зависят от стадии изысканий и проектирования, решаемых задач, сложности природных условий, степени их изученности и определяются на основании технического задания организации-заказчика и действующих нормативных документов.

1.25. Инженерные изыскания на всех стадиях и под любые объекты после получения технического задания необходимо проводить в следующем порядке:

составление исполнителем работ и утверждение организацией-заказчиком программы и сметы, определяющих содержание, объемы, методику, технику, стоимость и сроки выполнения работ на основе предварительного изучения литературных и фондовых материалов по району (участку) исследований и рекогносцировочному его обследованию;

проведение подготовительных работ, предусматривающих сбор и детальный анализ материалов ранее выполненных работ, включая материалы стационарных наблюдений за развитием процессов переработки берегов, подготовку топографической основы, аэрофото- и фототеодолитных снимков, укомплектование изыскательской экспедиции (партии, отряда) научно-техническим персоналом, необходимой техникой, аппаратурой и снаряжением, заключение договоров с организациями (специалистами) на выполнение специализированных видов исследований;

проведение полевых работ, включающих инженерно-геологическое картирование района (участка) с буроразведочными, геофизическими, опытно-фильтрационными и другими специальными работами, а также стационарные наблюдения за развитием берегоформирующих процессов и факторами, их определяющими;

обработка материалов полевых исследований с обобщением исходных материалов, выполнением прогнозов, картосоставительских работ и оформление отчета по результатам исследований.

2. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ ПРОГНОЗА ПЕРЕРАБОТКИ БЕРЕГОВ

2.1. Под прогнозом переработки берегов понимается предсказание в пространстве и во времени возможных деформаций прибрежных территорий, их типа, объемов, величин линейного отступания и других характеристик.

2.2. Методы прогноза переработки берегов подразделяются по пространственному критерию на: *региональные*, характеризующие переработку берегов по периметру водохранилища или его части преимущественно в масштабах от 1:25 000 до 1: 200 000, и *локальные*, характеризующие переработку берегов по участку побережья (площадной прогноз) и по отдельным его инженерно-геологическим разрезам (профильный прогноз), как правило, в масштабах от 1:1000 до 1:10 000, а по временному критерию на *долгосрочные*, включающие прогнозы на 10–15 и более лет (перспективный прогноз) и прогнозы на "конечную" стадию развития процессов, и *краткосрочные* с периодами прогнозирования от 1 до 10 лет и до 1 года – *предупредительный* прогноз развития опасных берегоформирующих процессов, в отдельных случаях с периодом прогнозирования до месяца и дня (рис. 1).

2.3. Региональный прогноз переработки берегов носит ориентировочный характер и выполняется преимущественно на стадии схемы защиты прибрежных территорий по методу "ключевых участков" на основе специального районирования прибрежной территории и водохранилища.

2.4. На проектируемых водохранилищах региональный прогноз предполагает оценку возможного развития берегоформирующих процессов на 10–15 лет и на "конечную" стадию практической значимости, а на эксплуатируемых водохранилищах – на любой необходимый срок, зависящий от решаемых задач и вида проектируемых сооружений.

2.5. Региональный прогноз выполняется в три основных этапа:

на первом этапе производится районирование водохранилища и обособляются группы участков прибрежной территории, в пределах которых все факторы переработки берегов близки между собой или незначительно изменяются;

на втором этапе составляется вначале локальный профильный, а затем и площадной прогноз для ключевых (наиболее изученных в пределах каждой группы) участков прибрежной территории;

на третьем этапе результаты локального прогнозирования по каждому ключевому участку распространяются на соответствующую группу участков по периметру водохранилища на основе районирования.

2.6. Районирование водохранилища и прибрежных территорий для целей прогноза предполагает последовательный и одновременный учет основных гидрометеорологических и инженерно-геологических факторов переработки берегов[23] с выделением ряда таксонов по следующим признакам:

гидрологические зоны и подзоны обособляются соответственно по особенностям уровенного режима водоема и активности воздействия на берега ветрового волнения и стокового течения;

инженерно-геологические районы и подрайоны разных порядков выделяются соответственно по: стратиграфо-литологическим комплексам пород, характеризующимся различной способностью к размыву и разрушению (районы); типам деформируемых береговых склонов (подрайоны первого порядка); гидрогеологическим условиям (подрайоны второго порядка); современным берегоформирующим процессам (подрайоны третьего порядка).

2.7. Совмещение двух видов районирования для выделения инженерно-геологических участков производится путем экстраполяции границ подзон на прибрежную территорию, где обособлены подрайоны. В пределах таких участков соблюдается достаточная для целей регионального прогноза общность основных условий, определяющих характер и интенсивность процессов переработки берегов.

2.8. Локальный прогноз переработки берегов выполняется на всех стадиях инженерных изысканий, а также строительства и эксплуатации защит-

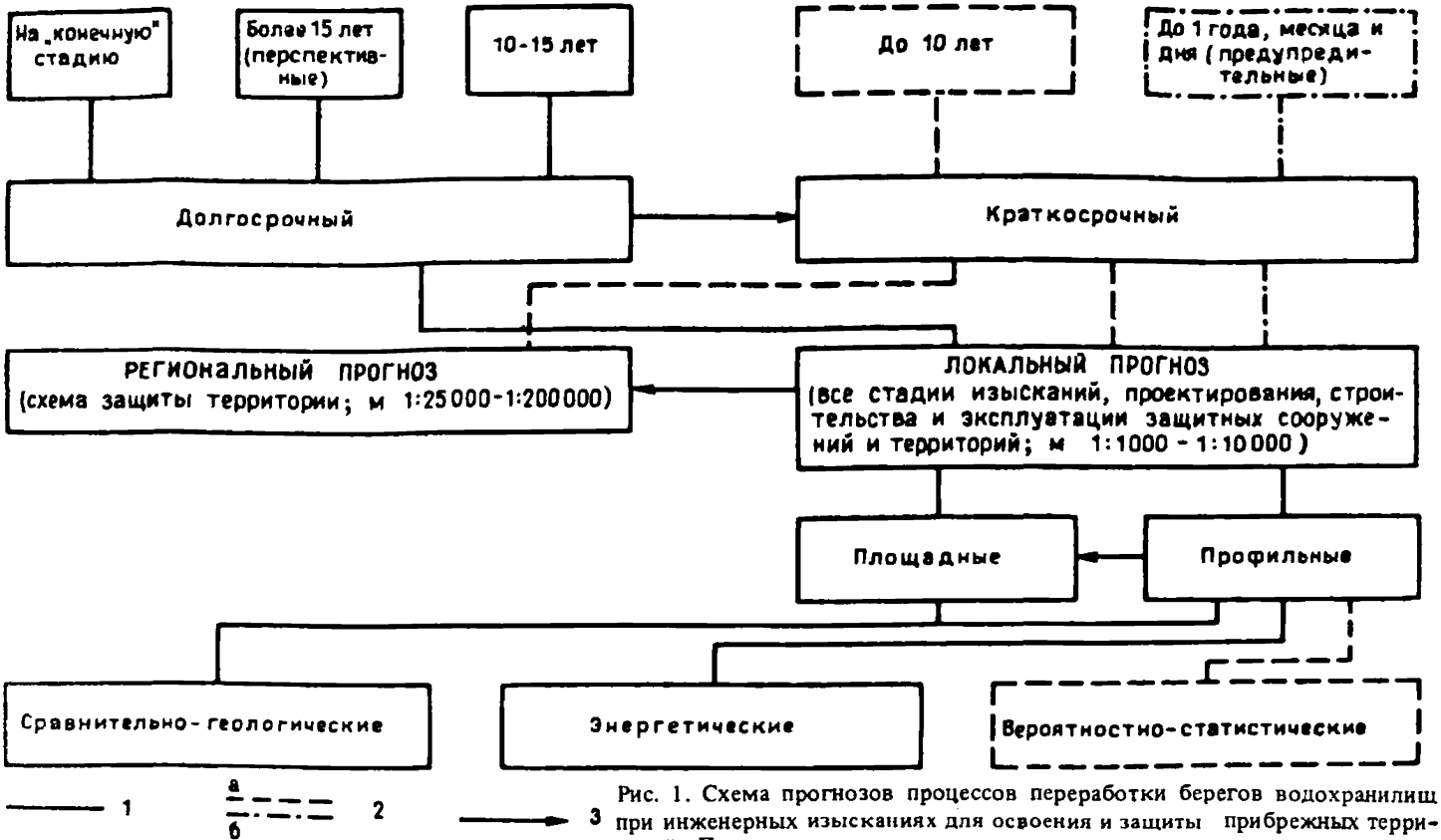

Рис. 1. Схема прогнозов процессов переработки берегов водохранилищ при инженерных изысканиях для освоения и защиты прибрежных территорий. Прогнозы, выполняемые на водохранилищах:

1 – проектируемых и эксплуатируемых; 2 – эксплуатируемых: а – на всех стадиях изысканий и проектирования инженерной защиты; б – в процессе строительства и эксплуатации защитных сооружений; 3 – последовательность выполнения прогнозов

ных сооружений или освоения прибрежных территорий с последовательным уточнением результатов прогноза при переходе от одной стадии к другой.

2.9. На проектируемых водохранилищах локальный прогноз составляется обычно на 10–15 лет и на "конечную" стадию практической значимости развития берегоформирующих процессов, а на эксплуатируемых водохранилищах – предполагает также краткосрочную оценку берегоформирующих процессов вплоть до выдачи предупредительных прогнозов при строительстве и эксплуатации защитных сооружений.

2.10. В соответствии с характером обоснования выделяются следующие основные группы методов локального прогноза:

энергетические, исходящие из пропорциональности суммарной энергии волн и объема размытых пород;

сравнительно-геологические, базирующиеся на подобии основных процессов и характеристик переработки берегов в сходных природных условиях;

вероятностно-статистические, основывающиеся на формальной интерпретации данных фактических характеристик переработки берегов и факторов, ее определяющих, во времени и в пространстве.

2.11. Среди энергетических методов прогноза наиболее разработанными являются методы [7–10, 16].

Энергетические методы целесообразно применять для получения прогнозных величин ветроволновой абразии берегов, сложенных дисперсными породами (кроме лессов), на проектируемых и эксплуатируемых водохранилищах на любой срок. Менее надежно применение их для прогноза абразии берегов, сложенных осадочными сцементированными (скальными) породами, так как здесь важную роль играют процессы разуплотнения и выветривания массивов пород, учитываемые в энергетических методах коэффициентами размываемости пород очень упрощенно.

2.12. Сравнительно-геологические методы прогноза разработаны в нескольких вариантах, из которых наиболее известными являются методы, изложенные в работах [4, 15, 17, 19]. Область применения этих методов не ограничена как по типам береговых склонов и комплексам пород, так и по типам водохранилищ, но для практических нужд инженерных изысканий метод [19] целесообразно использовать на проектируемых и эксплуатируемых водохранилищах сезонного регулирования стока для оценки переработки лессовых берегов на ранних стадиях ее развития, а метод [17] – для водохранилищ указанных выше типов и берегов простого геологического строения, выработанных в дисперсных породах.

2.13. Среди вероятностно-статистических методов прогноза различаются методы, основанные на экстраполяции во времени значений основных, преимущественно кумулятивных, характеристик переработки (объемов размыва и величин линейного отступания берегов, уклонов отмелей и т.д.) путем аппроксимации фактического хода развития берегоформирующих процессов функциями разного вида (гиперболического тангенса экспоненциальной, параболической, логарифмической и др.), а также методы, базирующиеся на различных вероятностно-статистических способах учета факторов переработки берегов с использованием аппарата корреляционного и последовательного регрессионного анализа, из которых наибольшую известность получил метод стохастических моделей [3].

Вероятностно-статистические методы прогноза разработаны для условий эксплуатируемых водохранилищ и их следует использовать для оценки переработки неоползневых берегов, сложенных любыми комплексами пород (кроме быстрорастворимых сульфатных и галоидных). При этом необходимо наличие материалов многолетних натурных наблюдений за предшествующий период в пределах участков изысканий или на участках с близкими геолого-геоморфологическими и гидрологическими условиями на этом же водохранилище. При прогнозе вероятностно-статистическими методами, так же как и энергетическими методами, предполагается, что переработка берегов будет происходить преимущественно под воздействием ветрового волнения.

2.14. Локальные прогнозы переработки берегов целесообразно выполнять с использованием методов прогноза, охарактеризованных в пп. 2.10–2.13, в следующем порядке:

по результатам инженерных изысканий производится инженерно-геологическое и гидрологическое районирование участка возможной или проектируемой защиты в масштабе 1:1000 – 1:10 000, детализирующее основные факторы переработки берегов, использованные в качестве критериев районирования при составлении региональных прогнозов переработки берегов (п. 2.6);

для каждого конечного таксона районирования создается конкретная модель развития процессов переработки берегов, учитывающая стадийность берегоформирующих процессов и возможность качественного изменения их характера;

выбираются методы прогноза, наиболее отвечающие созданной модели развития процессов переработки берегов;

составляются прогнозы переработки берегов по отдельным характерным профилям конечных таксонов районирования;

результаты профильных прогнозов экстраполируются по периметру конечных таксонов районирования, после чего составляется итоговая крупномасштабная карта прогноза переработки берегов для участка изысканий.

ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

3. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

3.1. К основным метеорологическим условиям водохранилищ, влияющим на интенсивность и специфику процессов переработки берегов, относятся: ветровой режим, температурный режим воздуха, воды и пород береговых склонов, атмосферные осадки.

3.2. В методах прогноза переработки берегов учитываются лишь сведения о ветровом режиме, показателями которого служат повторяемость скоростей ветра по интервалам для основных направлений за безледные сезоны и максимальные скорости ветра для различных направлений. Эти показатели используются для расчетов элементов волн различной обеспеченности в системе и в режиме, а также суммарных волно-энергетических характеристик.

3.3. Как на проектируемых, так и на существующих водохранилищах необходимые показатели ветрового режима чаще всего получают в результате обработки материалов многолетних наблюдений на ближайших к району изысканий пунктах Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды (ГКС).

Специальные наблюдения за ветром на береговом пункте организуются на существующих водохранилищах при проектировании особо ответственных сооружений. Они необходимы для выбора наиболее репрезентативного пункта наблюдений ГКС и корректировки материалов наблюдений по этому пункту для условий района изысканий. При отсутствии репрезентативных метеостанций ГКС организуются ветромерные пункты длительного действия. Наблюдения осуществляются ежедневно в стандарные сроки, установленные в системе ГКС. При скорости ветра более 10 м/с проводятся дополнительные измерения через каждые два часа. Иногда наблюдения за ветром входят в состав специальных работ, организуемых для исследования гидро- и литодинамических процессов в прибрежной зоне водоема. В этом случае они производятся через каждый час или непрерывно (с помощью самописцев).

3.4. Сведения о других метеорологических показателях (осадки, температура воздуха и т.д.) следует получать главным образом на основании обработки материалов многолетних наблюдений на метеостанциях ГКС. Для этого бывает достаточно использования материалов по одной-двум ближайшим метеостанциям, выполняющим комплекс наблюдений по стан-

дартной программе. При разработке схемы защиты берегов крупных водохранилищ, пересекающих различные климатические зоны, для оценки климатических условий переработки берегов следует использовать материалы нескольких опорных метеостанций ГКС.

3.5. На проектируемых водохранилищах в большинстве случаев ограничиваются сбором и анализом имеющейся метеорологической информации. Дополнительные метеорологические наблюдения должны проводиться в случае отсутствия репрезентативных для района изысканий наблюдений за ветром.

Ориентировочные показатели метеорологических условий для района проектируемого строительства можно получить с помощью метода районных обобщений. Этот метод заключается в районировании изучаемой территории по расчетным показателям, определяемым на основе стационарных наблюдений ГКС. При ограниченном составе наблюдений для оценки метеорологических условий привлекаются данные по изученному району, находящемуся в сходных природно-климатических условиях.

3.6. При проектировании на существующих водохранилищах ответственных сооружений необходимо комплексное изучение метеорологических условий, особенно при оценке слабоизученных берегоформирующих процессов (выветривание, дефляция, овражная и плоскостная эрозия и др.). В сложных природных условиях метеорологические наблюдения проводятся также для проверки репрезентативности пунктов ГКС, установления корреляционных зависимостей между данными наблюдений на этих пунктах и в районе изысканий. Обязательны они в случае редкой наблюдательной сети ГКС, которая не может надлежащим образом осветить метеорологические условия района изысканий. В состав изысканий в верховьях водохранилищ, находящихся в каскаде, следует включать изучение метеорологических условий ледообразования на водоеме.

3.7. Методика метеорологических наблюдений при инженерных изысканиях в основном должна отвечать требованиям, предъявляемым к наблюдениям на пунктах ГКС и изложенным в соответствующем Наставлении гидрометеорологическим станциям и постам.

В зависимости от поставленных задач могут выполняться как специальные, так и стационарные стандартные наблюдения за основными элементами метеорологического режима на временных пунктах в дополнение к наблюдениям на метеостанциях ГКС.

3.8. Стационарные стандартные наблюдения связаны с проведением годовых или сезонных циклов наблюдений. Эти наблюдения следует проводить непрерывно, независимо от стадийности проектирования, начиная их заблаговременно, так как для разработки проекта бывают необходимы данные за ряд циклов. Непременным условием их производства является синхронность сроков наблюдений со сроками наблюдений на пунктах ГКС, а также применение регламентированных Наставлением однотипных приборов. Это дает возможность оценить сходимость результатов наблюдений в районе изысканий и на пунктах ГКС и в некоторых случаях, проведя наблюдения в районе изысканий при одинаковых синоптических условиях в течение 7–10 дней, сократить или прекратить их вообще.

В состав метеорологических изысканий основного цикла входят наблюдения за атмосферным давлением, температурой и влажностью воздуха, скоростью и направлением ветра, температурой поверхности почвы, видом, количеством, интенсивностью и продолжительностью выпадания атмосферных осадков, толщиной снежного покрова. К дополнительным изысканиям относятся наблюдения за температурой почвы на разных глубинах, глубиной промерзания почвы и др. Особое внимание должно уделяться установлению экстремальных метеорологических показателей – наибольших скоростей ветра, количества ливневых осадков и др.

3.9. Специальные метеорологические наблюдения выполняются по особым программам и направлены на решение следующих задач: выявление особенностей климата в районе изысканий и отдельных его участков, установление их связи с местными факторами (рельефом, экспозицией береговых склонов, растительностью, составом грунтов) и обеспечение оперативными метеорологическими данными инженерно-гидрологических работ.

Такие наблюдения производятся эпизодически, в отдельных случаях их следует приурочивать к наиболее характерным периодам года. Результаты их подлежат сравнению с данными наблюдений на ближайшей опорной метеостанции ГКС.

4. УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ

4.1. Для составления прогнозов переработки берегов на проектируемых водохранилищах специальные работы, направленные на оценку будущего уровенного режима водохранилища, как правило, не проводятся. Для этой цели используются проектные данные: отметки характерных уровней (НПУ и уровня сработки) и кривые подпора при уровнях различной обеспеченности, полученные в результате изысканий для проекта гидроузла.

4.2. В условиях существующих водохранилищ для прогноза переработки берегов обычно бывает достаточно сведений об уровне воды за период эксплуатации гидроузла, взятых по ближайшим водомерным пунктам ГКС. На основании этих сведений строятся графики повторяемости и обеспеченности уровня и определяются характерные уровни или показатели изменчивости уровня в безледное время, учитываемые в методах прогноза переработки берегов.

4.3. При удаленности изучаемого участка от водомерных пунктов ГКС необходимо организовывать временные водомерные пункты для обеспечения промеров глубин и для составления локального прогноза переработки берегов при сложной гидрометеорологической обстановке (обычно в верховьях водохранилища или там, где условия благоприятны для сгонов и нагонов).

Продолжительность и сроки наблюдений на этих пунктах различные. Наиболее коротким является период действия пунктов, обслуживающих промерные работы. Для оценки сгонно-нагонных явлений выполняются учащенные (ежечасные или даже более частые) или непрерывные наблюдения с обязательным охватом периодов действия сильных ветров тех направлений, которые могут вызвать наибольшие сгоны и нагоны. Более продолжительные (до года, иногда и более), как правило, двухсрочные наблюдения организуются для выяснения особенностей сезонных изменений уровня. Они должны проводиться в те же сроки, что и стандартные наблюдения на пунктах ГКС. В этом случае для продления полученного ряда наблюдений и получения многолетних характеристик уровенного режима составляются графики связи с данными наблюдений на ближайших пунктах ГКС.

Чаще всего для производства указанных временных наблюдений за уровнем воды оборудуются реечные, свайные или реечно-свайные водомерные пункты. Установка самописцев целесообразна лишь при необходимости детального изучения распространения волн попусков вышерасположенной ГЭС в верховьях каскадного водохранилища или сгонно-нагонных колебаний. При изучении сгонно-нагонных явлений в озеровидных частях водохранилищ необходима организация двух водомерных пунктов, расположенных на противоположных берегах.

4.4. В дополнение к рассмотренным выше случаям для косвенного расчета течений в прибрежной зоне иногда необходима организация временных водомерных пунктов в пределах изучаемого участка. Эпизодические наблюдения за уровнем должны осуществляться одновременно на всех пунктах, что даст возможность определить мгновенные уклоны водной поверхности и произвести расчет скорости и направления течения.

4.5. Современные требования к размещению и оборудованию водомерных пунктов, производству наблюдений и их обработке изложены в работах [2, 12, 18].

5. ВОЛНЕНИЕ

5.1. Волнение – важнейший гидродинамический фактор переработки берегов. Кроме непосредственного размывающего воздействия на берег и прибрежную зону водохранилища волны способствуют выветриванию, размоканию и растворению пород береговых склонов. Они формируют пляжи, защищающие берег от размыва. Волнение оказывает существенное влияние на всю гидрологическую обстановку в прибрежной акватории, в частности на развитие течений и ледообразование.

5.2. В зависимости от источника возбуждения волны разделяются на ветровые и судовые.

Развитие ветровых волн зависит от направления, продолжительности и скорости ветра, конфигурации и размеров водохранилища в плане, распределения глубин и от состава грунтов, слагающих дно. Значительное влияние на размеры ветровых волн может оказывать затопленный лес и плавающие торфяники.

Подходя к берегу, волны вступают в активное взаимодействие с дном при глубине, примерно равной половине длины волны. Вначале они перестраиваются из трехмерных в двухмерные с общим постепенным уменьшением их высоты. На глубинах, равных примерно высоте волн, происходит их окончательное разрушение. Разрушающиеся волны называются прибойными. В приурезовой зоне эти волны превращаются в накат – непрерывный возвратно-поступательный поток. Интервал воздействия волн на береговой склон зависит в значительной мере от размаха колебания уровня воды в безледное время.

В пребрежной зоне, кроме того, повсеместно отмечается рефракция волн, т.е. стремление фронта волн занять положение, параллельное береговой линии. Она наиболее выражена на пологих и широких отмелях. У приглубых берегов, которые могут существовать в начальный период заполнения водохранилища, возможно отражение волн, что способствует образованию стоячих волн или толчеи.

В развитии ветрового волнения выделяются стадии нарастающего, установившегося и затухающего волнения.

Ветровые волны на водохранилищах в отличие от морских волн больше зависят от конфигурации водоема и его глубин, в особенности при значительных колебаниях уровня воды. По своим размерам они меньше, но обладают большей крутизной. Инерция волнения гораздо слабее, поэтому явлений мертвой зыби (наличие волн при отсутствии ветра) почти нет.

В местах интенсивного судоходства распространены судовые волны. Размеры и количество этих волн зависят от типа судна, размеров, осадки и скорости его движения, курса судна по отношению к направлению стокового течения и распространения ветровых волн. Активность действия судовых волн на берег существенно определяется близостью расположения судового хода.

5.3. Знание режима ветрового волнения позволяет оценить предельные значения интенсивности и суммарные энергетические характеристики волновых процессов, необходимые для оценки размывающего воздействия волн на берега. К основным показателям волнения, которые учитываются при прогнозе берегов, относятся: высота, длина, период и скорость распространения волн различной обеспеченности в системе и в режиме, суммарная средняя многолетняя энергия волн и ее нормальная и продольная составляющие.

Для проведения прогнозных расчетов переработки берегов по некоторым методам необходимо знать максимальные высоты волн в периоды редких и наиболее сильных штормов. Такие штормы и сопровождающие их ветровые условия называются расчетными и оцениваются режимной обеспеченностью, то есть возможностью возникновения один раз в заданное число лет. В других случаях (особенно при использовании энергетических методов прогноза ветроволновой абразии берегов) необходим учет всего разнообразия высот и периодов волн, наблюдаемых при различных скоростях и направлениях ветра за многие годы (не менее 10 лет)

5.4. Для проектируемых водохранилищ все необходимые для прогноза переработки берегов характеристики волнения получают, используя различные приемы расчета.

Для расчета элементов волн следует использовать СНиП 2.06.04-82, где приведены примеры расчета основных элементов ветровых волн в открытом водоеме для установившегося и неустановившегося режимов с учетом влияния сложного поля ветра и сложной конфигурации береговой линии, а также примеры расчета трансформации волн в прибрежной зоне на основе исходных значений элементов волнения в открытом водоеме. Метод основан на использовании современных представлений о спектральной структуре процесса волнения. На водохранилище поле ветра преимущественно бывает однородным, что позволяет проводить расчеты при условии постоянства скорости ветра по длине разгона и учитывать только сложность контура водоема.

Для мелководных водоемов с малой изрезанностью береговой линии высоту ветровых волн можно рассчитывать по методу А.П.Браславского.

Примеры расчета режимно-климатических характеристик волнения основываются на использовании данных о ветре по одной из ближайших метеостанций ГКС. В результате расчетов элементов волн, соответствующих ветровым характеристикам, производится построение для всех волноопасных направлений кривых распределения элементов волн в условиях глубокой воды. В условиях трансформации волн, приходящих в расчетную точку со стороны глубокой воды, такие кривые для высот волн должны пересчитываться с учетом глубин и уклонов дна. Расчет ведется методом последовательных приближений.

На основании режимных кривых распределения элементов волн рассчитываются следующие режимные характеристики волнения: средние элементы волн значения индивидуальных высот волн и их возможные максимумы в любое заданное количество лет; максимальные высоты волн в шторме и доверительные интервалы в зависимости от средней высоты волн в шторме.

Для расчета различных суммарных волноэнергетических характеристик разработан ряд приемов, описание их содержится в работах, посвященных упомянутым выше энергетическим методам прогноза переработки берегов. Эти методы опираются на расчетные значения элементов волн различной обеспеченности в системе для различных по скорости и направлению ветров, а также на данные о повторяемости ветра по градациям скорости для разных волноопасных направлений за безледное время на многолетие.

5.5. На существующих водохранилищах основные показатели ветрового волнения, требуемые для оценки и прогноза переработки берегов, получают главным образом расчетами. Это связано с тем, что волновые условия в отличие от ветровых чрезвычайно изменчивы по площади водоема и во времени и результаты стационарных многолетних наблюдений на пунктах ГКС не могут быть распространены на район изысканий, а организация многолетних наблюдений за волнами в районе изысканий исключается из-за недостатка времени.

Волномерные наблюдения при изысканиях организуются главным образом в связи с проектированием ответственных сооружений (на стадии проекта). Данные наблюдений используют для проверки и уточнения расчетных характеристик волнения применительно к условиям данного водохранилища. На основании полученных данных устанавливаются особенности деформации берегов и прибрежных отмелей, движения и отложения прибрежных наносов в районе изысканий.

5.6. Методика изысканий для оценки волнового режима на водохранилищах должна соответствовать единым требованиям, которые разработаны для наблюдательной сети ГКС и отражены в работах [12, 18].

При изысканиях используются инструментально-визуальные и инструментальные методы изучения волнения. Наиболее широкое распространение имеют инструментально-визуальные методы (с помощью вех, буйков, волномера-перспектомера). С их помощью можно определить высоту волн, близкую к 1% обеспеченности в системе, и периоды волн, близкие к средним. Чаще всего наблюдения проводятся по одиночной вехе или серии вех, уста-

новленных на разном удалении от берега по нормали к нему. Инструментальные методы (с помощью волнографов) позволяют определить элементы волн различной обеспеченности в системе, т.е. в течение небольшого отрезка времени. Они предпочтительны при необходимости наиболее детального изучения волнения.

Систематические наблюдения выполняются в постоянных береговых пунктах в течение всего безледного сезона ежедневно в установленные сроки. Наблюдения по вехам при высоте волн до 0,5 м достаточно осуществлять 2–3 раза в сутки, а в период более сильного волнения необходимо проводить учащенные наблюдения (через 1–3 ч). Наблюдения по максимально-минимальной вехе выполняют 1 раз в сутки или через 2–3 сут сразу после ослабления или прекращения волнения. В периоды длительных штилей каждые 3–5 сут проводится осмотр вехи. При волнении 0,2 м и менее в открытом водоеме волномерные наблюдения не производятся.

Наблюдения при помощи различных волнографов относятся к эпизодическим. Записи волн выполняются в сроки регулярных наблюдений и при определенных гидрометеорологических ситуациях. При этом в каждой серии записывается не менее 100 идущих подряд волн и отмечаются продолжительность серии записи, скорость протяжки между отметками времени, скорость и направление ветра, направление волн в открытом водоеме и у места установки датчика и др.

Стандартная программа инструментально-визуальных наблюдений за волнением включает определение типа волнения, направления распространения волн, среднего периода волн, наибольшей разности волновых горизонтов, выбранных из 100 прошедших подряд волн, скорости и направления ветра, а также уровня воды.

К основным типам волн относятся ветровые и волны зыби. Тип и направление волн устанавливаются по участку, где волнение наиболее характерно для открытого водоема или всей прибрежной акватории в районе изысканий.

Наблюдения за ветром производятся независимо от наличия в данном районе метеостанции ГКС. Наблюдения за уровнем воды выполняются во все сроки наблюдений за волнами сразу после производства последних.

Для изучения судовых волн используются инструментально-визуальные методы. При проведении наблюдений следует отмечать тип судна, осадку и скорость движения, расстояние его от берега, высоту и длину волн, их количество, угол подхода к берегу, время воздействия волн от одного судна, количество судов разного типа, прошедших за тот или иной срок.

6. ТЕЧЕНИЯ

6.1. В условиях водохранилищ, как правило, лишь ветроволновые и стоковые течения имеют берегоформирующее значение. Стоковые течения активно действуют преимущественно в верхней зоне водохранилищ, а ветроволновые – в зонах глубокого подпора.

6.2. К ветроволновым течениям относятся вдольбереговые волноприбойные, вдольбереговые ветровые и компенсационные, обычно образующие поверхностные и глубинные системы. Сочетания различных видов течений и показатели суммарных течений зависят от гидрометеорологических условий. С расширением прибрежных отмелей скорость вдольбереговых течений и неравномерность ее по ширине отмели уменьшается, роль ветра в развитии течений несколько возрастает.

Вдольбереговые волноприбойные течения обладают наибольшей транспортирующей способностью ввиду высокой турбулентности и больших скоростей. Зона их существования ограничивается со стороны берега урезом воды, а со стороны водоема – внешней линией забурунивания волн. Далее в глубь водоема, до линии с глубинами, примерно равными половине длины штормовых волн, действуют вдольбереговые ветровые течения. Компенсационные течения определяют поперечный или вдольбереговой отток вод, поступающих в прибрежную зону.

Влияние течений на берег проявляется преимущественно в перемещении наносов, образовании аккумулятивных форм и в меньшей степени в непосредственном размыве берегов.

6.3. В методах прогноза переработки берегов влияние ветроволновых течений учитывается косвенно при относительной оценке прибрежной аккумуляции твердого материала обычно совместно с волнами. В качестве исходных данных для этой цели как в условиях проектируемых, так и существующих водохранилищ, используются обычно многолетние данные о ветре за безледное время. На основании их определяют различные волновые или волноэнергетические характеристики, позволяющие судить о направлении и потенциальной мощности вдольбереговых потоков наносов и условиях накопления твердого материала в пределах прибрежной отмели.

6.4. Стоковые течения не только влияют на абразию берегов ветровыми волнами, но и выполняют самостоятельную эрозионную роль. Скорость течения служит одним из главных показателей, который необходимо учитывать при оценке участия русловой эрозии в переработке берегов. Она зависит от морфометрических характеристик водохранилища, вида регулирования стока гидроузлами и имеет хорошо выраженный зональный характер. Наибольшие скорости наблюдаются в затопленном основном русле реки на вытянутых в длину водохранилища сезонного и недельного регулирования, пропускающих весенний сток транзитом или частично его регулирующих. Их значение в период поступления во входной створ максимального количества воды может на некоторых водохранилищах достигать 2 м/с в верхних зонах, 1 м/с в средних зонах и 0,4–0,6 м/с в нижних зонах. Над затопленной поймой скорости в несколько раз меньше и стоковые течения практически не оказывают на берег эрозионного влияния.

В водохранилищах, осуществляющих многолетнее регулирование стока, большие скорости наблюдаются только в верхних зонах. В нижних и средних зонах этих водохранилищ скорости даже весной очень малы (0,1–0,2 м/с).

В период межени относительно сильные течения наблюдаются лишь в зоне выклинивания подпора. При расположении водохранилища в каскаде сильные течения наблюдаются при пиковом сбросе воды из вышерасположенного водохранилища, скорость течения в это время составляет 0,8–1 м/с и более.

6.5. Выделение гидрологических зон, различающихся по активности стоковых течений, следует проводить на основе анализа изменений характеристик уровенного режима и уклонов водной поверхности по длине водохранилища; в зависимости от зоны в дальнейшем уточняются коэффициенты аккумуляции пород.

6.6. Из пп. 6.3 и 6.5 следует, что ни в одном из методов прогноза переработки берегов не используются непосредственные характеристики течений. Тем не менее на существующих водохранилищах получение таких характеристик крайне важно для правильной оценки возможной деформации береговых склонов на стадии проекта.

Методика организации и проведения измерений течений, способы обработки и анализа данных освещены в работах [2, 12, 18].

6.7. Измерение стоковых течений должно производиться в периоды экстремальных уровней воды и при различных режимах работы гидроузлов. Для водохранилищ, находящихся в каскаде, особый интерес имеют измерения этих течений зимой, когда интенсивно срабатывается вода из вышенаходящегося водохранилища, а также в период пропуска через гидроузел холостых сбросов, когда скорости течения достигают наибольших значений. При этом рекомендуется осуществлять как эпизодические массовые (по возможности одновременные) измерения по площади прибрежной зоны, так и более длительные (до нескольких суток) ежечасные или непрерывные измерения на единичных вертикалях. Применение съемок течений дает возможность получить общую картину распределения течений при той или иной гидрометеорологической ситуации. В безледное время такого рода работы наиболее удобно проводить с помощью поплавков.

Продолжительные измерения в единичных точках позволяют выяснить закономерности режима течений внутри суток и по сезонам, установить связь изменчивости течений с работой гидроузлов, наибольшие скорости и время их проявления. Для таких измерений удобно использовать самописцы течений и вертушки автономного действия.

Для прогноза максимальных скоростей течений в многоводные годы по измеренным скоростям V строится зависимость $V = f(h)$, где h – уровень воды. Область применения этой зависимости ограничена тем отрезком верхней зоны водохранилища, где с увеличением расхода воды Q увеличивается и ее уровень. На некоторых водохранилищах ниже указанной зоны при увеличении расхода воды уровень снижается. В этом случае следует строить зависимость $V = f(Q)$.

6.8. Изучение ветроволновых течений следует приурочивать к периодам, различным по направлению и интенсивности развития ветровых волн, и к экстремальным уровням воды. Измерения рекомендуется производить поплавком. В большинстве случаев изучение ветроволновых течений входит в состав комплекса инженерно-гидрометеорологических работ. В этом случае может быть целесообразным сооружение тросовых устройств и эстакад, что позволят проводить детальные и более продолжительные наблюдения по всей ширине прибрежной зоны. Наибольший практический интерес представляет установление средних и максимальных скоростей ветроволновых течений по поперечному сечению в пределах прибрежной отмели, а также основных схем прибрежной циркуляции вод.

6.9. Изучение течений сопровождается обязательной регистрацией тех элементов гидрометеорологической обстановки, которые оказывают на них влияние (уровня воды, скорости и направления ветра, показателей ветрового волнения) в момент измерений. Одновременно с наблюдениями за течением должен производиться отбор со дна проб грунта на гранулометрический анализ. Сопоставление скоростей течения с крупностью донных наносов дает возможность оценить устойчивость дна, подвижность слагающих его наносов, определить известными способами интервал размывающих скоростей.

6.10. Приближенная косвенная оценка ветроволновых течений возможна на основании использования таблицы ТГМ-16 [20] или различных расчетных способов [18]. В этом случае, однако, необходимы показатели, характеризующие рельеф прибрежной отмели, состав донных наносов, ветер и ветровое волнение.

7. ЛЕДОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

7.1. Ледовые явления на водохранилищах оказывают существенное влияние на развитие переработки берегов. Подвижки ледяного покрова, ледоходы и дрейф льда при благоприятных условиях способны вызвать деформацию прибрежной отмели (бечевника) и береговых откосов. Наибольшую опасность представляют весенние ледоходы и навалы льда на берег под действием ветра в нижних и средних зонах. Особенно неустойчивый ледовый режим отмечается в верховьях водохранилищ при расположении их в каскаде. Периодические попуски воды из вышележащего водохранилища вызывают заметные колебания уровня и температуры воды и сильные стоковые течения, что обусловливает нарушение ледяного покрова, образование у берегов, в пределах амплитуды колебания уровня воды мощных торосов. На прибрежных мелководных участках водохранилищ зимой во многих местах происходит оседание льда на дно вследствие сработки воды из водоема. Весной на этих участках образуются талые воды, которые размывают временно осушенную поверхность прибрежных отмелей и береговых аккумулятивных форм. Косвенное влияние ледовых явлений на устойчивость береговых склонов заключается в ограничении периода возможного развития волнения и его воздействия на берега.

7.2. В настоящее время отсутствует методика прогноза ледовой абразии берегов. В методах прогноза переработки берегов влияние ледовых явлений

учитывается косвенно, ограничением времени размыва периодами открытой воды и действия ветрового волнения. В качестве основного показателя используется средняя за многолетие продолжительность безледного периода. За безледный период принимается суммарное время за год, в течение которого на водоеме отсутствовал ледостав.

В условиях проектируемых водохранилищ значение этого показателя получают расчетным путем или по аналогии с озерами и водохранилищами, находящимися в сходных условиях. На эксплуатируемых водохранилищах для этой цели чаще всего используют результаты наблюдений на водомерных пунктах ГКС.

7.3. Регулярные стандартные наблюдения за ледовой обстановкой на пунктах ГКС в большинстве случаев позволяют оценить опасность ледовых явлений для рассматриваемого берега. В тех случаях, когда на водоеме нет действующих пунктов ГКС или если проводимые на них наблюдения недостаточно полно характеризуют сложную ледовую обстановку в интересующем районе, в состав изысканий могут быть включены регулярные или кратковременные специальные наблюдения.

7.4. Наблюдения проводят в период замерзания, ледостава и вскрытия водохранилища. Ледовая обстановка оценивается путем визуальных инструментальных наблюдений, маршрутных обследований с картированием, ледомерных съемок (при ледоставе) и авиаразведок. Авиаразведка в необходимых случаях сопровождается аэрофотосъемкой, дающей наиболее точные сведения о границах распространения отдельных видов ледовых явлений.

Все указанные работы выполняют в соответствии с требованиями, предъявляемыми к регулярным стандартным наблюдениям, или только как специальные наблюдения [12, 18].

7.5. При регулярных стандартных наблюдениях выявляют следующее: сроки появления льда, установления ледостава, вскрытия и полного очищения водоема от льда; виды и распространение ледовых образований; дрейф льда (скорость, направление и размеры льдин) в период замерзания и вскрытия; деформации ледяного покрова, торосистость и навалы льда на берег; толщину льда и снежного покрова на нем.

Регулярные наблюдения проводятся в период неустойчивого ледяного покрова ежедневно, а при ледоставе – 1 раз в 5 сут.

7.6. К специальным наблюдениям относятся:

авианаблюдения и маршрутные обследования с картированием ледовой обстановки на участках большой протяженности;

изучение формирования торосов и навалов льда, выяснение характера и интервала (по высоте) их воздействия на береговой склон;

определение толщины ледяного покрова и зоны его оседания на дно в прибрежной части водоема;

изучение физико-механических свойств льда (плотности, структуры, пределов прочности на сжатие, на изгиб, на раздробление и т.д.).

7.7. Кроме данных непосредственных наблюдений для более полной оценки влияния ледовых явлений на берег требуется также учет уровенного и термического режима водоема, режима стоковых течений, некоторых метеорологических характеристик (температуры воздуха, вида и количества атмосферных осадков, атмосферного давления, направления и скорости ветра).

7.8. Для проектируемых водохранилищ оценка возможной опасности ледовых воздействий на берег производится путем расчетов или по аналогии. Аналогом может служить хорошо изученный в отношении ледового режима участок на существующем водохранилище с близкими морфометрическими и гидрометеорологическими признаками.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

8. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, ТЕКТОНИКА И ТРЕЩИНОВАТОСТЬ ПОРОД

8.1. Равнинные водохранилища создаются или эксплуатируются в платформенных областях, для которых характерны спокойный тектонический режим в течение длительного геологического времени, отсутствие складчатости или развитие складчатости глыбового типа и нагнетания, малые скорости и амплитуды новейших и современных тектонических движений, небольшая сейсмичность, преобладание в зоне воздействия водохранилищ пологозалегающих осадочных сцементированных и несцементированных пород, осложненных на локальных участках флексурообразными изгибами слоев, малой складчатостью, разрывными нарушениями разных порядков и трещинами.

В зоне воздействия равнинных водохранилищ, расположенных в Европейской части СССР, в редких случаях могут находиться (в пределах щитов) магматические и метаморфические породы кристаллического фундамента, а в Азиатской части также магматические породы, прорывающие осадочный чехол. Береговые склоны в указанных породах перерабатываются с малой скоростью, редко защищаются и поэтому специально в Рекомендациях не рассматриваются.

8.2. Осадочные сцементированные (скальные) породы имеют обычно донеогеновый возраст и различаются по условиям образования, составу, степени литификации, тектонической нарушенности и выветрелости, физико-механическим свойствам и другим характеристикам, определяющим в конечном счете специфический характер и интенсивность процессов переработки береговых склонов, сложенных этими породами.

8.3. Основными задачами инженерных изысканий геологического цикла в районах развития осадочных сцементированных пород являются:

изучение литологического и фациального состава пород (массивов пород), текстурных особенностей и условий образования по площади и в разрезе с выделением основных маркирующих слоев, горизонтов, пачек, ритмов и установлением их стратиграфической принадлежности;

определение условий залегания пород, характера складчатости и тектонической нарушенности с выявлением зон разрывных нарушений и систем трещин.

8.4. Особое внимание следует уделять:

определению закономерностей напластования и выделению в разрезе отдельных ритмов (циклов), необходимых для последующего рационального опробования массива пород и составления его инженерно-геологической модели;

выявлению и прослеживанию в разрезе и по площади ослабленных пачек, прослоев, линз и контактов (например, прослоев глин, имеющих значительно меньшую прочность, чем вмещающие их аргиллито-алевролитовые породы), часто полностью или в значительной степени определяющих развитие оползней, обвалов, просадок и других опасных геологических процессов в пределах прибрежных территорий;

изучению строения зон разрывных нарушений, локальной и региональной пликоскладчатости (включая диапировую) с определением изменений состава, состояния и свойств пород в пределах этих разрывных и складчатых структур, приуроченности к ним определенных геоморфологических элементов, выходов подземных вод, геологических процессов и явлений.

8.5. На всех стадиях изысканий следует детально изучать трещиноватость осадочных пород и определять ее влияние на прочность и деформируемость массивов пород, их гидрогеологические характеристики и устойчивость как на участках проектируемой защиты, так и на ключевых участках детальных исследований берегоформирующих процессов.

8.6. При изучении трещиноватости необходимо учитывать, что для платформенных областей характерно развитие двух взаимно перпендикулярных

систем планетарных трещин, имеющих выдержанную ориентировку на больших площадях, прослеживающихся практически во всех платформенных отложениях и не связанных с определенными тектоническими структурами.

8.7. Помимо планетарной (фоновой) трещиноватости во всех осадочных сцементированных породах прослеживаются системы литогенетических (по напластованию) и тектонических трещин (складчатых и приразрывных – на участках развития складчатых и разрывных структур), по которым обычно развиваются системы экзогенных и техногенных трещин (разгрузки, выветривания и гравитационные).

8.8. Изучение трещиноватости проводится в естественных обнажениях, специальных расчистках, шурфах и по керновому материалу как непосредственно на участке изысканий, так и за его пределами (в случае плохой обнаженности) с использованием методов, охарактеризованных в работе [22], и предполагает определение элементов залегания трещин, их протяженности с указанием поверхности выклинивания (другая трещина, пласт и т.д.), ширины раскрытия у поверхности и в глубине массива, формы и плоскости обнажения (ровная, ступенчатая, волнистая и т.п.), состава продуктов дробления или заполнителя, а также степени заполненности и цементации, формы поверхности (гладкая, шероховатая) и наличия зеркал скольжения, борозд и подобных перемещений, частоты встречаемости и других характеристик, на основании анализа которых совместно с другими структурно-геологическими данными выделяются основные системы трещин, устанавливается их генезис и составляется геологическая модель трещиноватого массива пород.

8.9. Основными задачами геологических исследований в районах развития осадочных несцементированных (дисперсных) пород, имеющих в большинстве случаев неоген-четвертичный возраст и различающихся (подобно сцементированным породам) по возрасту, генезису и другим характеристикам, являются:

изучение литолого-фациального состава пород, условий залегания и распространения с выделением основных генетических типов отложений и обоснованием их возраста;

выявлением приуроченности основных генетических типов отложений к определенным геоморфологическим элементам и новейшим структурам и восстановление на этой базе основных этапов формирования прибрежной территории и конкретных береговых склонов в неоген-четвертичное время.

8.10. Исследование осадочных несцементированных пород необходимо проводить одновременно с изучением элементов и форм рельефа, а также новейшей тектоники прибрежных территорий. При этом большое внимание должно уделяться:

выявлению источников сноса, путей перемещения, последовательности накопления и мощности дисперсного материала в разрезе и площади, а также выделению литологически однородных фракций и ритмов;

выяснению характера соотношения (перекрывание, срезание, замещение и т.п.) различных генетических типов отложений;

установлению локальных и региональных переуглублений древней, погребенной более молодыми осадками гидросети.

8.11. При возрастном расчленении аллювиальных отложений следует использовать схемы террас, составленные практически для всех крупных рек Советского Союза, на которых проектируются и эксплуатируются водохранилища. Определение возраста других генетических типов неоген-четвертичных отложений целесообразно проводить по их соотношению с аллювиальными, а в отдельных случаях, при сложном геологическом строении прибрежных территорий и необходимости решения практических задач по оценке переработки и устойчивости береговых склонов на участках ответственных сооружений, необходимо предусматривать определение возраста отложений более точными методами – радиоуглеродным, термолюминесцентным, фаунистическим и др.

8.12. Локальные и региональные переуглубления древней гидросети (речные, овражные и др.) могут быть выявлены непосредственно в процессе геологической съемки прибрежной территории по резким понижениям

кровли скальных пород, выполненным дисперсным материалом, а также путем дешифрирования аэрофотоснимков, топографических карт и по данным геофизических и опытных гидрогеологических работ.

8.13. Особое внимание следует обращать на изучение пород оползневого и обвального генезиса, часто сохраняющих основные черты пород коренного массива и за них принимаемых, особенно на ранних этапах развития гравитационных деформаций. Основные отличия в смещенных и несмещенных породах обычно заключаются в несколько большей раздробленности и трещиноватости, а также в изменении элементов залегания (часто только в изменении на несколько градусов углов падения) первых разностей пород, и в более низком гипсометрическом положении слагаемых ими массивов по сравнению с коренным залеганием.

9. НЕОТЕКТОНИКА, РЕЛЬЕФ И ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БЕРЕГОВЫХ СКЛОНОВ

9.1. Неотектонические и геоморфологические исследования на водохранилищах должны быть направлены прежде всего на:

определение генезиса и возраста элементов и форм рельефа, в том числе новообразований в береговой зоне водохранилища (косы, пересыпи, отмели, уступы, воронки и т.п.), а также их качественную и количественную характеристику;

выяснение характера и интенсивности новейших и современных тектонических движений прибрежных территорий, обособление разноподнятых неотектонических блоков, определение особенностей геологического и геоморфологического строения каждого блока и приуроченности к нему современных и древних геологических процессов и явлений (оползневых, обвальных, карстово-суффозионных и др.);

установление истории формирования прибрежной территории в целом и в пределах конкретных неотектонических блоков и береговых склонов с определением конкретных условий, причин и времени возникновения на них геологических процессов.

9.2. Генетическое и возрастное расчленение региональных форм рельефа (долины реки с характерным спектром террас различного происхождения, водораздельная поверхность и др.) должно проводиться преимущественно при изысканиях на стадии схемы на основе сопоставления этих форм на ключевых участках с различными генетическими типами отложений, их слагающими и имеющими датировку, и последующего распространения полученных результатов на всю исследуемую площадь путем рекогносцировочного обследования прибрежных территорий, анализа аэрофотоснимков, картографических материалов, продольных и поперечных геолого-геоморфологических профилей.

9.3. Расчленение локальных форм рельефа (например, карстово-суффозионных воронок, ложбин и др.) производится на всех стадиях изысканий, как правило, при крупномасштабных исследованиях отдельных площадей и обычно не вызывает затруднений в случае установления их генетической принадлежности, ввиду тесной зависимости этих форм от особенностей геологического строения участков, где они распространены. Определение возраста локальных форм рельефа часто сопряжено со значительными трудностями и требует применения специальных методов, например, радиоуглеродного и термолюминесцентного – для древних образований, дендрохронологического и опросного – для сравнительно молодых (исторических) форм.

9.4. Наиболее тщательный геолого-геоморфологический анализ требуется при определении возраста и первоначального генезиса береговых склонов водохранилищ, которые по основным процессам, сформировавшим их современный облик, целесообразно разделять на оползневые, обвальные, осыпные, делювиальные, эрозионные и террасовые (аллювиальные, пролювиальные и др.) с обязательным выявлением отдельных частей склонов, где преобладают процессы транзита или аккумуляции обломочного мате-

риала. В сложных случаях допускается выделение переходных типов склонов – обвально-оползневых, делювиально-осыпных и т.п.

9.5. На эксплуатируемых водохранилищах береговые склоны следует дополнительно разделять по основному типу переформирования на аккумулятивные и абразионные, а последние – по характеру разрушения берегового уступа на осыпные, оползневые, карстово-обвальные, суффозионно-оползневые и т.п. При этом полная характеристика берегового склона может выглядеть так: верхнеплейстоценовый оползневой склон высотой 67 м и крутизной 28° с обвально-осыпным уступом высотой 3 м, крутизной 75° и абразионной отмелью шириной 20 м и крутизной 6°, развивающийся по абразионному типу, или голоценовый делювиальный склон высотой 30 м, крутизной 3–4° с аккумулятивной отмелью шириной 200 м и крутизной 1–2°, развивающийся по аккумулятивному типу.

9.6. На проектируемых водохранилищах типы и виды переформирования береговых склонов устанавливаются на основе анализа их геолого-геоморфологического строения, истории формирования, обводненности, свойств пород совместно с фактическими данными о переработке подобных берегов в приблизительно таких же природных условиях эксплуатируемых водоемов.

9.7. *Установление новейшего структурного плана платформенных* прибрежных территорий обычно осложнено из-за малых скоростей и амплитуд неотектонических и современных движений, а также плохой выраженности в рельефе созданных ими структур. Для выявления неоструктур на стадии схемы можно ограничиться морфоструктурными методами анализа рельефа [13], а на стадиях проекта и рабочей документации при изысканиях следует проводить специальное высокоточное нивелирование всех опорных геоморфологических элементов (цоколей и бровок террас, поверхностей выветривания и т.д.), уклонов гидросети, базисов смещения оползней, обвалов, осыпей и других гравитационных масс, а также основных маркирующих горизонтов пород коренных массивов и в первую очередь ослабленных зон, прослоев и контактов с охватом возможно большей территории побережья протяженностью до 5–10 км вверх и вниз по течению реки от участка изысканий.

9.8. Особый упор нужно делать на установление истории формирования береговых склонов, условий и причин возникновения оползней, обвалов и других гравитационных процессов, что необходимо для определения основных тенденций в развитии склонов в настоящее время (до и после создания водохранилища) и составления обоснованных прогнозов их устойчивости и переработки на разные этапы эксплуатации водохранилища. Для решения указанных вопросов следует проводить специальные комплексные исследования, включающие:

массовые определения основных морфометрических параметров характерных типов береговых склонов, находящихся на разных стадиях развития как в районе исследований, так и за его пределами, и последующее установление критических значений высоты и крутизны для каждой выделенной генетической группы склонов, имеющей определенное геологическое и гидрогеологическое строение, при которых возможно нарушение их устойчивости;

выяснение по палеогеографическим данным климатической обстановки во время формирования оползневых, обвальных и других деформаций преимущественно верхнеплейстоценового и голоценового возраста и определение на этой основе с различной точностью обводненности склонов и слагающих их пород, режима подземных вод и энергии водотоков;

определение основных этапов развития береговых склонов в плейстоцене и голоцене на основе геолого-геоморфологического анализа истории формирования долины реки на всем ее протяжении и планово-профильных смещений речного русла на изучаемых участках и установление ведущих тенденций в развитии конкретных склонов в настоящее время и в будущем;

установление (качественное и количественное) граничных условий, при которых возможно нарушение устойчивости береговых склонов, типов и параметров (объем, ширина захвата за бровкой, дальность смещения и др.) возможных деформаций на участках изысканий.

10. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И РЕЖИМЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

10.1. Преобладающее развитие в платформенных областях пологозалегающих тектонически малонарушенных осадочных пород, равнинность и слабая расчлененность рельефа определяют характерные гидрогеологические особенности прибрежных территорий, заключающиеся прежде всего в региональной выдержанности большинства водоносных горизонтов и обычно значительной удаленности областей их питания от мест разгрузки по берегам рек (водохранилищ), а также в небольших градиентах водоносных горизонтов, напорах и амплитудах колебаний уровней подземных вод до установления подпора.

Создание водохранилищ приводит к появлению новых техногенных водоносных горизонтов и к существенным изменениям гидрологических условий естественных водоносных горизонтов.

10.2. Ширина зоны развития подпора подземных вод в берегах колеблется от сотен метров в верховьях водохранилищ до десятков километров в приплотинных частях и постоянно продолжает увеличиваться даже на водохранилищах, эксплуатируемых более 15–20 лет. Скорость распространения подпора достигает 200–400 м в год.

10.3. В зависимости от величины подпора воды в водохранилище и этапа его наполнения возможны три схемы взаимодействия поверхностных и подземных вод;

первая – движение подземных вод направлено в сторону реки, которая служит для них естественной дреной. Такая схема является основной для равнинных рек, на которых созданы водохранилища с небольшим подпором воды;

вторая – движение подземных вод направлено от реки, что характерно для периодов наполнения водохранилища и формирования призмы фильтрационных вод в прибрежной полосе;

третья – движение подземных вод происходит вдоль речной долины, что отмечатся при небольших уклонах грунтового потока, а также при неустановившемся режиме фильтрации из водохранилища в период формирования призмы подтопления.

10.4. Новое фильтрационное течение, образовавшееся после создания водохранилища, отжимает естественный подземный поток в глубь берега. В месте их встречи возникает ложбинообразное понижение, ось которого постоянно мигрирует при сработке воды и наполнении водоема. Расстояние между осью фильтрационной ложбины и урезом воды в водохранилище можно ориентировочно определить по формуле

$$\bar{l} = 2(\alpha + \ln t)^{0,5}, \qquad (1)$$

а время, за которое она проходит двойной путь от уреза воды и обратно, по формуле

$$t^2 = k(d_2^2 - d_1^2)/[(Q + \varepsilon l)(\pi\alpha + \mu)^{0,5}], \qquad (2)$$

где k – коэффициент фильтрации в прибрежной зоне, м/сут, d_1 и d_2 – глубины потока подземных вод, м, соответственно до и после наполнения водохранилища; Q – расход потока подземных вод до создания водохранилища, м^3/сут на м; ε – инфильтрационное питание подземных вод, м^2/сут; α и μ – соответственно коэффициенты уровнепроводимости (пьезопроводимости) и водоотдачи (недостатка насыщения) пород.

Максимальное удаление оси фильтрационной ложбины от водохранилища

$$l_{max} = 0,5p, \qquad (3)$$

где p – расстояние от берега до точки депрессионной кривой, имевшей до подпора отметку, равную отметке наполнения водоема.

10.5. При гидрогеологических исследованиях для целей прогноза переработки берегов в первую очередь должны быть решены следующие основные задачи:

выяснение влияния подземных вод на обводненность прибрежных территорий и на изменение состава, состояния и свойств пород, их слагающих, в результате увлажнения, растворения и суффозии на разных этапах эксплуатации водохранилища;

определение силового (гидростатического и гидродинамического) воздействия подземных вод на породы береговых склонов и развитие в них оползневых, обвальных, карстовых, суффозионных и других геологических процессов, определяющих устойчивость и переработку прибрежных территорий в разные фазы уровенного режима и этапы эксплуатации водохранилища, в том числе при строительстве защитных сооружений и после его окончания.

10.6. В результате гидрогеологических исследований должны быть построены гидродинамические сетки фильтрационного потока, характеризующие градиенты потока подземных вод в плане и разрезе для любой точки грунтового массива.

10.7. На проектируемых и эксплуатируемых водохранилищах в результате изысканий на стадии схемы инженерной защиты составляется, как правило, предварительная характеристика водоносных горизонтов и водовмещающих пород. Она основывается на изучении имеющихся материалов по гидрогеологическим условиям прибрежной территории, а также на дополнительных работах (съемочных, разведочных и опытно-фильтрационных) в небольших объемах на ключевых участках.

10.8. В процессе гидрогеологических исследований на ключевых участках детально картируются (с инструментальной привязкой границ и точек выхода вод и их уровней) все естественные, сезонные и постоянные водопроявления (родники, поверхностные водотоки и водоемы, участки высачивания и повышенной увлажненности и т.п.), а также каптажи подземных вод (колодцы, скважины, шурфы, дренажные галереи и т.п.), для которых определяются приуроченность к определенным геоморфологическим элементам и стратиграфо-литологическим комплексам (пачкам) пород, с подробной характеристикой литологического состава, условий залегания и степени нарушенности водовмещающих, подстилающих и перекрывающих пород; описываются физические свойства воды (температура, вкус, запах, прозрачность, газоносность); отбираются пробы на химический анализ; устанавливается расход воды из этих водопроявлений и каптажей.

10.9. Определение водообильности водоносных горизонтов и фильтрационных свойств пород береговых склонов осуществляется по результатам опытно-фильтрационных работ, основной объем которых выполняется на стадии проекта или при одностадийном проектировании – рабочего проекта. Эти работы предусматривают поинтервальное опробование и получение фильтрационных характеристик всех выделенных водоносных толщ и стратиграфо-литологических разностей пород в разрезе и по площади (k, μ, α и др.) с применением откачек, наливов в шурфы и скважины, нагнетаний в скважины, а также геофизических, лабораторных и других методов.

10.10. Стационарные наблюдения за режимом подземных вод должны начинаться, как правило, при изысканиях на стадии схемы защиты территории и продолжаться на всех последующих стадиях изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации берегозащитных сооружений и охватывать период не менее 1,5–2 лет.

10.11. Наблюдения за режимом подземных вод следует проводить (для целей прогноза переработки берегов) на прибрежных территориях, в пределах которых возможно развитие оползневых, обвальных, карстовых и суффозионных процессов. Они должны быть согласованы со стационарными наблюдениями за развитием переработки берегов, а также уровнем воды в водохранилище (реке), волнением, атмосферными осадками и другими гидрометеорологическими характеристиками.

10.12. Длина ствола от уреза воды в водохранилище до последней наблюдательной скважины, подлежащего гидрологическим исследованиям, может определяться следующим предварительным расчетом:

$$s = [\pi k/3\mu (2h + h_0)t]^{0,5}, \qquad (4)$$

где k – средний по створу коэффициент фильтрации водовмещающих пород, м/сут; μ – коэффициент водоотдачи пород; h – превышение уровня подземных вод, м, над региональным водоупором на таком расстоянии от уреза воды в водохранилище, где этот уровень на 0,5 м выше естественного уровня подземных вод до создания подпора (устанавливается по натурным наблюдениям в колодцах, шахтах и других выработках или ориентировочным расчетом); h_0 – превышение уровня воды в реке, м, до создания водохранилища над региональным водоупором.

10.13. Расстояние между наблюдательными скважинами по створу, конкретные методы, виды и объемы стационарных наблюдений за режимом подземных вод, а также им предшествующих съемочно-разведочных работ определяются, помимо предполагаемых вида освоения и защиты исследуемого участка, степенью сложности геолого-геоморфологического строения и условий обводнения. Например, в случае, если обводнение берегового склона, сложенного целиком водопроницаемыми песчаными породами, происходит, не считая водохранилища, только за счет атмосферных осадков, то изыскания и режимные наблюдения на всех стадиях должны быть направлены прежде всего на определение прочности пород при увлажнении и их суффозионной устойчивости в зависимости от градиентов временного грунтового потока при сработках воды из водохранилища. Если в пределах склона подобного строения имеются прослои слабопроницаемых глинистых пород, между которыми заключены горизонты напорных вод при наполнении водохранилища и безнапорных – при сработке подземных вод, то обводнение склона будет происходить дополнительно за счет подтока воды с прилегающих территорий. Поэтому изыскания и режимные наблюдения в данном случае должны быть направлены также на определение переменного гидростатического давления на кровлю глин и вышележащие породы и его воздействия на устойчивость склона и разные фазы уровенного режима водоема.

10.14. Более детальные сведения о гидрогеологических исследованиях на берегах водохранилищ, методах, видах и объемах изысканий в различных природных условиях и применительно к конкретным видам освоения и защиты прибрежных территорий приведены в работах [1, 10, 14].

11. СВОЙСТВА ПОРОД

11.1. Основными характеристиками физико-механических и физико-химических свойств пород береговых склонов, в значительной степени определяющих развитие процессов переработки берегов водохранилищ, являются показатели размываемости, выветриваемости, прочности, деформируемости, плотности и влажности. Эти показатели следует использовать в качестве ведущих критериев при инженерно-геологическом расчленении массивов пород с учетом их геологической неоднородности, степени разуплотнения и обводнения.

11.2. Стандартные показатели состава и свойств пород береговых склонов (гранулометрический состав, пластичность, плотность, влажность, набухаемость и т.п.) при изысканиях на водохранилищах должны определяться в соответствии с действующими государственными стандартами. При этом обязательным является установление микроагрегатного состава дисперсных пылеватых и глинистых пород, участвующих в формировании вдольбереговых потоков наносов и заиливающих водохранилища.

11.3. Особое внимание следует уделять исследованию закономерностей изменения прочностных и деформационных свойств пород при их периодическом увлажнении и высушивании, а также в результате выноса легкорастворимых солей и мелких частиц в условиях, моделирующих воздействие водохранилища на породы береговых склонов.

11.4. Прямыми показателями размываемости пород, используемыми при составлении прогнозов переработки берегов водохранилищ под воздействием волнения, являются коэффициент размываемости пород k_w (по Е.Г.Качугину), определяемый по формуле

$$k_w = V/E, \tag{5}$$

или противоложный ему по значению коэффициент сопротивляемости пород волновому воздействию (по Н.Е.Кондратьеву)

$$k_r = E/V, \tag{6}$$

где E – суммарная энергия ветрового волнения за тот же период, Дж/м (тм/м); V – объем размытых пород за первый год затопления водохранилища (при отсутствии прибрежной отмели).

11.5. Указанные в п. 11.4. показатели абразионной размываемости определяют способность пород отдавать агрегаты и частицы при механическом воздействии на них волнения и служат классификационными характеристиками пород береговых склонов, расположенных преимущественно в нижних и средних гидрологических зонах водохранилищ. Их следует отличать от показателей эрозионной размываемости, характеризующих реакцию пород на действие водных потоков в реках, каналах, на склонах, а также частично в верхних гидрологических зонах водохранилищ и выражающихся через допустимые (неразмывающие) скорости течений или через различные показатели интенсивности размыва, например, толщину слоя грунта, сносимого в единицу времени при различных скоростях движения воды.

11.6. При изысканиях на стадии схемы на существующих водохранилищах коэффициенты размываемости пород следует определять обратным расчетом по формулам энергетических методов прогноза переработки берегов по данным фактических наблюдений за размывом пород и за ветром. Они также могут быть установлены на основании определения энергии волнения непосредственно у перерабатываемого уступа с одновременной фиксацией деформаций берегов или натурных опытов по размываемости пород береговых склонов в лотках-траншеях, размещенных в прибрежной зоне и оборудованных волнопродукторами. Обратные расчеты и натурные исследования размываемости пород целесообразно проводить при изысканиях на стадиях проекта и рабочей документации на особо ответственных объектах находящихся в сложных инженерно-геологических и гидрологических условиях.

11.7. На проектируемых водохранилищах на всех стадиях изысканий показатели размываемости следует устанавливать по аналогии с показателями, полученными на существующих водоемах для пород, обладающих близкими характеристиками состава и свойств с оцениваемыми породами. При этом в качестве основных критериев подобия, косвенно отражающих размываемость пород, необходимо использовать;

для дисперсных несвязных пород (песчаных, гравийных, дресвяных и т.п.) – показатели гранулометрического состава (процентное содержание песчаных, пылеватых и других частиц, степень неоднородности и т.п.), плотность и угол естественного откоса под водой;

для дисперсных связных глинистых пород (глины, суглинки, супеси) – показатели микроагрегатного состава, плотность, размокаемость и сопротивление сдвигу в водонасыщенном состоянии;

для дисперсных связных пылеватых (лессовых) пород – показатели микроагрегатного состава, плотность, размокаемость, просадочность, содержание карбонатов и воднорастворимых соединений;

для скальных обломочных сцементированных (аргиллиты, алевролиты, песчаники, конгломераты и т.п.), а также карбонатных (известняки, доломиты, мергели, мел) и кремнистых (опоки, трепела и т.п.) пород – литологические особенности, плотность, размягчаемость и выветриваемость (пп. 11.8, 11.9);

для скальных сульфатных (гипс, ангидрит) и галоидных (галит, сильвин и т.п.) пород – показатели вещественного состава, плотность и растворимость (п. 11.11).

11.8. Выветриваемость скальных пород целесообразно оценивать (по Г.С.Золотареву) показателем степени выветрелости (выветриваемости), который определяется по формуле

$$\beta = (f_н - f_о)/(f_н - f_а), \qquad (7)$$

где $f_н$, $f_о$, $f_а$ – конкретные свойства (плотность, пористость, сцепление и т.п.) или содержание частиц определенных размеров, гипса, железа и других образований невыветрелых $(f_н)$, оцениваемых $(f_о)$ и предельно выветрелых $(f_а)$ пород.

11.9. Определение выветриваемости пород проводится в процессе стационарных наблюдений в расчистках и на склонах в естественных природных условиях (разд. 12), а также по результатам лабораторного моделирования процесса, например, по изменениям прочности пород при одноосном сжатии при циклах увлажнения (водой, слабыми кислотами и щелочами) и высушивания, промерзания и оттаивания.

11.10. При изысканиях на стадиях проекта и рабочей документации на сложных и ответственных объектах проектируемых водохранилищ целесообразно предусматривать дополнительное уточнение показателей размываемости пород, полученных по аналогии и обратными расчетами, на основе натурных опытов в лотках-траншеях, подобно описанным в п. 11.6.

11.11. Растворимость скальных пород на всех стадиях изысканий следует определять по данным фактических наблюдений за породами в естественных условиях эксплуатируемых водохранилищ и рек (разд. 16), а также по данным лабораторных опытов на образцах пород нарушенного и ненарушенного строения по потере их веса за определенное время в результате растворения в спокойной и текучей природной, а также в дистиллированной воде.

11.12. Опробование пород береговых склонов водохранилищ при изучении их состава и свойств следует проводить для каждого выделенного по результатам инженерно-геологической съемки и разведки горизонта, слоя, прослоя, зоны и контакта. При этом каждый элемент должен быть охарактеризован пятью–десятью пробами, равномерно распределенными по площади и в разрезе.

11.13. По результатам исследований состава и свойств пород, условий их залегания, дислоцированности, трещиноватости, выветрелости, размываемости, обводненности и других характеристик составляются вначале профильные, а затем и пространственные инженерно-геологические модели береговых склонов и прибрежных территорий в виде разрезов и карт в масштабах, указанных в разд. 1, по которым затем производятся локальные и региональные прогнозы переработки берегов на разных стадиях изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации прибрежных объектов и сооружений инженерной защиты.

ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ БЕРЕГОВ

12. ВЫВЕТРИВАНИЕ, ОСЫПАНИЕ И ОБВАЛООБРАЗОВАНИЕ

12.1. Выветривание – это процесс преобразования состава, свойств и состояния пород при их разуплотнении под воздействием климатических и биологических факторов, включая деятельность человека, приводящий к накоплению элювия на пологих поверхностях и развитию осыпания, обвалообразования, оползания и других гравитационных процессов на склонах, уступах и в бортах различных выемок.

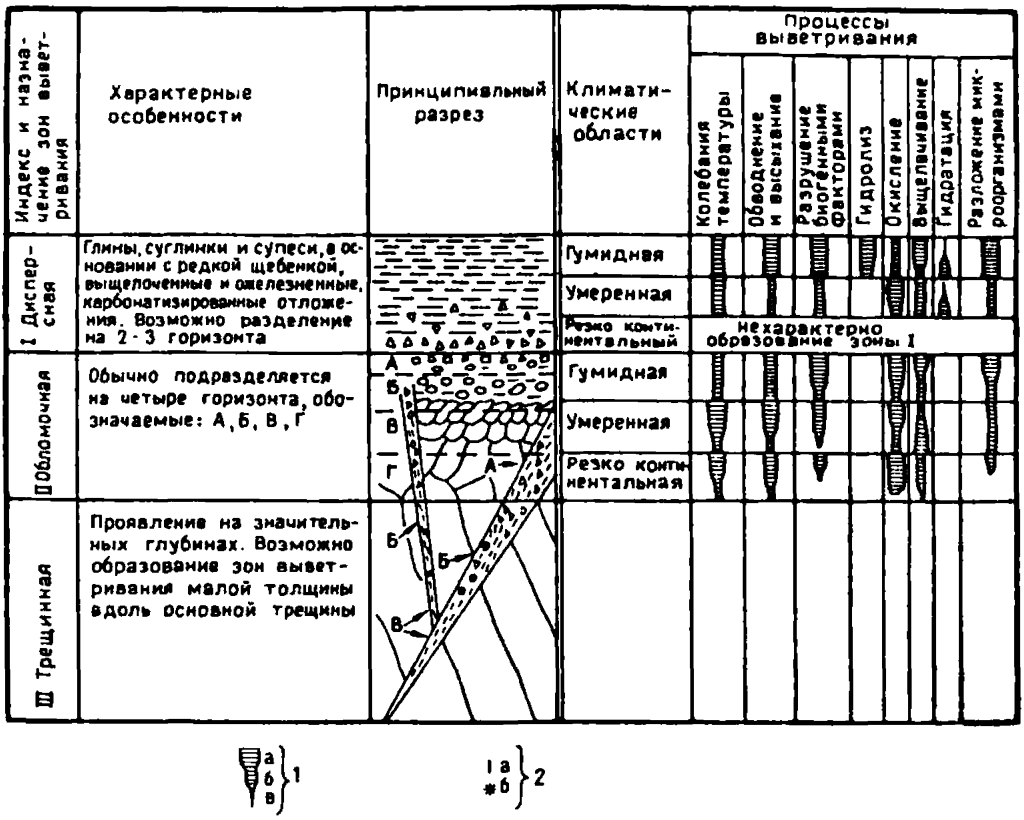

Рис. 2. Принципиальная схема инженерно-геологического расчленения коры выветривания (по Г.С.Золотареву)

1 – интенсивность действия процессов выветривания: а – значительная, б – средняя, в – слабая; 2 – минеральные новообразования: а – гипс, б – гидроокислы железа

12.2. Выветривание является одним из ведущих факторов, определяющих характер и интенсивность переработки береговых склонов, сложенных сцементированными осадочными породами, и в условиях водохранилищ имеет ряд специфических особенностей развития, заключающихся:

в значительном увеличении скорости выветривания пород после создания водохранилища в зоне колебаний уровня воды и заплеска волн по сравнению с естественными условиями;

в отсутствии или в малых объемах аккумуляции осыпающегося материала в основании склонов за счет его размокания и уноса волнами и течениями на ранних стадиях развития переработки берега;

в постепенном расширении площади участков склонов, подверженных активному выветриванию, за счет возрастания высоты берегов в процессе их формирования и обнажения невыветрелых коренных пород.

12.3. Инженерно-геологическое изучение разуплотнения и выветривания пород береговых склонов предполагает определение:

зон и горизонтов выветривания, а также их возраста в пределах разных комплексов пород, геоморфологических элементов и тектонических структур с характеристикой физико-механических и фильтрационных свойств слагающих их пород;

приуроченности осыпей, обвалов, оползней к зонам выветривания различного строения и возраста;

скоростей выветривания пород на склонах при сносе обломочного материала и на горизонтальных площадках – в условиях его накопления;

скоростей размокания и размыва смещенного на отмель выветрелого материала.

12.4. При расчленении коры выветривания пород целесообразно различать [5] три основные зоны (рис. 2):

верхнюю – дисперсную, характеризующуюся практически полным химическим преобразованием состава и свойств исходных пород;

среднюю – обломочную, в пределах которой развиваются преимущественно процессы физической дезинтеграции и обычно выделяются четыре подзоны (горизонта) по степени раздробленности и химического разложения пород;

нижнюю – трещинную, где преобладает физическое дробление пород на крупные обломки по тектоническим трещинам и разрывным нарушениям.

12.5. Возраст коры выветривания (под которым понимается отрезок времени ее интенсивного формирования) следует устанавливать по приуроченности выделенных зон к определенным стратиграфо-литологическим комплексам пород, геоморфологическим элементам и по их соотношению (перекрытие, прислонение и т.д.) с образованиями, имеющими датировку.

12.6. Первичное расчленение коры выветривания на зоны и горизонты проводится при съемочных работах в процессе описания естественных обнажений и специальных расчисток по внешним признакам (визуальное изменение цвета и плотности, появление дополнительных трещин выветривания, глинистого материала и гумуса, корок и кристаллов гипса, гидроокислов железа и других новообразований), а затем уточняется по результатам полевых и лабораторных определений состава и физико-механических свойств пород, из которых основными являются показатели плотности, влажности, прочности, деформируемости и размываемости.

12.7. Особенное внимание при изысканиях на всех стадиях следует уделять стационарным наблюдениям за скоростями выветривания и осыпания пород как в зоне непосредственного воздействия водохранилища, так и вне ее, в условиях естественного протекания процесса. Наблюдениями должны быть охвачены все характерные разности пород, слагающие береговые склоны исследуемого участка.

12.8. Наблюдения за скоростью выветривания и осыпания пород в зоне воздействия эксплуатируемого водохранилища следует проводить по возможности на крутых размываемых берегах по отдельным профилям, расположенным на расстоянии 50–100 м друг от друга, которые закрепляются металлическими реперами-прутьями, равномерно распределенными по высоте и охватывающими все разности пород (но не менее чем через 1 м) и заглубленными на 1–1,5 м в сильно выветривающиеся породы (аргиллиты, алевролиты) и на 0,5–0,7 м – в относительно медленно выветривающиеся (известняки, песчаники и т.п.).

Скорость выветривания пород определяется по увеличению высоты реперов-прутьев относительно поверхности склона, после чего они дополнительно заглубляются в массив пород.

12.9. Наблюдательные створы на участках развития слабовыветривающихся пород целесообразно дополнительно оборудовать дырочными реперами, которые высверливаются дрелью на глубину 0,1–0,2 м. Забой таких реперов покрывается 1–2-сантиметровым слоем пластилина, а устье закрывается пробкой для предотвращения выветривания пород в глубину. Скорость выветривания пород определяется по уменьшению расстояния между забоем и устьем репера специально размеченной спицей (стержнем).

12.10. Наблюдения по реперам во всех случаях должны сопровождаться высокоточным нивелированием надводного берегового склона, а также промерами глубин в пределах прибрежной отмели.

12.11. Для установления в зоне воздействия водохранилища скорости выветривания и осыпания пород берегового склона, участвующих в формировании отмели-отмостки, но не охваченных наблюдениями по поперечникам, в трещинной зоне выветривания отбираются блоки (глыбы) этих пород, имеющие грани не менее 0,3–0,4 м. Блоки пород парафинируются по всем граням, кроме одной, вставляются в специально сделанную по размерам

блока обойму из кровельной жести с одной открытой стороной и дополнительно стягиваются проволокой для предотвращения разуплотнения пород. На открытой стороне блоков оборудуются два–четыре дырочных репера, они устанавливаются и закрепляются штырями для предотвращения их смещения в зоне колебаний уровня и выше через каждый метр. Первый блок устанавливается на отметках уровня сработки наибольшей повторяемости, предпоследний – на отметках уровня наполнения и последний – выше уровня наполнения на 2–3 м. По результатам наблюдений строятся зависимости скорости выветривания от времени и циклов увлажнения – высушивания, промерзания – оттаивания и других факторов выветривания, которые затем используются в прогнозах переработки берегов.

12.12. Для определения естественного хода развития выветривания и осыпания пород вне зоны воздействия водохранилища в пределах наблюдательных поперечников, описанных в пп. 12.8–12.11, выполняются ступенчатые расчистки, вскрывающие трещинную зону выветривания всех разностей пород берегового склона. Вертикальные и горизонтальные ступени расчисток оборудуются металлическими и дырочными реперами, а также деревянными или каменными бордюрами по их краям высотой 0,2–0,4 м. На горизонтальных ступенях расчисток бордюры выполняют роль ловушек для осыпающихся выветрелых пород, а на вертикальных ступенях служат для отвода осыпающихся масс с вышерасположенных участков склонов. В расчистках отбираются образцы пород из всех вскрытых зон и горизонтов выветривания, по которым определяются показатели свойств пород (плотность, пористость и другие, см. разд. 11).

12.13. Стационарные наблюдения за развитием выветривания пород береговых склонов проектируемых водохранилищ проводятся по методике, аналогичной описанной в пп. 12.8–12.12 для эксплуатируемых водоемов. Различия заключаются в том, что обоймы с блоками характерных разностей пород устанавливаются в зоне колебаний уровня воды в реке: первый на отметках меженного уровня и далее через 1 м до отметок на 1–2 м выше горизонта паводков 0,1% обеспеченности.

12.14. Стационарные наблюдения за выветриванием и осыпанием пород береговых склонов следует начинать при изысканиях на стадии схемы на ключевых участках, сложенных наиболее сильно выветривающимися породами, и продолжать их на всех последующих стадиях изысканий, постепенно охватывая все характерные разности пород участков проектируемой защиты. Общая продолжительность наблюдений должна быть не менее 1,5–2 лет.

12.15. Измерения по реперам, установленным в расчистках, уступах и на блоках-обоймах, должны проводиться после выпадения значительного количества атмосферных осадков, сильных штормов, затопления или осушения береговых уступов и блоков пород в периоды перехода температуры через 0°С, но не реже одного раза в месяц. Нивелирование надводного берегового склона может осуществляться один раз в 2–3 месяца, а промеры глубин в пределах его подводной части – после каждого сильного шторма.

12.16. Определение закономерностей развития обвалообразования проводится на наблюдательных участках одновременно с изучением процессов выветривания и осыпания пород, а также на других участках водохранилища, сложенных обычно слабо выветривающимися породами, где происходили обвалы или имеются подготовленные к смещению массивы пород.

12.17. При изучении обвальных участков следует обращать внимание на условия залегания и степень тектонической нарушенности и выветрелости пород, присутствие в разрезе ослабленных прослоев и контактов, ориентировку трещин в пространстве, наличие трещин бортового отпора и подготовленных к смещению блоков, характер и степень обводнения пород, конфигурацию обвальных ниш, морфологические особенности склона на пути движения обвалов, дальность смещения отдельных глыб, условия аккумуляции обвальных масс и степень их выветрелости, а также на другие особенности смещенных и несмещенных массивов пород, позволяющие определить конкретные условия, при которых возможно формирование обвалов и отдельных вывалов на берегах водохранилищ, их объем, скорость и дальность смещения.

13. ОПОЛЗНИ

13.1. Изыскания с целью прогнозирования существующих и потенциально возможных оползней имеют специфические особенности для неоползневых и оползневых береговых склонов, а также для проектируемых и эксплуатируемых водохранилищ.

13.2. Изыскания на неоползневых склонах проектируемых водохранилищ проводятся для оценки возможности их превращения в оползневые после создания водохранилища. Основные задачи изысканий заключаются в изучении:

геологического строения склонов с выделением и детальной характеристикой ослабленных зон, прослоев и контактов;

гидрогеологических условий и силового воздействия подземных вод на породы склонов;

физико-механических свойств пород, особенно прочности на сдвиг;

современных геологических процессов, способствующих оползневым смещениям (овражная и речная эрозия, выветривание, суффозия и т.п.).

13.3. Если за пределами района изысканий прослеживаются оползни в породах, имеющих близкие показатели свойств с породами изучаемого района, то следует предусматривать их изучение в качестве аналогов оползневых деформаций, потенциально возможных в процессе переработки берегов водохранилища.

13.4. На оползневых склонах проектируемых водохранилищ помимо задач, перечисленных в п. 13.2, необходимо дополнительно дать характеристику:

имеющимся оползням с установлением их возраста и механизма смещения, морфометрических параметров, приуроченности к определенным стратиграфо-литологическим комплексам пород и водоносным горизонтам, периодичности активизации (последняя – по фондовым материалам ранее выполненных наблюдений, а также по данным опросов);

закономерностям развития оползневых подвижек (отдельно для каждого выделенного типа оползней по механизму смещения) во времени с указанием скорости смещения, особенно для вязкопластичных оползней, по фондовым материалам и по результатам стационарных режимных наблюдений, проводимых при изысканиях;

опыта противооползневой защиты на береговых склонах проектируемого водохранилища или на других склонах подобного геологического строения, имеющихся в регионе изысканий, с оценкой эффективности выполненных противооползневых мероприятий.

13.5. Характеристика прочности пород на сдвиг, особенно в ослабленных зонах, прослоях и по контактам, должна даваться применительно к механизму оползневых деформаций (с одновременным установлением параметров вязкости и порога ползучести для пород, слагающих вязкопластичные оползни) и к прогнозируемым изменениям их плотности и влажности. При этом определение параметров сопротивления сдвигу следует проводить как по результатам лабораторных и полевых испытаний отдельных образцов и массивов пород, так и по данным обратных расчетов устойчивости оползневых склонов.

13.6. При изысканиях на оползневых и неоползневых склонах эксплуатируемых водохранилищ вместе с решением задач, указанных в п. 13.2, по фондовым материалам и результатам режимных наблюдений должны быть получены данные:

о скорости отступания берегового уступа и характере его разрушения (обрушение отдельных глыб, осыпание, вытекание разжиженных масс, оползание малых объемов пород и т.д.) для определения показателей размываемости различных комплексов пород;

об изменениях во времени формы и размеров прибрежной отмели в профиле и в плане, а также о соотношениях ее абразионной и аккумулятивной части;

о развитии оползней, их типах и размерах по всему склону в зависимости от уровенного, волнового и ледового режимов водохранилища, а также

режима подземных вод, количества выпадающих атмосферных осадков и других факторов.

13.7. Детальность изучения оползней и склонов, ими созданных или на которых возможны оползневые деформации, определяется стадией проектирования и изысканий и применяется с учетом требований пунктов 13.2–13.6.

13.8. Для обоснования схемы защиты территории детальные исследования оползней выполняются только на ключевых участках, выбираемых в наиболее характерных местах проявления оползневых процессов. Выбор числа и местоположения ключевых участков производится по результатам рекогносцировочного инженерно-геологического обследования прибрежной территории и уточняется при последующем проведении увязочных маршрутов и составлении предварительной мелкомасштабной карты инженерно-геологического и гидрологического районирования водохранилища. Наблюдениями на ключевых участках должны быть охвачены все типы оползней по механизму смещения, возможные в условиях изучаемого водохранилища.

13.9. Детальность изысканий на ключевых участках обусловлена необходимостью получения исходных материалов достаточных для составления локальных прогнозов развития оползневых процессов и обоснования состава и стоимости защитных мероприятий с тем, чтобы последующее проектирование противооползневой защиты могло быть выполнено в одну стадию. Более подробные сведения о проведении стационарных режимных наблюдений на оползневых участках, видах и методах работ приведены в работе [5].

13.10. Для участков прибрежной территории, не охваченных детальными исследованиями, прогноз развития оползней и определение необходимых противооползневых мероприятий осуществляются методом аналогии, путем экстраполяции закономерностей, выявленных на ключевых участках, на подобные им по инженерно-геологическим и гидрологическим признакам участки на основе мелкомасштабной карты районирования водохранилища.

13.11. Изыскания на стадии проекта выполняются с учетом инженерно-геологических и гидрометеорологических данных, полученных при изысканиях на стадии схемы. Детальность изысканий должна быть достаточной для оценки и прогноза устойчивости береговых склонов в пределах всего участка проектируемой защиты, а также для обоснования выбора состава необходимых противооползневых мероприятий и определения их стоимости.

13.12. При изысканиях на стадии рабочей документации должна быть получена количественная оценка устойчивости склона и отдельных его частей, позволяющая обосновать выбор конструктивных особенностей противооползневых сооружений и обеспечить стабильное состояние берегового склона и самих сооружений в периоды строительства и дальнейшей эксплуатации.

13.13. В случаях, когда проектирование выполняется в одну стадию (составление рабочего проекта), инженерно-геологические изыскания должны выполняться с учетом требований, указанных в пп. 13.11–13.12.

13.14. Составление рабочей документации без разработки проекта допустимо только для ключевых участков, детально изученных при составлении схемы, и в виде исключения – для отдельных небольших объектов, располагаемых на участках береговых склонов, имеющих простые инженерно-геологические и гидрологические условия.

14. СУФФОЗИЯ

14.1. Суффозия – это сложный процесс, сочетающий в себе элементы растворения и механического нарушения структурных связей пород, выноса из них минеральных частиц, а также размыва трещин и ослабленных зон.

Движущей силой суффозионного процесса является поток подземных вод. В зависимости от характера его деятельности целесообразно различать

собственно суффозию, подземную эрозию, вмывание и вынос заполнителя из трещин и пустот (рис. 3).

14.2. Собственно суффозия представляет собой движение мелких минеральных частиц в межпоровом пространстве пород под действием ламинарного потока подземных вод. В результате выноса частиц в породах создаются сосредоточенные пути фильтрации, движение воды по которым становится турбулентным. Образовавшиеся локализованные каналы подвергаются размыву, а частицы породы, в зависимости от силы потока, движутся как во взвешенном состоянии, так и влечением по дну. В дисперсных несвязных грунтах развитие суффозии возможно при достаточно малых величинах градиента фильтрационного потока, а для связных — необходим градиент более 7.

14.3. Подземная эрозия заключается в размыве пород по трещинам и каналам турбулентным потоком воды. К особому типу суффозии относится процесс вмывания и выноса заполнителя из трещин, характерный для скальных пород и сочетающий в себе элементы собственно суффозии и подземной эрозии.

14.4. Развитие суффозии определяется структурно-текстурными особенностями пород, параметрами фильтрационного потока и наличием области выноса. В условиях водохранилищ суффозия имеет свои особенности, обусловленные неоднородностью геологического строения, состава и свойств пород береговых массивов, а также резкими изменениями режима подземных и поверхностных вод при сработке воды и наполнении водоемов, что требует изучения динамики суффозии во времени и определения на этой основе направленности процесса, его активизации или затухания.

14.5. Суффозионные процессы происходят в основном в зонах выветривания пород, а также в молодых крутопадающих оврагах, в подножиях и бровках крутых склонов, на участках распространения положительных тектонических структур и древних оползней. Интенсивность суффозионного выноса определяется гидрогеологической обстановкой. Подъем уровня в водоеме вызывает фильтрацию воды в берега и подпор подземных вод, а его снижение – смену направления движения подземных вод, увеличение гидравлического уклона и градиентов потока и, как следствие, интенсификацию выноса частиц пород и деформацию прибрежных территорий в виде просадок, оползней, обвалов и других опасных геологических процессов.

14.6. Методика проведения изысканий, виды и объемы работ существенно зависят от конкретных природных условий участков, подверженных суффозии, среди которых по особенностям развития процесса можно выделить шесть основных типов, охарактеризованных в пп. 14.7–14.12.

14.7. *Первый тип.* Пески или песчано-галечные отложения залегают на скальных нетрещиноватых породах и содержат горизонт безнапорных подземных вод, не имеющий гидравлической связи с рекой или водохранилищем (рис. 4, I) Интенсивность суффозионного выноса зависит от сезонных колебаний уровня подземных вод. В естественных речных условиях с течением времени интенсивность процесса обычно снижается, а после создания водохранилищ происходит его активизация благодаря переработке абразионного уступа, приводящая к увеличению градиентов потока подземных вод.

14.8. *Второй тип.* Пески (песчано-галечные отложения) залегают на трещиноватых скальных породах (рис. 4, II). Суффозия приводит к вмыванию обломочного материала в трещины, карстовые полости и каверны. Такое развитие суффозии характерно для Камского, Красноярского, Братского, Куйбышевского и других водохранилищ.

14.9. *Третий тип.* Пески (песчано-галечные отложения) залегают на слабоводопроницаемых глинистых породах (рис. 4, III). Контакт пород находится ниже уровня водохранилища и водоносный горизонт в песках гидравлически связан с водохранилищем или рекой. В естественных условиях интенсивность процесса определяется режимом реки и его активизация происходит в периоды весенних половодий. В результате суффозионного выноса вдоль подземного стока образуются цепочки воронок. После создания водохранилища на начальных стадиях переработки береговых склонов происходит активизация суффозии благодаря увеличению градиентов подземных вод при

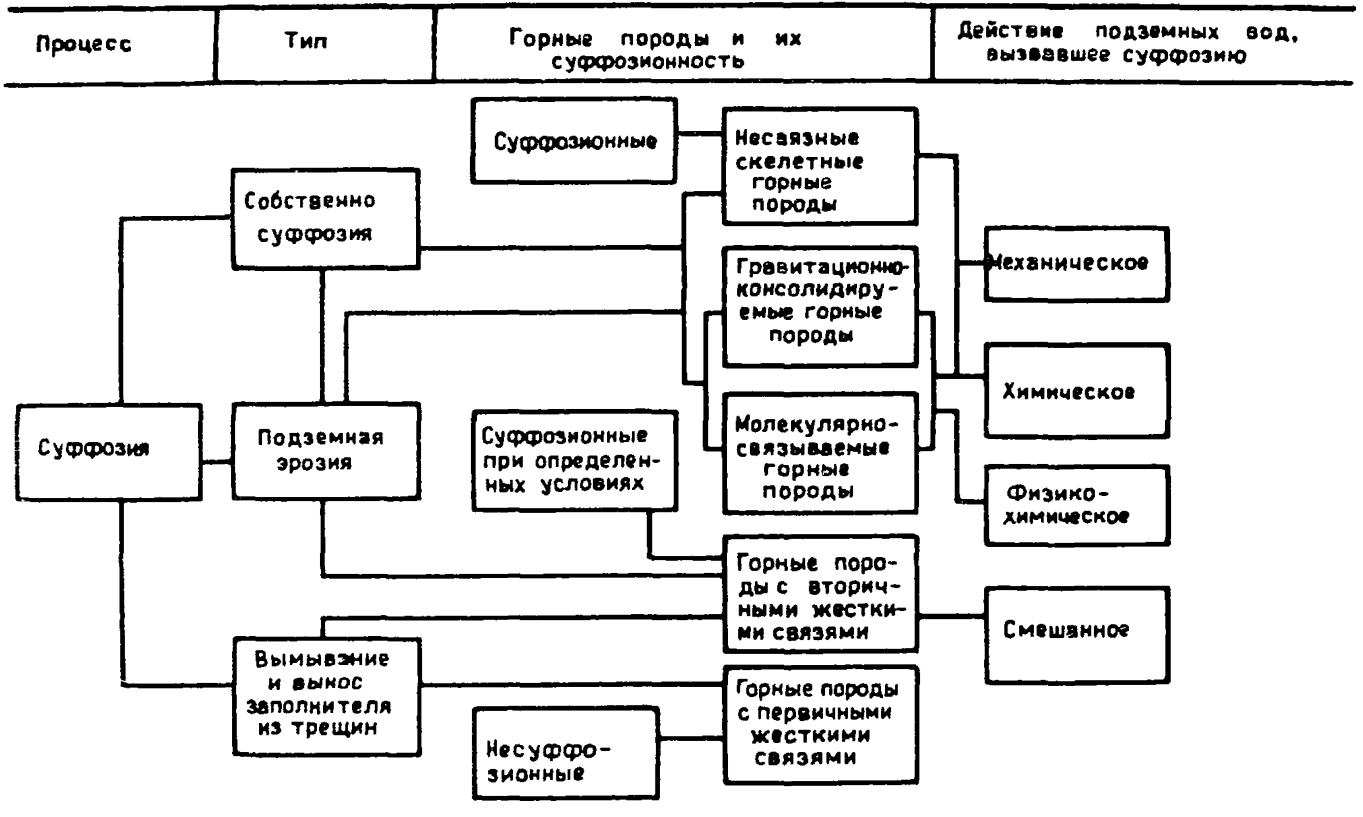

Рис. 3. Классификационная схема суффозии

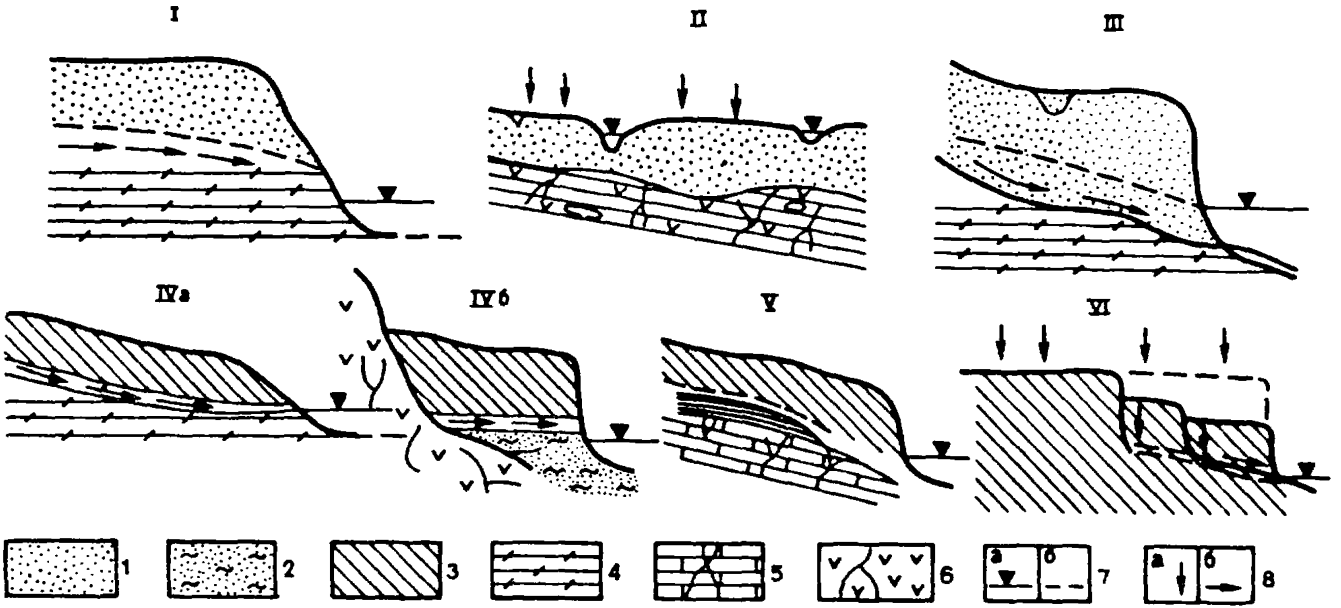

Рис. 4. Основные типы суффозионных берегов
1 – пески; 2 – глины; 3 – суглинки; 4 – аргиллиты; 5 – трещиноватые известняки; 6 – трещиноватые глины; 7,а – уровни воды в водохранилище, 7,б – уровни подземных вод; 8,а – атмосферные осадки; 8,б – направление движения подземных вод

сработках воды из водоема и интенсивному размыву песчаных пород. Со временем происходит заиление дна и берегов водохранилища, уменьшается фильтрация в них воды, скорость и амплитуда подъема уровня подземных вод, что обусловливает постепенное снижение интенсивности суффозионных процессов.

14.10. *Четвертый тип.* Пески (песчано-галечные отложения) залегают в основании склона и перекрыты слабоводопроницаемыми глинистыми накоплениями (рис. 4, 1У, *а, б*). Водоносный горизонт гидравлически связан с рекой и в паводки (половодья) или при наполнении водохранилища может приобретать напорный характер. В результате суффозионного выноса мелких частиц, особенно в зоне разгрузки подземных вод, происходит разрыхление пород – уменьшается их плотность и увеличивается пористость. Наиболее интенсивно процесс протекает в период, когда уровень воды в реке резко повышается, а затем падает, а также при колебаниях уровня водохранилища, приводящих к увеличению гидростатического и гидродинамического воздействия подземных вод на породы и образованию оползней на береговых склонах. Такой тип суффозионных деформаций весьма характерен практически для всех равнинных водохранилищ Советского Союза.

14.11. *Пятый тип.* Пылеватые (лессовые) породы залегают на трещиноватых скальных отложениях (рис.4, У). При таком строении возможны два вида развития суффозии:

а) при наличии горизонта подземных вод в лессах образуются полости в результате выноса и вмывания в трещины дисперсных частиц;

б) при отсутствии водоносного горизонта развитие суффозии в лессах определяется в основном количеством выпадающих атмосферных осадков. В результате развиваются воронки размером 5–8 м в диаметре. В условиях водохранилищ при сработке из них воды образуются новые или активизируются старые оползни, что особенно характерно для водохранилищ Средней Азии, Прикаспия и некоторых других.

14.12. *Шестой тип.* Берега и ложе водохранилища сложены толщей пылеватых пород. В результате подъема уровня подземных вод после создания водохранилищ образуются просадки в виде линейно вытянутых вдоль берега провальных полос, распространяемые в глубь прибрежных территорий на 100–200 м. Проявление просадок на берегах создает благоприятные условия для развития суффозионных процессов, которые в данном случае во многом обусловлены режимом питания временного водоносного горизонта в лессах за счет атмосферных осадков. Наибольшей интенсивности суффозия достигает на участках сосредоточенного стока дождевых вод, которые вначале попадают в просадочные трещины, а затем двигаются подземными путями по пустотам между просевшим на глубине грунтом и недеформированным целиком. Величина проседания и ширина раскрытия трещин зависит от свойств грунтов и крутизны склона В результате суффозии образуется цепь глубоких воронок и ниш, сообщающихся друг с другом подземными ходами. Диаметр воронок достигает у поверхности 3–5 м.

14.13. Изучение суффозии следует проводить на всех стадиях изысканий для решения следующих практических задач:

определения динамики процесса и основных закономерностей его проявления;

установления влияния суффозии на развитие других берегоформирующих процессов (оползней, карста, волновой абразии и др.);

выработки оптимальных методов по борьбе с суффозией.

14.14. При изысканиях на стадии схемы изучение суффозии проводится на ключевых участках параллельно с изучением других берегоформирующих процессов и факторов, их определяющих. Особое внимание уделяется выявлению, опробованию и описанию суффозионных форм, установлению дебитов источников, количества и состава выносимых частиц, а также выяснению зависимости развития суффозии от режима подземных и поверхностных вод.

14.15. В дисперсных породах отбор образцов для определения их физико-механических и фильтрационных свойств целесообразно производить равномерно по всему участку с применением бурения. Глубина скважин определяется глубиной расположения водоносного горизонта или кровли скальных

пород, а ширина исследуемого участка – границей выклинивания подпора подземных вод в его пределах.

14.16. При изысканиях на стадиях проекта и рабочей документации (рабочего проекта) на основе продолжающихся стационарных наблюдений производится уточнение основных факторов и закономерностей развития суффозии и даются конкретные практические рекомендации по инженерной защите прибрежных территорий от суффозионных процессов, направленные прежде всего на ликвидацию или ослабление причин, их вызывающих.

15. КАРСТ

15.1. Создание водохранилищ, приводящее к подпору подземных вод в пределах прибрежных территорий, изменяет базис карстования, усиливает водообмен между закарстованными массивом и водоемом, благодаря постоянным колебаниям уровня воды в водохранилище, и обусловливает активизацию карстовых процессов, выражающуюся в интенсивной химической абразии берегов, убыстрении роста карстовых полостей и в усилении провалообразований.

15.2. Основными факторами переработки берегов, сложенных карстующимися породами, являются способность породы растворяться, а воды – растворять. Волнение способствует растворению пород за счет перемешивания воды и уменьшения концентрации в ней солей в прибрежной полосе.

15.3. На закарстованных побережьях водохранилищ целесообразно различать по геологическому строению, гидродинамической зональности карстовых вод и закономерностям развития берегоформирующих процессов следующие три основные типа берегов.

15.4. *Первый тип.* Береговой склон полностью сложен карстующими породами и для него характерны гидродинамические зоны вертикальной, горизонтальной, сифонной и глубинной циркуляции карстовых вод (рис. 5, I). Активизация карста и суффозии наблюдается в интервале сливной призмы, то есть в верхней части зоны горизонтальной циркуляции, и обусловлена как выносом заполнителя и освобождением ранее сформированных полостей и трещин, так и их дополнительным расширением в результате растворения.

15.5. *Второй тип.* Карстующиеся породы распространены в приурезовой части берегового склона, а выше перекрыты некарстующимися слабо водопроницаемыми отложениями (рис. 5, II). На отдельных участках таких берегов под влиянием атмосферных и речных вод растворимая толща пород в прошлые геологические эпохи могла быть уничтожена или переформирована образованием карстовой брекчии (обвально-карстовых отложений) из обрушившихся масс. Зона вертикальной циркуляции в пределах берегов второго типа отсутствует. Наиболее ярко выражена зона горизонтальной циркуляции, имеющая питание за пределами прибрежной полосы и периодически пополняемая водами водохранилища. Процессы растворения наблюдаются в карстующихся отложениях, а в обвально-карстовых может проявляться суффозия.

15.6. *Третий тип.* Под толщей водопроницаемых дисперсных накоплений залегают трещиноватые закарстованные породы (рис. 5, III). После создания водохранилища резко активизируются суффозионные процессы, приводящие к образованию отдельных провалов и воронок разного генезиса (просасывания, провальных и др.).

15.7. Основными задачами инженерных изысканий на закарстованных побережьях водохранилищ являются:

выявление исторических и современных закономерностей развития карста с учетом динамики химической абразии и роста карстовых полостей;

установление участия карста в развитии переработки берегов;

обоснование мероприятий по инженерной защите берегов и прибрежных территорий от карстовых и сопутствующих им процессов.

15.8. При изысканиях на стадии схемы защиты территории региональная закарстованность прибрежных территорий оценивается по соотношению площадей, занятых карстовыми формами, к общей площади территорий на ос-

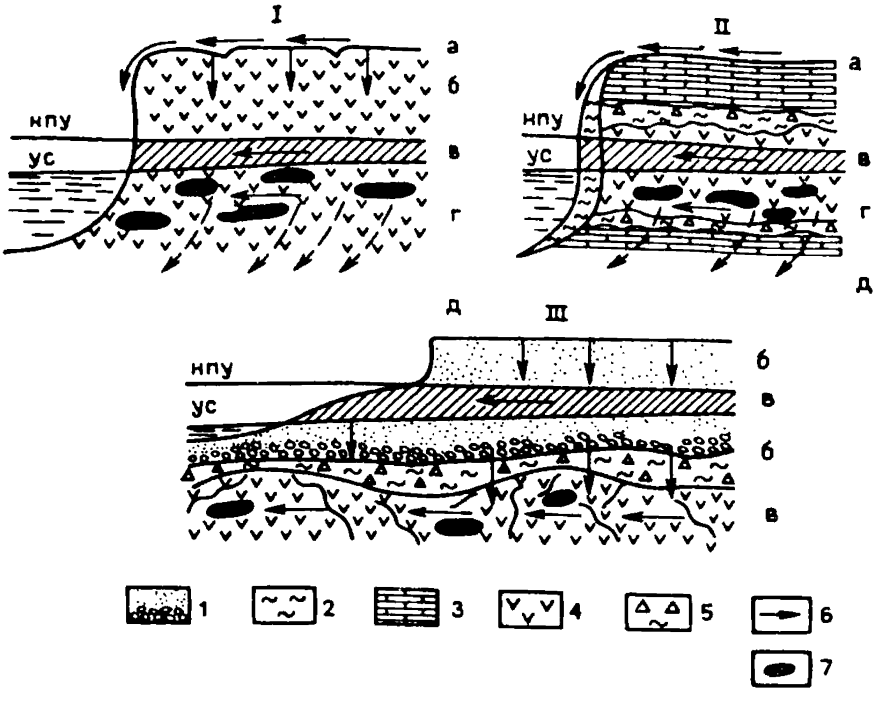

Рис. 5. Основные типы закарстованных берегов водохранилищ (по И.А.Печеркину)
1 – аллювиальные отложения; 2 – аллювиально-делювиальные отложения; 3 – мергели и известняки; 4 – гипсы; 5 – обвально-карстовые отложения; 6 – направление движения карстовых вод; 7 – карстовая полость. Гидродинамические зоны циркуляции карстовых вод: а – поверхностная, б – вертикальная, в – горизонтальная, г – сифонная, д – глубинная. НПУ – нормальный подпорный уровень, УС – уровень сработки

новании проработки опубликованных и фондовых материалов, а также рекогносцировочных инженерно-геологических исследований с применением аэрофотоснимков. На этой основе составляется предварительная карта инженерно-геологического районирования побережья и выбираются ключевые участки для детальных исследований и проведения стационарных наблюдений.

5.9. На всех стадиях изысканий при инженерно-геологическом районировании следует использовать различия в геодинамической обстановке формирования карста по ширине прибрежной территории с выделением следующих трех крупных таксонов:

первого, охватывающего прибрежную полосу, в пределах которой развитие карстового процесса происходит наиболее интенсивно из-за постоянного водообмена подземных и поверхностных вод и повышенной их циркуляции в массиве пород. Граница таксона обычно совпадает с границей выклинивания подпора подземных вод;

второго – переходного, включающего, как правило, районы распространения наиболее высоких и удаленных от водохранилища речных террас и участки их сочленения с коренными склонами, где периодически возникает

подпор подземных вод и происходит временная активизация карста, проявляющаяся преимущественно в развитии трещин бортового отпора и рвов отседания;

третьего, приуроченного к водоразделам, где развитие карстовых процессов маловероятно и происходит в настоящее время в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков.

15.10. Особое внимание при детальных исследованиях на ключевых участках и на участках проектируемой защиты на всех стадиях изысканий следует обращать на свежие карстовые провалы, воронки, пещеры, сухие долины, карстовые источники и другие формы проявления карста, для которых необходимо установить приуроченность к определенным геоморфологическим и гипсометрическим уровням, стратиграфо-литологическим комплексам пород, тектоническим нарушениям и водоносным горизонтам.

15.11. Стационарные наблюдения за развитием карстовых процессов следует проводить по отдельным поперечникам, расположенным на расстоянии 50–100 м друг от друга, одновременно и по единой программе с наблюдениями за режимом подземных вод, уровнем воды в водохранилище, волнением, атмосферными осадками и другими факторами переработки берегов.

15.12. Стационарные наблюдения должны в обязательном порядке включать гидрохимические и термические исследования подземных и поверхностных вод с периодом их опробования не менее одного раза в месяц, а также в начале и в конце наполнения (сработки) водоема и охватывать полосу водохранилища шириной не менее 200 м, а прибрежной территории – до границы выклинивания подпора подземных вод. По результатам таких исследований выявляются участки интенсивного растворения берегов, фиксируемые по аномалиям химического состава и агрессивности вод, а также оценивается активность химической абразии в береговой полосе.

15.13. При изысканиях на стадиях проекта и рабочей документации (рабочего проекта), реже на стадии схемы, детальные исследования на участках целесообразно дополнять натурными и лабораторными опытами по определению растворимости карстующихся пород, по результатам которых строятся зависимости скорости растворения породы от скорости и характера движения растворителя. В процессе опытов необходимо учитывать, что усиленный водообмен и большая масса воды в водохранилище не создают обстановки насыщения солями, поэтому поверхностные и отчасти подземные воды остаются агрессивными.

15.14. В лабораторных условиях показатели растворимости изучаются на образцах пород нарушенного и ненарушенного сложения, а в качестве растворителя используется природная и дистиллированная вода.

15.15. Натурные опыты по растворимости следует проводить на отдельных глыбах карстующихся пород, равномерно располагаемых на разных отметках в зоне колебаний уровня и заплеска волн и выше на 1–2 м, а также в волноприбойных нишах выщелачивания, пещерах и в других карстовых формах. Во всех случаях объекты исследований оборудуются дырочными и металлическими реперами, аналогично как при изучении выветривания пород (разд. 12), и включаются в режимную наблюдательную сеть, развернутую на участке изысканий.

16. ОВРАЖНАЯ ЭРОЗИЯ

16.1. Овражная эрозия наиболее активно развивается в дисперсных породах и на побережьях водохранилищ приводит: к уничтожению пахотных угодий; к подработке оврагами различных промышленных и гражданских сооружений, находящихся за пределами прогнозируемой полосы берегоразрушения и к активизации переработки берегов за счет абразии.

16.2. Активизация эрозионных процессов обычно связана с увеличением массы или скорости стекающей воды. Это происходит при переработке берегов водохранилищ в результате быстрого смещения берегового уступа в сторону водораздела и образования висячих тальвегов у ранее почти бездея-

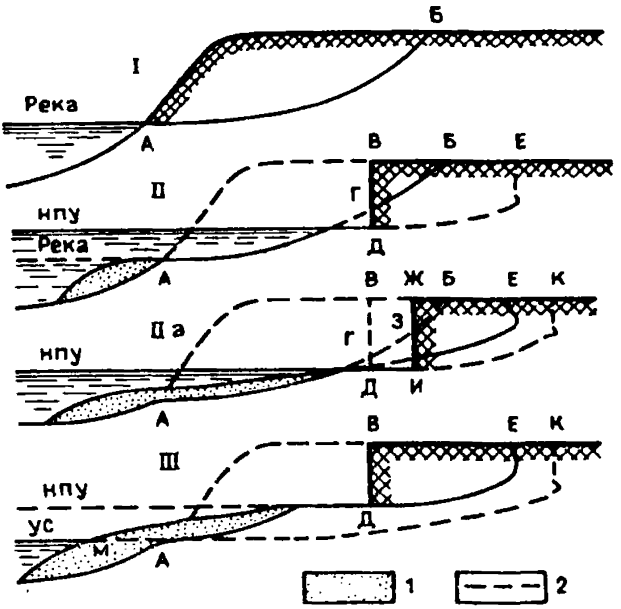

Рис. 6. Принципиальная схема развития оврага на берегу водохранилища

I – стабилизировавшийся овраг с выработанным "профилем равновесия", находящийся на берегу реки; II – развитие оврага при наполнении водохранилища. Абразионный смыв прибрежной полосы и образование висячего тальвега; II, а – следующий цикл абразии и новая подрезка тальвега; III – врезание оврага в прибрежную отмель и активизация глубинной эрозии при сработке воды из водохранилища; 1 – осадки, аккумулированные на прибрежной отмели в шлейфе; 2 – контуры бывшего или будущего положения берегового уступа, тальвега и уровня воды в водохранилище или реке. Буквы (А – К) показывают положение отдельных точек при разрушении берега

тельных оврагов, приводящих к резкому возрастанию скорости движения воды и, как следствие, – к активизации эрозии (рис. 6).

Описанное явление вызывает пятящуюся эрозию в дне самого оврага, который стремится выработать "профиль равновесия". Поскольку нижняя часть оврага разрушена и затоплена, то весь тальвег сдвигается в сторону водораздела, при этом активность эрозии сохраняется длительное время из-за тесной связи с берегоразрушениями.

16.3. Овражная эрозия разрушает не только надводный береговой склон, но и подводную прибрежную отмель (см. рис. 6). Последнее происходит ранней весной (в меньшей степени поздней осенью), когда в результате сработки воды из водохранилища происходит понижение уровня водоема и прибрежная отмель полностью обнажается. Талые воды, устремляясь на отмель, образуют в ней овраги протяженностью в десятки метров. С отмели выносятся тысячи кубометров грунта. Впоследствии, при восстановлении уровня воды в водохранилище, эти отрицательные формы полностью или частично ликвидируются вдольбереговым потоком наносов.

16.4. Наблюдения за оврагами на берегах водохранилищ должны проводиться на всех стадиях изысканий с целью:

изучения динамики естественного геологического процесса и выявления основных закономерностей его проявления;

установления влияния овражной эрозии на переработку берегов водохранилищ;

выработки оптимальных методов по борьбе с овражной эрозией с целью сохранения сельскохозяйственных угодий, снижения интенсивности переработки берегов и защиты сооружений в пределах прибрежных территорий, в том числе сооружений инженерной защиты.

16.5. Наблюдения за овражной эрозией следует начинать при изысканиях на стадии схемы с изучения аэрофотоснимков и топографических карт, по

которым выявляются территории, пораженные оврагами, и производится оценка их расчлененности в зависимости от расстояния между соседними оврагами, м.

Слабая расчлененность	св. 1 000
Средняя "	1 000 – 500
Сильная "	500 – 250
Очень сильная "	менее 250

16.6. На основании проведенной оценки расчлененности прибрежной территории оврагами и рекогносцировочного ее обследования производится выбор ключевых участков для последующих детальных исследований и проведения стационарных наблюдений за развитием овражной эрозии.

16.7. Топографическая и инженерно-геологическая съемки овражно-балочной сети на наблюдательном участке производятся в масштабах не мельче 1 : 2 000 одновременно с установлением реперов по квадратной сетке со стороной 50–100 м. Размеры территории, подлежащей съемке, определяются конкретными геолого-геоморфологическими условиями.

На реперную сеть опираются поперечники, по которым ведутся наблюдения за развитием процессов переработки берегов.

16.8. В дисперсных породах сеть растягивается вдоль берега на 1 км и более. В скальных породах изрезанность оврагами обычно небольшая и наблюдения ведутся за отдельными оврагами.

16.9. Ширина полосы наблюдательного участка определяется протяженностью оврагов и скоростью их роста. Обычно она не превышает 300–500 м. При очень большой длине деятельных оврагов, но сравнительно стабильной ширине, наблюдательный участок может быть ограничен узкой полосой в береговой зоне с обязательными наблюдениями за вершинами оврагов.

16.10. При изысканиях на стадии схемы защиты территории наблюдения за динамикой овражной эрозии следует выполнять, как правило, на участках, где ведутся (планируются) наблюдения за другими берегоформирующими процессами и факторами, их определяющими, а на последующих стадиях изысканий следует проводить эти наблюдения в обязательном порядке на всех участках, где проектируются сооружения инженерной защиты и имеется или возможно формирование овражной сети.

16.11. В процессе детальных исследований прибрежных участков следует обращать особое внимание на приуроченность оврагов к определенным стратиграфо-литологическим комплексам пород, зонам тектонических нарушений и повышенной трещиноватости пород, геоморфологическим элементам, выходам подземных вод, карстовым, суффозионным и другим формам рельефа.

16.12. При периодическом картировании и описании оврагов необходимо определять их длину, изменения ширины и глубины по длине, форму вершин и их высоты, превышение вершин оврагов над устьем, над НПУ, объемы, уклоны тальвегов и территории, на которой развиваются овраги, форму бортов и их закрепленность, состав земельных угодий, где прослеживаются овраги (пашня, городское или сельское поселение и т.д.), водосборную площадь и степень ее задернованности, заселенности, застройки и т.д., а также другие сведения, в результате анализа которых оценивается интенсивность роста оврагов во времени и пространстве и наносимый ущерб, а также намечаются конкретные мероприятия по защите прибрежных территорий от овражной эрозии.

17. ПЛОСКОСТНАЯ ЭРОЗИЯ

17.1. Интенсивное развитие абразионных, оползневых, карстово-суффозионных и других берегоформирующих процессов после создания водохранилищ приводит к активизации плоскостной эрозии в пределах прибрежных территорий и часто к невосполнимым потерям плодородных сельскохозяйственных угодий.

17.2. Плоскостная эрозия имеет косвенное влияние на развитие процессов переработки берегов в основном за счет выноса с прибрежных территорий значительного количества мелкоземистого дисперсного материала, дополнительно питающего вдольбереговые потоки наносов и заиливающего водохранилище.

17.3. Развитие плоскостной эрозии наиболее активно происходит в дисперсных осадочных породах и определяется в основном составом, свойствами и состоянием приповерхностных отложений, площадью водосборов и их конкретными особенностями (микрорельефом и его расчлененностью, уклонами, экспозицией, задернованностью, характером хозяйственного освоения и т.д.), а также количеством, видом, интенсивностью и распределением во времени выпадающих атмосферных осадков и обусловленными ими потоками дождевых и талых вод.

17.4. В задачи инженерных изысканий на берегах водохранилищ входят:

выявление территорий активного развития плоскостной эрозии;

определение основных закономерностей развития процесса;

установление динамики выноса дисперсного материала в водохранилище;

обоснование рационального комплекса мероприятий по предотвращению плоскостной эрозии.

17.5. При изысканиях на стадии схемы по результатам анализа имеющихся материалов, аэрофотоснимков и маршрутного обследования побережья устанавливаются территории, подверженные плоскостной эрозии или имеющие предпосылки для ее развития, и выбираются ключевые участки для детальных исследований, которые следует по возможности совмещать с участками, где проводятся наблюдения за развитием других берегоформирующих процессов и факторами, их определяющими.

17.6. Особое внимание на всех стадиях изысканий следует уделять инженерно-геологическому и геоботаническому описанию и опробованию верхней 0,5–1-метровой части разреза с определением состава, плотности, влажности, высоты капиллярного поднятия воды, размокаемости и размываемости, а также прочностных и фильтрационных характеристик грунтов, типов почв и растительности.

Обор образцов для определения свойств грунтов следует производить равномерно по всему водосбору в верхней, средней и нижней его частях.

17.7. Изучение динамики плоскостной эрозии производится по отдельным локальным и региональным водосборам, в нижних частях которых, вблизи бровок береговых уступов, равномерно через 10–50 м, в зависимости от размеров водосбора, устанавливаются приемные ловушки, которые углубляются в грунт на 0,04–0,06 м и дополнительно закрепляются через отверстия в дне четырьмя штырями длиной 0,2–0,3 м.

17.8. Ловушки выполняются из дерева, крашеной листовой жести или любого устойчивого к коррозии металла и имеют форму ящика с одной открытой стороной, направленной к склону, и перфорированной задней стенкой, оборудованной трехслойным марлевым фильтром для пропуска воды и задержания взвешенных в ней частиц. Оптимальные размеры ловушек – 0,4х0,4 м при высоте до 0,2–0,3 м.

17. 9. Снесенный в ловушку материал взвешивается после выпадения осадков различной интенсивности, но не реже одного раза в месяц и из него отбираются представительные образцы для определения гранулометрического (микроагрегатного) и минералогического составов . Общая продолжительность режимных наблюдений по ловушкам должна быть не менее 1,5–2 лет.

17.10. Наблюдения за ловушками целесообразно дополнять определениями интенсивности плоскостной эрозии с использованием дендрохронологического метода. С этой целью в разных частях водосбора выбираются разновозрастные представители древесно-кустарниковой растительности, по которым на участках аккумуляции делювиального материала устанавливается мощность почвенного слоя до комля (верхняя часть корня), а на участках сноса – расстояние от комля до поверхности земли. Зафиксированные величины примерно соответствуют мощностям аккумуляции и сноса дисперсного материала в разных частях водосбора за период жизни растений.

17.11. При изысканиях на стадиях проекта и рабочей документации (рабочего проекта) на особо ценных землях помимо наблюдений, приведенных в пп. 17.5–17.10, следует предусматривать проведение натурных экспериментов по определению интенсивности плоскостной эрозии с использованием установок по искусственному дождеванию по методике, приведенной в работе [19].

17.12. Совместный анализ материалов изысканий, охарактеризованных в пп. 17.4–17.11, и данных наблюдений за гидрометеорологическими характеристиками участков за 1,5–2-летний период позволяет обоснованно подойти к прогнозу развития плоскостной эрозии во времени и пространстве, наметить территории, нуждающиеся в защите, и мероприятия по ослаблению и предотвращению рассматриваемого процесса.

18. РУСЛОВАЯ ЭРОЗИЯ

18.1. Русловая боковая эрозия происходит при воздействии на берег стокового течения. На водохранилищах условия для ее развития имеются преимущественно в верховьях.

При расположении водохранилища в каскаде наибольшая активность стокового течения отмечается в зоне влияния суточного регулирования стока верхним гидроузлом. Вниз по длине любого водохранилища наблюдается ослабление стокового течения, а следовательно, уменьшается и боковая эрозия. Русловая боковая эрозия развивается главным образом в периоды половодья, паводков или значительных попусков воды из вышележащего водохранилища, в особенности при холостых сбросах. Наиболее продолжительные, а зачастую и самые большие по расходу воды попуски осуществляются в зимний период. Большое влияние при этом имеет уровень воды в водохранилище. В верхней части он может превышать НПУ, а ниже имеет значительно более низкие отметки. В этом случае активной эрозии будут подвергаться прибрежные отмели, сформированные при более высоких уровнях в безледный период.

18.2. Интенсивный размыв берегов чаще всего приурочен к вогнутым частям русла. В отличие от волновой абразии размыв берегов стоковым течением проявляется в отступании берегового склона не только в надводной, но и в пределах всей его подводной части. В условиях боковой эрозии для поперечного профиля берегового склона в подводной части характерно наличие сравнительно узкого и крутого бечевника. Вниз по течению поверхность бечевника выполаживается в связи с уменьшением размаха колебания уровня воды и усилением ветрового волнения. Общая направленность изменения интенсивности боковой эрозии определяется характером руслового процесса и стадией его развития.

18.3. Существует тесная обратная зависимость между боковой и глубинной эрозией русла. Соотношение между ними регулируется шириной русла и сопротивляемостью размыву пород, слагающих берега и дно. Глубинная эрозия может оказывать отрицательное влияние на устойчивость оползневых склонов при расположении базиса оползания в пределах русла.

18.4. В верховьях водохранилищ, расположенных в каскаде, большое влияние на ход руслового процесса оказывает существенная задержка твердого стока реки находящимся выше водохранилищем. В начальный период эксплуатации верхнего гидроузла это вызывает трансгрессивную эрозию русла в верховьях нижеследующего водохранилища. Зона развития трансгрессивной эрозии постепенно смещается вниз с уменьшением скорости движения и степени деформации русла. Такое затухающее вниз по потоку развитие трансгрессивной эрозии объясняется насыщением его наносами за счет поступления их из притоков и размыва берегов, а также ослаблением стокового течения. Следствием трансгрессивной эрозии может быть временная активизация бокового размыва русла на том или ином участке.

18.5. При изысканиях на стадии схемы ориентировочная прогнозная оценка боковой эрозии в верховьях будущего водохранилища возможна с использованием методики [18]. Предварительно изучается имеющийся картографический и аэрофотосъемочный материал и устанавливается тип русло-

вого процесса в естественных условиях, согласно классификации [18] При недостаточности материала рекомендуется проведение рекогносцировочного обследования района изысканий. Затем, используя проектные данные по гидроузлу, выясняется степень предстоящего нарушения гидрологической обстановки и возможные изменения в связи с этим в характере руслового процесса. С этой целью производится сравнение продольных кривых свободной поверхности воды в естественных и зарегулированных условиях и различные фазы водного режима.

18.6. В зависимости от предполагаемого типа руслового процесса предлагаются те или иные способы приближенного расчета будущего размыва берегов. Количественные измерители руслового процесса определяются по натурным данным для изучаемого участка в естественных условиях (в основном по планам русла за предшествующий период) с уточнением их на основании проектных данных об уровенном режиме будущего водохранилища, а также по аналогам или расчетным путем. Эти измерители, представленные главным образом морфологическими показателями русла, могут относиться к одному выделенному морфологическому элементу русла или даваться в статистическом выражении для группы однородных элементов.

Сравнительная оценка берегов в пределах отдельных участков по возможной интенсивности боковой эрозии должна основываться, кроме того, на учете литологического состава и последовательности залегания пород, слагающих берега и дно водоема, высоты и крутизны береговых склонов и глубин в прибрежной части.

18.7. На существующих водохранилищах необходимо проводить полевые изыскания с целью определения фактических темпов размыва берегов и морфологических показателей русла. Результаты изысканий используются при гидролого-морфологическом анализе для расчетов прогнозных характеристик плановых деформаций применительно к отдельным русловым формам по методике [18]. Такой же анализ проводят для естественного состояния изучаемого участка. Полученные характеристики сравниваются между собой для установления тенденции к их изменению. Предварительный гидролого-морфологический анализ состояния русла в естественных и зарегулированных условиях рекомендуется выполнять до полевых изысканий на основе данных по району изысканий из опубликованных и фондовых источников.

18.8. Полевые изыскания разделяются на общие и детальные. Общие изыскания проводят на стадии схемы, на протяженном участке, включающем, как минимум, две-три смежных макроформы русла выше и ниже места, для которого необходим прогноз боковой эрозии. Изыскания имеют рекогносцировочный характер. Детальные изыскания выполняются на стадии проекта и направлены на получение подробных и более точных данных о деформациях макроформы русла, в границах которой находится интересующий берег.

18.9. В состав полевых изысканий входят: рекогносцировочное обследование русла, топографические (фототопографические) съемки или аэрофотосъемки (разовые и многократные) и стационарные наблюдения над размывом берегов и русла по поперечным створам.

18.10. При рекогносцировочном обследовании района изысканий, совершаемом путем маршрутных обходов или облетов, производится картирование основных морфологических элементов русла. Картирование осуществляется по заранее подготовленной картографической или аэрофотосъемочной основе возможно более крупного масштаба или наиболее поздней съемки. В состав обследования могут включаться также промеры глубин для установления основных русловых форм и их подвижности. Такое обследование позволяет выявить общие характеристики как самого руслового процесса, так и условий, определяющих его развитие.

18.11. Топографические съемки входят в состав детальных изысканий. Они выполняются независимо от наличия материалов прошлых лет. При возможности проводят аэрофотосъемку всего района общих полевых изысканий. Аэрофотосъемка особенно важна при изучении развития руслово-

го процесса по типам свободного и незавершенного меандрирования или пойменной многорукавности. Масштаб топографической съемки и аэрофотосъемки зависит от протяженности участка и ширины русла.

18.12. Стационарные наблюдения над размывом берегов и русла по отдельным поперечным к береговой линии створам требуются лишь в особо сложных случаях, когда рекогносцировка и топографические съемки не освещают с достаточной полнотой режим русловых деформаций.

18.13. Сроки производства всех указанных выше видов полевых изысканий выбираются с таким расчетом, чтобы была возможность оценить динамику берегов и русла в периоды наиболее активных ее проявлений (после зимней сработки воды из вышележащего водохранилища, после максимальных сбросов воды через верхний гидроузел, до и после половодья и т.д.).

18.14. В целом методика полевых изысканий не отличается от той, которая применяется для изучения волновой абразии берегов и рассматривается в следующем разделе.

19. ВОЛНОВАЯ АБРАЗИЯ

19.1. Волновая абразия берегов осуществляется ветровыми и судовыми волнами, а также сопутствующими им течениями. К важнейшим условиям, влияющим на характер и интенсивность абразии, относятся: форма и размеры берегового склона и конфигурация береговой линии, геолого-литологическое строение берегового склона и сопротивляемость размыву (размываемость) слагающих его пород, а также уровенный режим водохранилища.

По вертикали зона непосредственного воздействия волнения на береговые склоны определяется размахом колебания уровня воды в безледное время и максимальными размерами волн при крайних положениях уровня воды. Береговые склоны с углом наклона менее 3°, как правило, не размываются. Наиболее благоприятные условия для абразии существуют на приглубых берегах, сложенных несцементированными породами. Со временем отмечается общая тенденция к ослаблению размыва берегов волнами по мере роста прибрежной отмели, что особенно четко прослеживается на водохранилищах с незначительными колебаниями уровня воды в безледное время. Абразионная эффективность волн возрастает в периоды стояния высоких уровней воды. Волновая абразия берегов влияет на деятельность других процессов переработки берегов, но в наиболее тесной зависимости находится с выветриванием, размоканием и растворением пород.

19.2. Особенно широкое распространение имеет абразия берегов под действием ветровых волн. В зонах глубокого подпора водохранилищ чаще всего она выступает в роли основного берегоформирующего процесса. Ветроволновая абразия берегов (ВВАБ) является наиболее изученным процессом переработки берегов, что способствовало созданию ряда методов ее прогноза. Воздействие на берега судовых волн обычно несущественно, но иногда представляет опасность при прохождении фарватера вблизи берегов на водохранилищах с интенсивным судоходством.

19.3. В условиях проектируемых водохранилищ ВВАБ оценивается косвенно с использованием методов, указанных в разд. 2.

19.4. Наблюдения за абразией берегов на существующих водохранилищах при изысканиях сводятся к определению характера абразии и основных прямых ее показателей – величины отступания бровки берегового обрыва и объема размытой породы. При изучении процесса волновой абразии важно охарактеризовать также элементы поперечного профиля размываемого берегового склона (уклоны прибрежной отмели, глубину на бровке этой отмели и др.) и его геолого-литологическое строение, уточнить гидрометеорологический режим прибрежной акватории водохранилища.

19.5. Краткосрочные наблюдения за абразией берегов позволяют оценить современное состояние берегов, уточнить коэффициенты размываемости

и аккумуляции, используемые при прогнозе. В случае проектирования особо ответственных сооружений необходимо выполнение многолетних наблюдений, что дает возможность решить более полно поставленные выше задачи и применить для краткосрочного прогноза абразии берегов методы прямой экстраполяции. Для оценки и прогноза абразии берегов на крупных водохранилищах, как правило, имеется возможность привлечь материалы многолетних стационарных наблюдений, осуществляемых гидрометеорологическими обсерваториями и инженерно-геологическими станциями (экспедициями). Эти материалы можно использовать для ориентировочного краткосрочного прогноза абразии берегов вероятностно-статистическими методами.

19.6. К основным способам изучения волновой абразии берегов относятся: рекогносцировочное обследование берегов, аэрофотосъемка и наземные топогеодезические измерения.

19.7. Рекогносцировочное обследование проводится преимущественно для качественной оценки абразии и заключается в осмотре, описании и фотографировании форм проявления абразии и моментов воздействия волн на берег.

19.8. Большую ценность представляет изучение строения прибрежной отмели, позволяющее восстановить первоначальное положение береговой линии, определить ширину абразионной части прибрежной отмели, а следовательно, и общие размеры отступания берега, приближенно оценить объем размыва берега с момента заполнения водохранилища. Изучение отмели осуществляется путем закладки траншей, а также зондированием и геофизическими методами. Наиболее благоприятным является период предполоводной сработки воды из водохранилища перед самым окончанием ледостава, когда отмель осушается и освобождается от льда в результате его таяния.

19.9. Данные обследования наносятся на карту участка изысканий и служат основанием для типизации береговых склонов по характеру и интенсивности абразии для планирования дальнейших исследований абразии берегов.

В начальный период заполнения водохранилища рекогносцировочные обследования берегов могут производиться не только на отдельных участках, но и по периметру всего водохранилища для уточнения ранее составленного прогноза переработки берегов, для чего целесообразно использовать аэрофотосъемку.

19.10. Аэрофотосъемка применяется для характеристики абразии берегов и для получения линейных и объемных (с меньшей точностью) показателей размыва берегов. Чаще выполняется крупномасштабная аэрофотосъемка (1 : 10 000, 1 : 5 000 и 1 : 3 000). При изысканиях на отдельных участках специальное выполнение аэрофотосъемки обычно нерационально, поэтому следует использовать имеющиеся в различных организациях материалы аэрофотосъемок прошлых лет.

19.11. Наземные топогеодезические измерения (в том числе фототопографическая съемка), осуществляемые преимущественно на стадии проекта, позволяют получить наиболее точные линейные и объемные показатели абразии берегов. Среди них можно выделить топографическую съемку побережья и прибрежной части водохранилища, контурно-высотную съемку надводного берегового склона и измерения профилей береговых склонов.

19.12. При краткосрочных изысканиях рекомендуется проведение одной топографической съемки в начале изысканий. При многолетних изысканиях повторые съемки следует выполнять в одни и те же сезоны года. Границы съемки устанавливаются исходя из ширины возможной зоны активной деформации дна водоема и ожидаемой величины отступания берега за требуемый срок прогноза.

Контурно-высотная съемка участка изысканий, осуществляемая методами тахеометрии, может проводиться по линии бровки берегового уступа и основания уступа или по урезу воды.

На основании съемок строятся карты масштаба 1:500 – 1:10 000. Совмещение разновременных карт дает возможность выявить абразионные участки и определить размеры абразии. Для прибрежной акватории иногда

строятся специальные карты, на которых изолиниями, проводимыми через 0,25–0,5 м, показывают высотные изменения (намыв или размыв) дна.

19.13. Для изучения абразии берегов на стадии проекта чаще всего применяется метод повторных измерений профилей береговых склонов. Для организации этих измерений, а также проведения топографической съемки на побережье разбивается, как правило, вне зоны возможной деформации магистраль и поперечники (створы) по нормали к береговой линии, закрепляемые реперами. Медленный размыв надводного берегового склона по поперечникам можно изучать с помощью стержней (штырей) или реперов, закладываемых в пределах зоны деформации путем периодических замеров их высоты над земной поверхностью. Подобный же метод с закладкой свай или стержней следует рекомендовать для получения точных данных о динамике прибрежной отмели во время штормов в различные фазы их развития. В этом случае стержни, устанавливаемые на отмели, имеют кольца или другие приспособления для фиксации наиболее низкого положения поверхности отмели в любой изучаемый период волнения. Одновременно должны производиться ветроволномерные наблюдения.

Все закладываемые репера, стержни и сваи подвергаются топогеодезической привязке в плане и по высоте.

19.14. Количество поперечников и расстояния между ними обусловливаются протяженностью участка, однородностью геолого-геоморфологических условий и масштабом составляемой прогнозной карты переработки берегов. Кроме того, количество поперечников должно быть достаточным для статистической обработки материалов наблюдений. Расстояние между поперечниками не должно превышать 200–250 м, обычно оно составляет 50–100 м.

Детальность измерений профилей береговых склонов зависит от сложности рельефа и интенсивности абразии. Расстояние между точками промера глубин в пределах прибрежной отмели должно составлять 2–4 м. На внешнем краю отмели промерные вертикали сгущаются. При интервале промеров через 2 м перепад глубин не должен превышать 0,3 м, при интервале в 4 м – 0,5 м. В противном случае промеры производятся в дополнительных точках, расположенных в середине выбранного интервала. Глубины по створам изменяются на расстоянии от берега, определяемом с учетом возможного выдвижения свала отмели за срок прогноза. При отсутствии выраженного свала промеры выполняются до глубины, равной половине расчетной максимальной длины волны. С промерами глубин можно совмещать отбор проб грунта со дна для определения гранулометрического состава.

19.15. Сроки измерений должны быть выбраны с таким расчетом, чтобы осветить результаты действия характерных штормов при различных уровнях воды и суммарный эффект волнений в период форсировки уровня и в течение отдельных безледных сезонов. При кратковременных изысканиях частота таких измерений может быть увеличена для получения достаточного количества данных для статистической обработки. При этом определяемые объемы размытой породы должны увязываться с размерами и мощностью волнения, направлением подхода волн к берегу, что предполагает проведение наблюдений за ветром и волной. При изучении абразии берегов, сложенных трудноразмываемыми породами, количество наблюдений можно уменьшить, поскольку размывающий эффект отдельных волнений слишком мал, чтобы его можно было достаточно точно измерить. Чаще всего при изысканиях ставится более ограниченная задача – определение суммарной величины абразии берега. В этом случае количество повторных измерений профилей сокращается до одного-двух в год.

19.16. В результате совмещения профилей береговых склонов, измеренных в разные сроки по одним и тем же поперечникам, определяются все показатели абразии берегов между сроками. Полученные данные используются для построения графиков размыва берегов во времени с краткосрочной экстраполяцией, а также для составления карт переработки берегов. Для оползневых участков можно построить графики зависимости суммарной величины абразии и оползневого смещения с начала наблюдений нарастающим итогом. При этом объем смещенных масс приводится к линейным

единицам путем деления его на высоту берегового обрыва. По сопоставлению двух кривых получают третью кривую, которая показывает колебания положения берегового обрыва в зависимости от соотношения между процессами абразии и оползания.

19.17. Методика наземных топогеодезических измерений, включая промеры глубин, должна соответствовать требованиям действующих инструкций Главного управления геодезии и картографии (ГУГК) при Совете Министров СССР. Освещена она также в работах [12, 18, 21].

19.18. Специальное изучение воздействия на берег судовых волн в процессе изысканий необходимо крайне редко. Оценка размыва может быть сделана косвенно – на основании подсчета суммарной энергии судовых волн и использования энергетических методов прогноза абразии берегов (см. разд. 2). Для уточнения расчетов суммарной энергии судовых волн следует провести кратковременные измерения элементов волн от судов различного типа непосредственно на участке изысканий. Методика этих наблюдений рассмотрена в разд. 5.

20. ТЕРМОАБРАЗИЯ

20.1. При проектировании и эксплуатации водохранилищ в условиях многолетней мерзлоты усложняются изыскания, необходимые для прогноза переработки берегов. Это связано с тем, что мерзлые породы имеют специфические физико-механические и теплофизические свойства и являются термически неустойчивыми в отличии от их аналогов вне криолитозоны.

На таких водохранилищах в переработке берегов участвуют наряду с другими процессами также тепловые, приводящие к отступанию берега даже на тех участках, где отсутствует, например, воздействие волн и течений. Из-за большой льдистости пород, слагающих берег, возникают просадки, а при повышении предельных уклонов поверхности берегового склона под водой порода переходит в текучее состояние.

20.2. Термоабразионная переработка характерна в основном для берегов в дисперсных породах и происходит в результате одновременного теплового и механического воздействия на них водных масс. Переработка берегов в скальных мерзлых породах развивается практически по тем же законам, что и на водохранилищах вне криолитозоны.

20.3. Характер и интенсивность термоабразии зависит, помимо обычных инженерно-геологических и гидрометеорологических факторов, перечисленных в п. 1.4, от льдистости пород, криогенной текстуры, от температуры, засоленности и теплопроводности пород, глубины их сезонного промерзания и оттаивания, от толщины и плотности снежного покрова, распределения температуры в толще воды в течение всего годового цикла, а также от толщины и скорости нарастания ледяного покрова на акватории. Заметную роль в переработке берегов играет уровенный режим водохранилища в период ледостава, так как оттаивание дна и прибрежной отмели, бровка которой находится ниже уровня зимней сработки воды из водоема, может привести к просадкам и подводным оползням даже зимой.

В теплый сезон обнажение береговых откосов при термоабразии обусловливает интенсивное оттаивание, а переменное промерзание и оттаивание увеличивает дисперсность мерзлых пород, что способствует размыву берегов волнами.

Термоабразия интенсивнее в первые годы существования водохранилища. В дальнейшем она замедляется, так как увеличение толщины слоя талых пород и наносов в прибрежной части водоема уменьшает скорость протаивания, а следовательно, и осадку здесь дна.

20.4. Мерзлое состояние пород влияет на переработку берегов, когда их льдистость превышает пористость в талом состоянии, тогда породы при оттаивании дают осадку. В других условиях оттаивание многолетнемерзлых пород опережает их размыв, и специфика криолитозоны может проявляться в солифлюкционных подвижках переувлажненных или пылеватых пород береговых склонов, а при вытаивании крупных ледяных тел – в образовании оползней.

20.5. При хозяйственном освоении прибрежных территорий изменение микрорельефа, уничтожение растительности и нарушение или полное удаление дернового или мохового покрова приводит к увеличению глубины сезонного протаивания, к искусственному образованию микропонижений, притоку в них надмерзлотных и поверхностных вод с прилегающих участков и к образованию промоин и оврагов. В овраги превращаются и термокарстовые ложбины, если туда стекают поверхностные воды.

20.6. Во время изысканий на стадии схемы для прогноза переработки берегов в районах развития многолетнемерзлых пород необходимо тщательное изучение публикаций, материалов топографических, геологических, мерзлотных, аэрофото- и космических съемок по району изысканий, результатов изысканий по другим водохранилищам, которые могут служить аналогами. Материалы аэро- и космосъемок (особенно инфрахроматических, спектро- и многозональных) позволяют выделить по наличию полигональных форм и ряду и других дешифровочных признаков участки распространения высокольдистых пород, где вероятно наибольшее отступание берегов. Информацию о скорости отступания термоабразионных берегов можно получить, использовав повторные инфрахроматические съемки.

На основании собранных материалов составляется предварительная карта типов берегов по району изысканий, которая корректируется по результатам рекогносцировочного обследования территории и изучения опорных участков; на нее наносятся впоследствии результаты ориентировочного прогноза переработки берегов.

20.7. Изыскания на стадии проекта и рабочей документации должны включать мерзлотную съемку и ряд дополнительных наблюдений, направленных на выявление специфики переработки берегов в многолетнемерзлых породах. В процессе изысканий должны быть получены следующие данные:

многолетние сведения о средних суточных температурах воздуха у земной поверхности и воды на разных глубинах, толщине и плотности снежного покрова, толщине и скорости нарастания льда в прибрежной акватории;

возраст и температура многолетнемерзлых пород и характер ее распределения до глубины порядка 15 км (где не сказываются годовые колебания температуры), криотекстура, льдистость, наличие жил и линз льда и характер их залегания, глубина сезонного промерзания и оттаивания;

показатели теплофизических и физико-механических свойств пород в талом и мерзлом состоянии (теплопроводность, объемная теплоемкость, сцепление, плотность, влажность или льдистость, угол внутреннего трения, просадочность и др.);

гидрогеологические сведения – наличие таликов и внутримерзлотных грунтовых вод, их засоленность;

сведения о растительности и степени задернованности прибрежных территорий, о возможности появления в водоеме сплавин торфа, затормаживающих оттаивание и размыв берегов волнами.

20.8. Существующие расчетные методы прогноза термоабразии дают лишь приближенные или частные решения задачи. Поэтому в каждом конкретном случае в процессе изысканий должен быть получен материал, достаточный для создания достоверной модели переработки мерзлых берегов, дающей возможность уточнить имеющиеся расчетные методы. С этой целью в сложных случаях для ответственных объектов необходимо предусматривать проведение дополнительных лабораторных и натурных опытов по моделированию термоабразионных и других опасных процессов, участвующих в переработке берегов, сложенных многолетнемерзлыми породами.

21. ДВИЖЕНИЕ И ОТЛОЖЕНИЕ НАНОСОВ

21.1. На водохранилищах в зонах постоянного подпора наносы перемещаются вбилизи берега главным образом ветровыми волнами и ветроволновыми течениями. Характер и интенсивность перемещения прибрежных наносов и их количество зависят от активности и направления действия ветроволновых процессов, от состава и количества поступающего с побережья

твердого материала, формы и размеров прибрежной отмели, конфигурации береговой линии, и уровенного режима водохранилища.

21.2. Движение наносов происходит во взвешенном состоянии, скачкообразно или путем влечения по дну. Мелкие (диаметром обычно менее 0,05 мм) и легкие частицы, переходящие при волнении во взвесь, в основном выносятся в открытую часть водоема и не участвуют в построении аккумулятивной части прибрежной отмели и береговых аккумулятивных форм. Крупные (как правило, диаметром более 0,5 мм) и тяжелые частицы также почти не откладываются на свале отмели. Они концентрируются на пляже и перемещаются по нему скачкообразно или путем влечения под действием прибойного потока. Двигаясь вдоль берега, они накапливаются в виде кос и пересыпей в устьях заливов, в вогнутых отрезках береговой линии, а иногда на мысах.

21.3. По способности пород к образованию наносов их можно разделить на песчаные (наиболее наносообразующие), скальные (занимающие промежуточное положение) и глинистые (наносообразующая способность их минимальна).

По степени подвижности наносов в прибрежной полосе водохранилища выделяются три зоны. Первая зона органичивается со стороны водоема глубиной, равной половине средней длины волн, а со стороны берега критической глубиной, равной удвоенной средней высоте волн. В этой зоне отмечается незначительное перемещение наносов с образованием ряби. Ближе к берегу располагается вторая зона, ограничиваемая со стороны берега глубиной последнего обрушения волн, а непосредственно с берегом контактирует третья зона. В последних двух зонах во время волнения происходит массовое перемещение наносов.

21.4. Наиболее благоприятные условия для поступления наносов на свал прибрежной отмели возникают при нормальном подходе волн к берегу. Косой подход волн к берегу способствует вдольбереговому перемещению наносов. По результатам различных исследований установлено, что угол подхода волн (угол между направлением движения волн и линией берега), при котором отмечается наиболее интенсивное движение наносов вдоль берега, составляет $35-50^{\circ}$.

21.5. Берега водохранилищ в плане принято разделять на элементарные участки, характеризуемые единой прибрежной отмелью, по которой происходит миграция наносов и в пределах которой формируется единый поток наносов. Здесь и далее в тексте под потоком наносов понимается массовое итоговое однонаправленное перемещение наносов вдоль берега в течение длительного времени (не менее одного года), а под миграцией наносов – местные и кратковременные подвижки наносов вдоль берега в том или ином направлении. Границами таких участков служат не отчлененные от водохранилища заливы, устья рек, выступающие в водоем берега (мысы) и искусственные преграды для движения наносов вдоль берега.

21.6. В границах участка выделяются три зоны: дефицита, транзита и аккумуляции прибрежных наносов. Зона дефицита приурочена к началу потока наносов и характеризуется пониженной аккумуляцией наносов на свале прибрежной отмели. Зона транзита наносов, как правило, располагается вдоль прямолинейных или малой кривизны отрезков берега и имеет наибольшую протяженность внутри участка. Здесь отмечается, по сравнению с зоной дефицита, увеличение аккумуляции наносов на свале прибрежной отмели. Зона аккумуляции находится на конце потока наносов. Для нее характерно образование береговых аккумулятивных форм (широких пляжей, кос), слабые темпы или отсутствие размыва берега и формирование прибрежных отмелей преимущественно аккумулятивного происхождения.

21.7. В начальный период после наполнения водохранилища прибрежные отмели, как правило, узкие и крутые. Береговая линия имеет повышенную изрезанность, что ограничивает протяженность потоков наносов. Часто в таких условиях наблюдается большее перемещение наносов вдоль берега и накопление их в заливах и меньшее отложение наносов на свале прибрежной отмели. По мере отчленения заливов формируются более длинные потоки наносов, но вдольбереговая составляющая потока энергии волн уменьшается вследствие рефракции волн за счет расширения и выполаживания прибреж-

ных отмелей, что способствует относительному увеличению выноса наносов на свал отмели.

21.8. У абразионных берегов, сложенных глинистыми или скальными породами, отмеченная выше закономерность выражена меньше или вовсе отсутствует. Здесь с расширением и выполаживанием прибрежной отмели создаются все более благоприятные условия для разрушения поступающего в водоем твердого материала до отдельных мельчайших частиц, которые во взвешенном состоянии выносятся за пределы прибрежной отмели. Относительно большая аккумуляция наносов на свале отмели возможна в начале эксплуатации водохранилища, когда там могут накапливаться агрегаты из нескольких частиц, которые, перемещаясь по узкой и крутой отмели, не успели разрушиться до мельчайших частиц и перейти во взвесь.

21.9. На многих водохранилищах динамика прибрежных наносов и образование береговых аккумулятивных форм осложняются также влиянием талых вод, которые, стекая с побережья в период весенней сработки воды из водохранилища, размывают пересыпи и прибрежные отмели. В результате этого в безледное время часть наносов, перемещаемых вдоль берега, расходуется на заполнение весенних промоин.

21.10. В верховьях водохранилищ существенное влияние на движение наносов в прибрежной полосе оказывают стоковые течения. У эрозионных берегов они ограничиваются, а иногда и исключают полностью накопление наносов, перемещая их вниз по руслу.

Движение и накопление прибрежных наносов в водохранилищах заметно отражается на переработке берегов, а иногда полностью определяет направленность развития берега. При этом речь идет о наиболее крупных наносах, остающихся в прибрежной зоне. Дальше в разделе рассматривается изучение динамики только этих наносов.

21.11. Весьма существенная роль прибрежных наносов в развитии ветроволновой абразии берегов (ВВАБ). Откладываемые на свале прибрежной отмели наносы образуют ее внешнюю аккумулятивную часть, которая первой испытывает воздействие подходящих к берегу ветровых волн. Берегозащитное значение аккумулятивной части отмели усиливается в периоды снижения уровня воды.

21.12. В качестве основной характеристики прибрежной аккумуляции наносов, учитываемой при построении прогнозного профиля берегового склона, служит коэффициент аккумуляции, который определяется отношением объема отложенных в отмели наносов к объему размыва берега. Более правильным является использование отношения не объемов, а масс. В отдельных случаях при расчетах коэффициента аккумуляции следует учитывать растворимость породы, исключая из объема или массы размываемой породы легкорастворимые соли.

21.13. Существуют методы косвенного определения коэффициента аккумуляции, приведенные ниже.

Метод Кондратьева [9]. $k_a = 1 - k_{0,05}$, где $k_{0,05}$ – доля частиц диаметром менее 0,05 мм в составе размываемых пород.

Метод Иконникова [7]. В нижних и средних зонах водохранилищ:

а) при коротком вдольбереговом потоке наносов $k_a = (1 - \mathcal{M}_B - \mathcal{M}_S) E_p / E$, где $\mathcal{M}_B$ и $\mathcal{M}_S$ – доля частиц диаметром соответственно более 0,5 и менее 0,05 мм в составе размываемых пород; E и E_p – соответственно вся суммарная энергия волн, подходящих к отмели, и нормальная ее составляющая;

б) при длинном вдольбереговом потоке наносов в зоне их дефицита $k_a = (1 - \mathcal{M}_B - \mathcal{M}_S) 2E_p / E + E_p + E_l$, где E_l – суммарная энергия волн, определяющая вдольбереговой поток наносов;

в) при длинном вдольбереговом потоке наносов в зоне их транзита

$$k_a = (1 - \mathcal{M}_B - \mathcal{M}_S) E_p / E_p + E_l .$$

В верхней зоне водохранилищ для верхнего и среднего районов при расположении берега вблизи основного русла реки $k_a = 0$; для нижнего района в случае расположения берега в непосредственной близости от основного русла реки в указанные выше формулы дополнительно вводится коэффициент, представляющий отношение удаленности изучаемого берега от верхней границы района ко всей длине последнего.

Метод Золотарева [4]. Коэффициент аккумуляции определяется в зависимости от состава размываемых пород. При этом предполагается, что у берега остаются частицы крупнее 0,25 мм и 25% частиц диаметром 0,1–0,25 мм.

Значение коэффициента уточняется с использованием метода анализа обстановки и метода аналогии. При этом принимается во внимание величина наносодвижущих сил, действующих вдоль берега в обоих направлениях при разных условиях водохранилища [9]; микрорельеф подводной части склона и характер изрезанности береговой линии; наличие источников питания наносов и стадия формирования отмели.

Метод Пышкина [17]. Коэффициент аккумуляции определяется по графику в зависимости от расчетной высоты волны и литологического состава пород (глины, песка, гальки). Для отмелых выровненных в плане берегов коэффициент следует уменьшать в 1,5 раза, а на мысах $k_a = 0$.

21.14. Кроме коэффициента аккумуляции для прогноза переработки берегов в условиях проектируемых и существующих водохранилищ бывает необходимо получить следующие данные: сведения об источниках и составе наносов, преобладающем направлении перемещения наносов вдоль берега, местоположения зон дефицита, транзита и аккумуляции наносов; толщину активного (подвижного) слоя наносов, скорость движения и расход наносов, перемещаемых вдоль берега при различных гидрометеорологических ситуациях; годовое количество наносов, перемещаемых в том и другом направлении вдоль берега.

21.15. Полевые изыскания на проектируемых водохранилищах для получения указанных выше данных проводятся в минимальном объеме и носят характер рекогносцировки. В процессе обследования береговой зоны будущего водохранилища определяются источники поступления твердого материала в водохранилище, гранулометрический состав и плотность этого материала, уточняются детали первоначального контура береговой линии, характер затопляемой поверхности берегового склона и его возможное влияние на аккумуляцию наносов, места будущего накопления наносов.

21.16. Все количественные показатели динамики прибрежных наносов получают расчетным путем. Способы расчета коэффициента аккумуляции и требуемые для этого исходные данные рассмотрены в п. 21.13. Для определения годового количества, перемещаемых вдоль берега наносов можно использовать формулы работы [11]. Для этого необходимы сведения о ветровом режиме за безледный сезон, о рельефе в прибрежной зоне по топографической карте, данные о гранулометрическом составе и плотности пород берега. Для приблизительных расчетов относительного количества наносов, переносимых во время волнения вдоль берега, можно воспользоваться гидрометеорологическими методами [21]. В этом случае необходимы материалы о ветровом режиме за безледное время и батиметрическая карта будущего водохранилища. Общее представление о преобладающем перемещении наносов вдоль берега дает анализ волновых равнодействующих (по данным о ветре) для отдельных отрезков береговой линии [21].

Результаты полевых изысканий и расчетов динамики прибрежных наносов используются для составления морфодинамических карт-схем, где показываются направления потоков наносов, ветроволновые характеристики вдольберегового потока энергии волн, предполагаемые места скопления наносов и очертания аккумулятивных форм.

21.17. Расчетные методы оценки динамики прибрежных наносов применяют на существующих водохранилищах при невозможности проведения детальных изысканий. Учитывая невысокую точность расчетных методов, на эксплуатируемых водохранилищах при обосновании особо ответственных сооружений рекомендуется проводить натурные наблюдения. Длительные комплексные наблюдения позволяют обойтись без использования расчетных методов. Чаще ограничиваются кратковременными наиболее простыми наблюдениями и на основе полученных результатов уточняют расчетные значения.

21.18. Для изысканий выбирают участки берега, ограниченные заливами или другими формами, перехватывающими вдольбереговые потоки нано-

сов. Изыскания следует начинать с анализа имеющихся материалов и осмотра изучаемого участка. В результате выясняются важнейшие качественные характеристики прибрежных наносов и их динамики. В частности, геоморфологический анализ береговых аккумулятивных форм позволяет установить состав наносов и направление преобладающего их перемещения вдоль берега, приближенно оценить количество наносов, перемещаемых вдоль берега в обоих направлениях. На основании этих данных уточняют задачи и способы более подробного изучения движения прибрежных наносов.

21.19. В практике изысканий для количественной оценки движения и отложения наносов в прибрежной зоне обычно применяются топогеодезические методы (периодические топографические съемки прибрежной акватории и береговых аккумулятивных форм и частые измерения профилей прибрежной зоны по поперечным створам. Большие возможности открывает использование периодических аэрофотосъемок, с помощью которых устанавливают направление, протяженность, а иногда и другие количественные показатели потоков наносов.

21.20. Методика топогеодезических измерений и аэрофотосъемки, а также способы обработки полученных материалов подробно изложены в работах [18, 21], частично они отражены в разд. 19 Рекомендаций. Сроки выполнения полевых измерений следует приурочивать к началу и к концу отдельных волнений, а также всего безледного сезона.

21.21. По результатам совмещения профилей прибрежной отмели и с учетом расстояний между соседними створами рассчитывают сначала частные объемы размыва и намыва, а затем и суммарное количество перемещенных и отложенных наносов в конце участка. Указанные расчеты требуют знания направления преобладающего движения наносов между сроками промеров глубин. С этой целью проводятся расчеты наносодвижущей силы волнения и ее направления по данным наблюдений за ветром и волной [21].

Сравнение материалов повторных топографических съемок дает возможность произвести аналогичные расчеты количества перемещенных и отложенных у берега наносов, причем получить более точные результаты.

Для непосредственного определения расхода вдольберегового потока наносов достаточно измерить объем скопившегося за тот или иной период твердого материала в месте его полной аккумуляции: в неотчлененных заливах, ограничивающих изучаемый участок, и специально создаваемых прорезях или у опытных бун. Использование бун целесообразно лишь при изучении динамики галечных наносов, перемещаемых в приурезовой зоне.

21.22. При необходимости более детального изучения механизма и путей движения прибрежных наносов, установления связи расхода наносов с различными фазами ветрового волнения или отдельными шторами могут применяться более трудоемкие и сложные методы, описание которых дается в работе [21].

Для измерения толщины активного слоя наносов на прибрежной отмели по поперечному к береговой линии направлению за любой срок используются: в галечных наносах – рейки Жданова, в песчаных наносах – штыри с кольцами.

Среднюю и максимальную скорость, пути и зоны с различной интенсивностью вдольберегового перемещения галечных наносов определяют с помощью окрашенных галек или галек аналогичного гранулометрического состава и веса, но имеющих другую природную окраску, а песчаных наносов – с помощью песка, меченного люминофорами.

Для измерения элементарных расходов донных наносов в отдельных точках применяются наносоуловители [18].

21.23. По результатам измерений в отдельных точках толщины активного слоя наносов можно определить площадь поперечного сечения подвижной зоны. Зная, кроме того, среднюю скорость перемещения наносов, можно вычислить расход и общее количество перемещаемых наносов через тот или иной створ за время отдельного волнения и подсчитать баланс прибрежных наносов для изучаемого участка. Если же иметь такого рода данные для всего диапазона (по высоте и направлению) волнений, действующих в данном районе, то можно при наличии ежедневных сведений о ветре или вол-

нении рассчитать количество перемещаемых наносов за любой период времени и определить расход вдольберегового потока наносов. Расчет производится с использованием графической зависимости измеренных величин расхода наносов от наносодвижущего ветроволноэнергетического показателя, значения которого получены расчетным путем. Наиболее точные результаты, применяя упомянутые выше способы, получают при организации систематических наблюдений за прибрежными наносами в течение всего безледного сезона.

21.24. Состав наносов и их плотность устанавливаются на основании отобранных проб и последующего их лабораторного исследования. Отбор проб производится дночерпателями, стругами и грунтовыми трубками. Пробы отбираются с эстакад, причалов, подвесных дорог, специальных плавсредств или вброд. Подробность отбора донных проб регламентируется рельефом дна, однородностью состава наносов, требуемой детальностью и техническими возможностями. Наиболее полные данные о составе и свойствах прибрежных наносов можно получить путем бурения или закладки шурфов и траншей в аккумулятивных формах в моменты предвесенней сработки воды из водохранилища.

21.25. Детальное изучение динамики прибрежных наносов предполагает в обязательном порядке проведение параллельных наблюдений за гидродинамическими процессами в прибрежной зоне, наблюдения за ветром и волной, измерение ветроволновых течений и уровня воды. Наиболее полно, вне зависимости от погодных условий, весь комплекс наблюдений осуществляется со сквозных эстакад.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бабушкин В.Д., Плотников Н.И., Чуйко В.М.** Методы изучения фильтрационных свойств неоднородных пород. – М.: Недра, 1974. – 208 с.
2. **Васильев А.В., Шмидт С.В.** Водно-технические изыскания. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 367 с.
3. **Епишин В.К., Экзарьян В.Н.** Прогноз процесса формирования берегов водохранилищ. – М.: Энергия, 1979. – 113 с.
4. **Золотарев Г.С.** Некоторые итоги изучения переработки берегов Куйбышевского и Рыбинского водохранилищ: Информ. сообщение № 1. – М: МГУ, 1958. – 23 с.
5. **Золотарев Г.С.** Современные задачи инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания. – В кн.: Вопросы инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания. – М.: МГУ, 1971, с. 4–25.
6. **Изучение** режима оползневых процессов. – М.: Недра, 1982. – 255 с.
7. **Иконников Л.Б.** Динамика берегов в нижних бьефах гидроузлов. – М.: Наука, 1981. – 76 с.
8 **Качугин Е.Г.** Инженерно-геологические исследования и прогнозы переработки берегов водохранилищ. – В кн.: Рекомендации по изучению переработки берегов водохранилищ. – М.: Госгеолтехиздат, 1959, с. 3–89.
9. **Кондратьев Н.Е., Григорьева О.Г.** Прогноз береговых деформаций на водохранилищах. – В кн.: Рекомендации по размещению и проектированию рассеивающих выпусков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1981, с. 64–72, 192–215.
10. **Коноплянцев А.А., Семенов С.М.** Прогноз и картирование режима грунтовых вод. – М.: Недра, 1974. – 214 с.
11. **Максимчук В.Л.** Рациональное использование и охрана берегов водохранилищ. – Киев; Будівельник, 1981. – 112 с.
12. **Наставление** гидрологическим станциям и постам. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973, вып. 7, ч. 1. – 476 с.
13. **Применение** геоморфологических методов в структурно-геологических исследованиях. – М.: Недра, 1970. – 296 с.

14. Принципы размещения сети гидрогеологических наблюдательных пунктов в естественных и нарушенных условиях (рекомендации). – М.: Недра, 1974. – 87 с.

15. Проблемы инженерной геологии ГАЭС и водохранилищ с нестационарным режимом / Под ред. Г.С.Золотарева. – М.: МГУ, 1983. – 266 с.

16. Пуляевский Г.М., Пинегин А.В., Некрасов В.Л. Формирование берегов водохранилищ. – В кн.: Усть-Илимское водохранилище. Подземные воды и инженерная геология территории. – Новосибирск: Наука, 1975, с. 154–175.

17. Пышкин Б.А. Динамика берегов водохранилищ. – Киев: Наукова думка, 1973. – 413 с.

18. Рекомендации по размещению и проектированию рассеивающих выпусков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1981. – 224 с.

19. Розовский Л.Б., Воскобойников В.М., Крыжановская И.Н. Вопросы теории геологического подобия и применения натурных моделей: Альбом аналогов для прогноза переработки лессовых берегов. – Тр. Одесского Гос. ун-та, 1962, т. 152, вып. 2. – 108 с.

20. Руководство по гидрологическим исследованиям в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях. – М.: Гидрометеоиздат, 1972. – 396 с.

21. Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях. – М.: Гидрометеоиздат, 1975. – 239 с.

22. Чернышев С.Н. Трещиноватость горных пород и ее влияние на устойчивость откосов. – М.: Недра, 1984. – 111 с.

23. Рекомендации по составлению карт прогноза переработки берегов водохранилищ / ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1985. – 40 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
1. Общие положения 4
2. Краткая характеристика методов прогноза переработки берегов 8
Инженерно-гидрометеорологические изыскания 11
3. Метеорологические условия 11
4. Уровенный режим 13
5. Волнение 14
6. Течения 16
7. Ледовые явления 18
Инженерно-геологические изыскания 20
8. Геологическое строение, тектоника и трещиноватость пород . . 20
9. Неотектоника, рельеф и история формирования береговых склонов 22
10. Гидрогеологические условия и режим подземных вод 24
11. Свойства пород 26
Особенности изучения процессов переработки берегов 28
12. Выветривание, осыпание и обвалообразование 28
13. Оползни 32
14. Суффозия 33
15. Карст 38
16. Овражная эрозия 40
17. Плоскостная эрозия 42
18. Русловая эрозия 44
19. Волновая абразия 46
20. Термоабразия 49
21. Движение и отложение наносов 50
Список литературы 55

Нормативно-производственное издание

ПНИИИС Госстроя СССР

Рекомендации
по инженерным изысканиям для прогноза
переработки берегов водохранилищ

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией Л. Г. Бальян
Редактор Э. И. Федотова
Мл.редактор Е. М. Новикова
Технический редактор Н. Н. Аксенова
Корректор Н.С. Сафронова
Оператор С.А. Савченко
Н/К

Подписано в печать 11.10.86 г. Т – 18456
Формат 84x108 1/32 Бумага офсетная № 2 Печать офсетная
Усл. печ.л. 2,94 Усл.кр.-отт. 3,25 Уч.-изд.л. 5,75
Тираж 5000 экз. Изд. № ХП–1396 Зак. № 2147
Цена 30 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Московская типография № 4 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР по делам
издательств, полиграфии и книжной торговли
129041, Москва, Б. Переяславская ул., 46

gost.e-ecolog.ru