

На правах рукописи

ЕСКИН Александр Юрьевич

**ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И
УСТОЙЧИВОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ ИРКУТСКОЙ ГЭС**

Специальность 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

ИРКУТСК - 2010 г.

Работа выполнена в лаборатории общей и региональной сейсмологии Института
земной коры СО РАН

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук
Джурик Василий Ионович

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор Имаев Валерий Сулейманович
кандидат геолого-минералогических наук,
Мироманов Андрей Викторович

Ведущая организация: Геологический институт БНЦ СО РАН
(г. Улан-Удэ)

Защита состоится « ____ » марта 2010 г. в « 9⁰⁰ » часов на заседании Диссертационного совета Д 003.022.02 при Институте земной коры СО РАН, по адресу: 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Иркутского научного центра СО РАН в здании Института земной коры СО РАН.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по указанному адресу ученому секретарю совета кандидату геол.-мин. наук Юрию Витальевичу Меньшагину, e-mail: men@crust.irk.ru

Автореферат разослан « ____ » февраля 2010 г.

Ученый секретарь диссертационного Совета,
кандидат геолого-минералогических наук

Ю.В. Меньшагин

Введение

Актуальность проблемы. Оценка безопасности гидротехнического сооружения – определение соответствия состояния гидротехнического сооружения нормам и правилам, утвержденным в порядке, определенном Федеральным законом. Насколько это важно показала авария на Саяно-Шушенской ГЭС (17 августа 2009 г).

Задачи безопасности, наряду с гидрогеологией и инженерной геологией с элементами экологии, для гидротехнических сооружений возможно с успехом решать комплексом геофизических методов, благодаря многообразию используемых параметров геофизических полей и возможности их мониторинга. Результаты измерений могут быть доведены до количественных параметров, характеризующих водно-физические свойства земляных плотин. Тем самым осуществляется переход от косвенных к прямым геофизическим методам при оценке фильтрационной устойчивости земляных плотин гидротехнических сооружений. В этом отношении и заключается актуальность работы, которую можно считать началом исследований по геофизическому мониторингу на Иркутской ГЭС. Мониторинг обязан повысить детальность исследований и их достоверность, обеспечить получение информации оперативно в реальное время с целью своевременного принятия необходимых решений. В то же время полученные методические разработки по геофизическому мониторингу могут использоваться для оценки состояния и фильтрационной устойчивости других гидротехнических сооружений.

Цель работы – геофизическая оценка устойчивости гидротехнических сооружений для обеспечения экологической безопасности крупных техногенных объектов. Работа посвящена вопросам использования методов современной инженерной геофизики для всестороннего изучения состояния насыпной плотины Иркутской ГЭС, ее ядра и основания.

Основные задачи исследований:

1. Обоснование выбора инструментальных методов и методика геофизических измерений на грунтовых плотинах Иркутской ГЭС.
2. Измерение скоростей продольных и поперечных волн и удельного электрического сопротивления по выбранным профилям до глубины 20 – 40 м.
3. Оценка физического состояния и выявление неоднородностей земляной плотины по данным геофизических измерений.
4. Экспериментальное изучение возможностей выделения ядра плотины и его неоднородностей по глубине геофизическими методами.
5. Проведение режимных сейсморазведочных (КМПВ), электроразведочных (ВЭЗ, ЕП) и каротажных измерений на участках островной и русловой плотин.
6. Изучение динамики физического состояния ослабленных зон насыпной плотины Иркутской ГЭС.

Личный вклад и фактический материал. Исходными материалами в работе послужили инженерно-геофизические изыскания на грунтовых плотинах Иркутской ГЭС, проведенные лабораторией общей и инженерной сейсмологии ИЗК СО РАН в 1993-1995 гг. и 2002-2007 гг. Автор лично принимал участие в этих исследованиях, как на стадии измерений, так и на стадии интерпретации полученных геофизических параметров. Были выполнены следующие виды работ: сейсморазведка методом преломленных волн, сейсмокартаж, радиометрические, температурные и электрометрические измерения в скважинах, а также электроразвед-

ка методами вертикального электрического зондирования и естественного потенциала. Получен очень большой фактический материал, свыше 12000 точек наблюдений.

Защищаемые положения:

1. Выбранный комплекс инструментальных методов и методика геофизических измерений позволяют оценить физическое состояние и степень неоднородности по геофизическим измерениям земляной плотины и суглинистого ядра Иркутской ГЭС.

2. Выявлены относительно высокие аномалии по данным ЕП и их активизация на участках сопряжений суглинистого ядра с примыкающими элементами плотины. Общий фон фильтрационного поля в пределах обследованной части характеризуется наличием многих сосредоточенных потоков.

3. В теле земляной плотины, под воздействием природных и техногенных факторов происходят процессы, вызывающие флуктуации геофизических параметров. Русловая и островная плотины различаются по их значениям, и фильтрационные параметры русловой плотины требуют постоянного контроля.

4. Согласно режимным измерениям за инструментальный период, установлена относительная стабильность электрических и упругих параметров островной и русловой плотин.

Научная новизна работы определяется ее направленностью на развитие комплексного подхода к решению гидрогеологических задач насыпных плотин геофизическими методами. Впервые на Иркутской ГЭС проведено определение физических свойств горных пород, слагающих насыпные плотины, как источника геофизических полей. Одни и те же физические поля могут соответствовать различным горным породам и, в связи с этим, важно было изучить не отдельные физические свойства горных пород, а в их совокупности комплексом методов.

Впервые выявлены вариации упругих и электрических параметров насыпных грунтов земляной плотины и суглинистого ядра и дана оценка их неоднородности по каждому измеренному геофизическому параметру. На этой основе выделены «ослабленные» участки.

Построены двумерные модели геофизических параметров насыпной плотины и суглинистого ядра.

Предложен и обоснован, для режимных измерений, комплекс геофизических методов. Он позволил получить данные для всестороннего анализа поведения отдельных геофизических параметров в зависимости от конкретных физико-механических свойств и происходящих в плотине процессов во времени (динамике). Показано, что выбранные для проведения режимных измерений геофизические параметры реагируют на изменение фильтрационных и физических свойств насыпной плотины, поэтому они могут служить косвенными их индикаторами.

Практическая значимость. Предложенная методика может быть широко использована при изучении искусственных сооружений, таких как земляные плотины, автомобильные и железнодорожные насыпи, с целью контроля за устойчивостью и состоянием свойств грунтов объектов изучения, а также оценки их фильтрационных свойств в процессе эксплуатации. Полученные сведения о характере электрических и упругих параметров насыпной плотины, её фильтрационных особенностях могут быть включены в базу данных для использования другими исследователями.

Апробация работы и публикации. Основные результаты и отдельные методические разработки диссертации докладывались на Всероссийском совещании по подземным водам Востока России (Красноярск, 2003 г.), Всероссийском совещании «Напряженное состояние литосферы, ее деформация и сейсмичность» (Иркутск, 2003 г.), Всероссийской конференции «Город прошлое – настоящее – будущее» (Иркутск 2004 г.), V Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию с международным участием (Москва, 2004 г.), VI российско-монгольской конференции по астрономии и геофизике «Современная геодинамика и опасные природные процессы в центральной Азии» (Иркутск, 2006 г.), XVIII Всероссийском совещании по подземным водам Сибири и Дальнего Востока (Иркутск, 2006 г).

По теме диссертации опубликовано 24 работы, 3 из них в рецензируемых научных журналах.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из пяти глав, введения и заключения общим объёмом 185 стр. машинописного текста, 11 таблиц, 63 рисунков, библиографии 133 наименований.

Автор выражает искреннюю благодарность и признательность своему научному руководителю доктору геолого-минералогических наук В.И. Джурику за оказанную помощь и поддержку при выполнении диссертационной работы. Автор признателен и благодарит кандидатов наук С.П. Серебrenникова, А.Д. Басова, В.И. Юшкина, сотрудников лаборатории общей и инженерной сейсмологии В.С. Баскакова, Л.А. Усынина за консультации и практическую помощь на разных стадиях работы, а также начальника гидроцеха Иркутской ГЭС В.А. Эделева, сотрудников цеха К.Ф. Токарева, Л.И. Карцеву, оказавших неоценимую помощь в проведении натурных наблюдений.

ГЛАВА I. Историческая справка, инженерно-геологические условия строительства ГЭС и особенности конструкции сооружения.

Первая глава работы состоит из трёх частей, в которых последовательно изложены история изучения вопросов об использовании энергоресурсов р. Ангары, инженерно-геологические условия строительства ГЭС, конструктивные особенности гидротехнического сооружения.

Изучение вопросов, связанных с проблемой использования энергоресурсов р. Ангары, начато в 1926 году, когда были выделены небольшие ассигнования Ангарскому бюро Гидровода. В 1931 году организуется Бюро Ангары при тресте Гидроэлекропроект (позже этот трест стал называться широко известным ныне институтом Гидропроект). Геологические изыскания под Иркутский гидроузел курировали известные специалисты И.В. Попов, Н.И. Соколов, Е.В. Милановский, Г.Ф. Мирчинк (1932 – 1935 гг.). В декабре 1956 г заработал первый агрегат Иркутской гидроэлектростанции, а в 1959 г открылось постоянное движение городских автобусов по плотине.

Плотина Иркутской ГЭС (рис. 1) расположена на р. Ангаре в 60 км от её истока из озера Байкал. Практически она находится в черте г. Иркутска.

В геологическом строении района плотины Иркутской ГЭС принимают участие породы угленосно-терригенной формации юрского возраста, представленные чередованием пачек

песчаников различной крупности, местами гравелистыми, и алевролитов с подчинёнными им прослоями мелкозернистых песчаников и линз глин.



Рис. 1. Правобережная плотина Иркутской ГЭС.

В состав Иркутского гидроэнергетического узла входят бетонная плотина, совмещённая со зданием ГЭС с водосборным устройством, и две грунтовые плотины – левобережная и правобережная. Левобережная плотина осуществляет сопряжение основных бетонных сооружений с левым берегом и перекрывает одну из протоков поймы. Длина по гребню составляет 352 м (ПК 7+10 – 10+62), минимальная ширина по гребню 59 м, максимальная высота – 38 м. Бетонная плотина – здание ГЭС: длина – 241,3 м (ПК10+62 – 13+02), ширина по береговым устоям – 104 м, по фундаментной плите 77 м, по кровельному перекрытию 60,6 м, отметка основания 408 м, отметка поверхности кровли 464 м, общая высота – 56 м. Сейсмичность с 1995 года – 9 баллов. Правобережная грунтовая плотина: общая длина по гребню – 2148 м (ПК13+02 – 34+50), ширина по гребню – 66 м, максимальная высота (в районе основного русла реки Ангары) – 43 м.

По условиям строительства плотина разбита на три участка:

1. Островной (примыкающий к бетонной плотине) – ПК13+02 – 23+30
2. Русловой (перекрывающий основное русло р. Ангары) – ПК23+30 – 25+91
3. Правобережный (располагающийся на над пойменной террасе) – ПК25+91 – 34+50.

В конструктивном плане и по условиям эксплуатации правобережная грунтовая плотина представляет собой единое целое, объединённое общими конструктивными противофильтрационными устройствами, очертаниями гребня, верхового и низового откосов, общими условиями работы, свойственными протяжённым плотинам. Способ возведения – насыпной. Сооружена плотина из валунно–галечных и песчано–гравелистых грунтов с суглинистым ядром в центре. В основании русловой плотины отсыпана песчаная подушка толщиной 1,5 м, цементационная завеса на острове и русле опущена на глубину 20 м. На берегах суглинистое ядро сопрягается с пролювиально–делювиальными суглинками с помощью замка и суглинистых фартуков. Плотина на три четверти длины располагается в пределах современной долины р. Ангары и на одну четверть – на высоких ангарских террасах.

Гидротехническое сооружение Иркутской ГЭС – развивающаяся природно-техногенная система. Анализ результатов изучения насыпных грунтов за период эксплуатации плотины Иркутской ГЭС показывает, что их консолидация в основном завершена. Но обнаружены зо-

ны с меньшими, чем проектные, значениями плотности скелета грунта. Их можно рассматривать как зоны разуплотнения – закономерный процесс эволюции техногенных грунтов в нестандартных условиях функционирования.

ГЛАВА II. Обоснование выбора инструментальных методов и методика геофизических измерений на грунтовых плотинах Иркутской ГЭС.

Приводятся физические предпосылки решения поставленных задач методами инженерной геофизики, дается описание использованной аппаратуры, методики наблюдений методами сейсморазведки, электроразведки и каротажа. Выбранный комплекс методов предназначен для изучения свойств земляной плотины косвенным путем. Насыпная плотина создает ряд физических внешних и внутренних полей, и при взаимодействии на неё может стать источником полей упругих колебаний, электрических токов, теплового излучения и т.п. Однако одни и те же физические поля могут соответствовать различным горным породам, поэтому важно изучать не отдельные физические свойства горных пород, а их совокупность комплексом методов.

Характеристики сейсмических волн, измеряемые на поверхности, могут дать информацию о положении и распределении границ между горными породами и о состоянии этих пород. Усложняется процесс получения такой информации за счет пространственной неоднородности, пористости, проницаемости, глинистости, трещиноватости и т.д. В этом отношении рассмотрены возможности отмеченных выше геофизических методов.

Определение пористости по значениям скорости приближенно может определяться по уравнению среднего времени или по эмпирическим уравнениям. Эти уравнения учитывают только пористость и не учитывают влияние глинистости. Как показывают опыты, влияние содержания глинистых частиц (по объему) для сланцеватых песчаников составляет примерно $1/3,2$ от влияния пористости для V_p и $1/2,6$ V_s и эти отношения практически не зависят от давления.

Такой параметр как отношение скоростей (V_p/V_s) также зависит от пористости и глинистости. С увеличением пористости и глинистости V_p/V_s увеличивается, и оно более чувствительно к изменению пористости. По многочисленным данным в осадочных породах скорости поперечных волн почти линейно связаны со скоростями продольных. Однако в естественных условиях грунты с одинаковой пористостью и влажностью могут иметь значительные интервалы изменений отмеченных параметров.

Сказанное для скоростей распространения сейсмических волн практически полностью относится и к электрическому сопротивлению, определяемому по методу вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), которое в большей степени реагирует на изменение свойств горных пород, чем V_p и V_s . Глубинность исследований методом ВЭЗ необходимо было обеспечить до 30 – 40 метров, то есть до коренного основания плотины. С этой целью максимальная величина разносов питающих линий ВЭЗ была выбрана 440 метров.

При инженерно-геологических исследованиях обращают на себя внимание естественные электрические локальные поля на земной поверхности, обусловленные контактами разнородных горных пород, водоносных пластов, фильтрации подземных вод и диффузии растворов разной минерализации. Само фильтрационное поле относится к классу электрокинетических явлений. Известных под названием «потенциалов течения» или «потенциалов протекания», которые возни-

кают при перемещении электрических зарядов двойного электрического слоя – движущейся жидкости. Перемещение зарядов жидкостью эквивалентно течению электрического тока в горных породах. Принято, что неподвижная часть двойного электрического слоя у минерального зерна имеет отрицательный заряд, а подвижная – положительный, то есть по направлению движения воды идет вынос положительных зарядов. На высоких участках наблюдаются относительно большие отрицательные потенциалы, чем на низком рельефе. В результате электрические токи стремятся течь вверх, в гору. Это можно объяснить такими хорошо известными явлениями, как образование ионных слоев, фильтрацией подземных вод, разностями рН и электроосмосом, что позволяет нам по измеряемым электрическим параметрам изучить основные особенности фильтрационного поля.

Комплекс каротажных измерений включал в себя следующие их виды. Сейсмокаротаж проводился накопительной цифровой станцией. Использовался специальный зонд с прижимным устройством. Сейсмические волны возбуждались ударами на расстоянии 1 и 5 м от устья скважины и регистрировались через 1 м. Гамма-каротаж применялся для экспертных оценок плотности насыпных гравийно-галечных, песчаных и глинистых грунтов. Для измерений плотности в скважинах использовался прибор ППГР-1 (плотномер поверхностно-глубинный радиационный). Определение удельного электрического сопротивления (УЭС) воды проводилось в пьезометрических скважинах с помощью каротажного четырехэлектродного зонда оригинальной конструкции.

Для проведения измерений в методе ВЭЗ, так же как и в методе ЕП и при определениях УЭС воды, до 2002 г. использовался стандартный электроразведочный автокомпенсатор АЭ-72. С 2002 г. измерения выполнялись новой электроразведочной аппаратурой «Электротест – С». Производство, Россия, Москва: НТК «Диоген-2001». Это портативный низкочастотный компьютеризированный электроразведочный прибор для работы в условиях промышленных помех и сложных заземлений. Прибор в цифровом варианте обеспечивает измерение электрических величин в режиме накопления до 10 раз. Тем самым погрешность наблюдений ВЭЗ не превышала 5%.

Электроразведка методом ЕП выполнена в варианте способа съемки потенциалов. Особенностью ЕП земляной плотины ГЭС является то, что его параметры определяются, в основном, фильтрацией воды в проницаемых грунтах плотины. Причем, если $U=0$ (U – потенциал ЕП), то переток воды отсутствует, локальные отрицательные аномалии дают утечки из дренажа. При равномерной инфильтрации по всей плотине ЕП будет увеличиваться по направлению к дренажной прорези, а при фронтальной и фланговой утечках неоднородности в нижнем клине плотины будут отличаться локальными аномалиями ЕП. Линзы мелкодисперсного глинистого материала дают положительные аномалии, а зоны, сложенные крупнообломочным и гравийно-галечным грунтом – отрицательные (Семенов, 1980). Шаг и разнос между соседними установками неполяризующихся электродов равнялись 10 м. Использовалась та же система профилей, что и для постановки ВЭЗ и КМПВ. Система и густота сети наблюдений каждым из выбранных методов определялась величиной погрешности, определяемых ими параметров, и условиями решения поставленных задач.

Выполненный анализ физических основ экспериментальных методов подтверждает необходимость постановки сейсморазведки по методу преломленных волн, электроразведки (ВЭЗ, ЕП) их модификаций и комплекса каротажных измерений для дальнейших исследова-

ний, связанных с определением параметров состояния насыпной плотины и контроля их изменений во времени. Выбор инструментальных методов и методики геофизических измерений, подтверждающих первое защищаемое положение диссертации и позволяет более обоснованно использовать этот комплекс для оценки физического состояния грунтовых плотин Иркутской ГЭС.

ГЛАВА III. Оценка физического состояния грунтовых плотин Иркутской ГЭС по данным геофизических измерений.

При выполнении сейморазведочных измерений по плотине ГЭС от ПК 14 до ПК 28 пройдено 6 параллельных профилей и от ПК 8 до ПК 10 три коротких профиля (рис. 2). В результате выполнено около 150 зондирований и получено более 500 сейсмограмм.

Расчет скоростей прямых, рефрагированных и преломленных волн проводился по известным методикам. Интерпретация геофизических материалов облегчалась наличием надежных сведений о строении и конструкции насыпи и глубине залегания УГВ на момент измерений. Результаты измерений в диссертации обобщены в виде скоростных разрезов по пройденным профилям, гистограммам и набором карт изолиний скоростей в насыпных грунтах различного состояния.

Верхняя до 20 – 30 м зона разреза представляется, в основном, двумя слоями. Резкие различия по V_p отмечаются между воздушно-сухими и водо-насыщенными грунтами, различие по V_s незначительное. Изменение плотностных характеристик грунтов возможно увязать с величинами изменения V_p по площади, если предположить, что с увеличением V_p растет и их плотность. В этом случае характер изменения плотности по площади будет соответствовать характеру распределения скоростей.

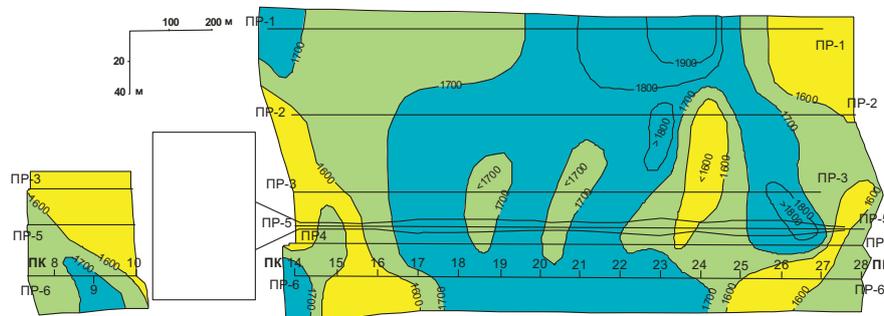


Рис. 2. Карта изолиний скоростей V_p в слое водонасыщенных грунтов.

Интерпретация данных электроразведочных методов ВЭЗ, ЕП и измерений УЭС воды в скважинах проводилась по принятым инструкциям и стандартам. При этом учитывалось, что значения УЭС грунтов, уложенных в тело плотины, определяются минеральным составом, плотностью, пористостью и обводненностью под действием подпора со стороны водохранилища. Известно, что раскрытие пор в грунтах, заполнение их водой и степень минерализации этой воды ведут к заметному снижению УЭС, что позволяло оценивать по этому критерию состояние грунтов плотины.

Качественная и количественная интерпретация ВЭЗ вначале проводилась с использованием специальных программ для ПЭВМ, а затем по программе IP2Win. В целом, при интерпретации принималось во внимание, что на тип кривой существенным образом влияли локальные неоднородности, особенно в верхней части разреза. Часто такие неоднородности значительно искажали левые ветви кривых. Однако, в средней части толщи насыпных грунтов плотины и в ее основании преобладали относительно однородные пакки слоев. Большое влияние на правую резко спадающую ветвь кривых оказывали низкоомные слои углистых сланцев с прослоями бурых углей. Их УЭС составляют первые Ом*м и первые десятки Ом*м. Если разносы питающих линий АВ и геоэлектрический разряд обеспечивали большую глубину зондирования, то на кривых (АВ/2) в правых ветвях проявлялось увеличение за счет проникновения тока в более высокоомные слои песчаников.

Неоднородности в грунтах плотины выделялись по УЭС в толще для глубин от 8 до 30 м, так как именно этот интервал представляет практический интерес. Количественная интерпретация включала две стадии: физическую интерпретацию для определения параметров геоэлектрического разреза и геологическую интерпретацию для увязывания УЭС и определенных мощностей геоэлектрических слоев с инженерно-геологическими характеристиками толщи грунтов.

Электроразведка ЕП входила в общий комплекс электроразведочных работ и ее интерпретация включала обработку графиков значений потенциалов по профилям наблюдений. Отрицательные аномалии характерны для участков повышенной инфильтрации и утечкам (нисходящие потоки). Деформация фильтрационного потока ведет к повышению скоростей течений. В этом случае над горизонтальными дренажами, перехватывающими "однородный" поток воды, в грунтах возникают отрицательные аномалии ЕП. Постоянство ЕП по профилю свидетельствует о равномерности потоков по оси профиля. Результаты работ способом съемки потенциалов ЕП по четырем профилям правой (по течению) части плотины показывают, что первое – заметное повышение значений потенциалов ЕП вблизи здания ГЭС на участках, где примыкающее к зданию ГЭС суглинистое ядро плотины существенно увеличено по ширине (поперечное сечение). Однако, непосредственно в зоне примыкания ядра к зданию ГЭС, отмечен спад ЕП.

Оценка глубины залегания аномалий ЕП вблизи здания ГЭС показывает, что источники положительной аномалии могут находиться на глубинах 30-50 м, то есть ближе к скальному основанию. Спад ЕП в зоне примыкания, возможно, обусловлен утечками по контактной части. Большая часть значений потенциалов ЕП вдоль отдельных профилей носит характер относительно выдержанный вблизи средних значений, что указывает на относительную равномерность фильтрации по плотине. Исключения составляют отдельные выбросы и аномалии по русловой части плотины.

Данные определений УЭС воды показали большой разброс значений УЭС по разным скважинам. Однако можно выделить две группы значений, определенных по скважинам в ядре и частично в ядре, так как верхняя и средняя части у ряда скважин находятся в гравийно-галечных грунтах, а нижняя - в суглинистом ядре, которое имеет форму усеченной пирамиды. УЭС воды в скважинах, расположенных непосредственно в ядре плотины, в среднем составляет ~10 Ом*м, а в скважинах частично расположенных в ядре ~50 Ом.

Результаты комплекса работ, выполненных с целью выявления состояния и неоднородностей земляной плотины, подтверждают второе защищаемое положение.

ГЛАВА IV. Результаты начального этапа режимных геофизических измерений.

В главе приводятся результаты радиоизотопных измерений плотности грунтов, температуры и электросопротивления воды в пьезометрических скважинах. С целью решения задач динамики фильтрационных потоков в теле плотины и выделения наиболее активных по фильтрации зон, проведен анализ трехкратных измерений потенциалов ЕП в 1995 г. и сравнение их с измерениями в 1993 г. Анализируются данные ВЭЗ, приводится характеристика полученных геоэлектрических разрезов, оцениваются возможности и ограничения метода в сложных условиях. Сравнение полученных данных в 1994/1995 гг. с данными 1993 г. позволили оценить относительную изменчивость параметров геоэлектрических разрезов. Термометрия и электрометрия воды в скважинах так же являются важным инструментом для получения данных о техническом состоянии пьезометров, по этим данным проводились фильтрационные расчеты, а по температурным аномалиям зоны направленных потоков в грунтах.

Геофизические измерения методом ЕП проводились повторно несколько раз. Произошедшие изменения в фильтрационном поле исследованной части плотины отражены с помощью схем распределений изолиний потенциалов ЕП, где отчетливо выделяются два аномальных участка в районе ПК13 – ПК15 и ПК25 – ПК28 по профилям ПР1 и ПР2 (схема профилей на рис.2).

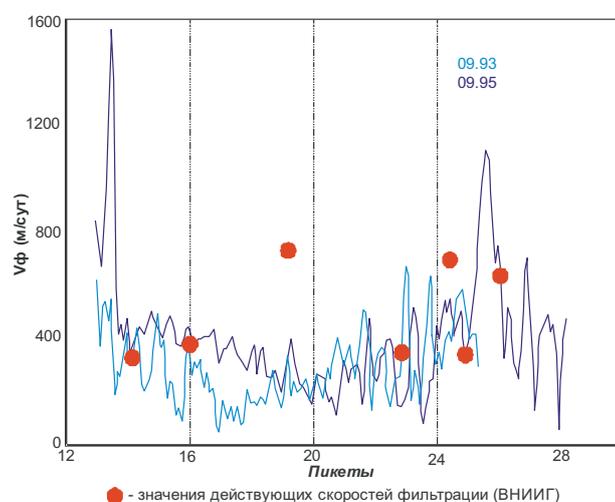


Рис. 3. Расчётные значения скоростей фильтрации на интервале между профилями ПР3 и ПР2 по замерам потенциалов фильтрации в сентябре 1993 и сентябре 1995 г.

Локальные отрицательные аномалии отражают намечающиеся тенденции образования протоков в направлении течения реки. Некоторые из них уже стабильны по своему положению (минимум на ПК21+60 и в районе ПК16+20 – 16+80), другие флуктуируют. Отличительной

чертой поведения поля потенциалов фильтрации на профилях №2 и №1 в 1995 году является четкое проявление локальных аномалий в районе сопряжений суглинистого ядра русловой плотины с правобережной частью плотины и островной плотины со зданием ГЭС между пикетами 14 и 15.

Проведены оценка параметров фильтрации (коэффициентов фильтрации и скоростей фильтрации) по комбинированной схеме, основанной на законах фильтрации (закон Дарси) и явлений электрической кинетики. По нашей методике рассчитаны скорости фильтрации через ядро между профилями ПР3 и ПР2 для периодов исследований 1993 и 1995 гг. в один и тот же месяц года (рис. 3).

Этот интервал между профилями выбран потому, что для него имеются определения скоростей фильтрации. Кроме того, известно по работам ВНИИГ и данным регулярных наблюдений уровней воды по пьезометрам, что практически весь напор падает именно на этом участке земляной плотины. Таким образом, данный участок определяет работу противифльтрационных устройств в целом.

Получена характерная картина: высокие скорости фильтрации наблюдаются на участках сопряжения суглинистого ядра с элементами бетонного замка и на русловом участке в среднем 500 – 600 м/сут; для островной плотины скорости более выдержаны, почти нет резких отклонений от интервала средних значений 200 – 400 м/сут. Отмечается также тенденция увеличения скоростей фильтрации во времени (интервал 1993 – 1995 гг.), особенно, на участках сопряжения и наименьшей толщины суглинистого ядра (с ПК14 по ПК17). Всё выше сказанное свидетельствует о достаточной фильтрационной устойчивости данного участка плотины, а отмеченные тенденции роста скоростей фильтрации по зонам сопряжений указывают на необходимость контроля за этими явлениями.

В 1994 – 1995 гг. работы методом ВЭЗ проводились по двум профилям ПР4 и ПР3, то есть по верховой гравийно-галечниковой призме и над суглинистым ядром. Вариации УЭС верхнего слоя влияют на КУЭС лишь при разносах АВ/2 до 10 м и менее. Это соответствует глубинам экзогенных изменений сезонного характера.

Анализ изменчивости параметров геоэлектрического разреза по кривым ВЭЗ за период с 1993 по 1995 гг. подтверждает, что наиболее нестабильная ситуация наблюдалась по островной плотине ПК15, 17 и 21. Причем имело место, в основном, уменьшение КУЭС на обследованном участке плотины, за исключением ПК22 и ПК24. Если учесть, что УЭС воды в водохранилище намного выше УЭС воды в скважинах, то можно проследить прямую взаимосвязь скоростей фильтрации с УЭС воды и сделать более определенный вывод о направленности скоростей фильтрации, и об ее относительном снижении. По крайней мере, основываясь на результатах нескольких независимых методов, для периода между работами в 1993 и последними 1995 г, которые были поставлены 05.09.1995 г, можно говорить об относительном ее снижении.

Основные выводы, по главе, подтверждают третье защищаемое положение диссертации

ГЛАВА V. Динамика физического состояния ослабленных зон насыпной плотины Иркутской ГЭС за период 2002 – 2005 гг.

В заключительной главе излагаются результаты оценки физического состояния ослабленных зон насыпной плотины Иркутской ГЭС за период 2002 – 2005 гг. и его динамика. Для измерений были намечены участки правобережной плотины, но в обязательном порядке

включалась ее русловая часть. На этот период наблюдений были упорядочены номера профилей для всего комплекса используемых методов (рис. 4).

Основными измеряемыми параметрами оставались упругие (скорости распространения продольных – V_p и поперечных – V_s волн), электрические (удельное электрическое сопротивление – ρ) и потенциалы естественного электрического поля – (U). Каротажные измерения в скважинах выполнялись в большей степени с целью проверки их информативности в отношении оценки гидравлической стабильности насыпной плотины.

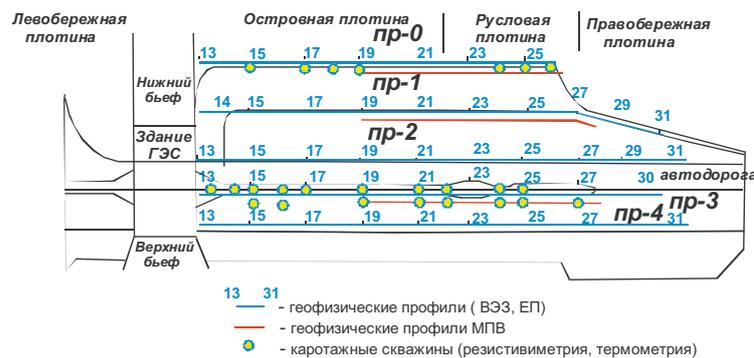


Рис. 4. Схема геофизического мониторинга на грунтовых плотинах Иркутской ГЭС.

Анализ сейсморазведочных данных приводится на фоне их совместного сопоставления за 2002 – 2005 гг., по построенным скоростным разрезам (рис. 5). Говорить об определенной направленности изменения скоростей во времени нет оснований. При детальном анализе скоростных разрезов можно заключить, что они отличаются друг от друга по годам в основном не более, чем в пределах погрешности интерпретации.

На всех пройденных по методу ВЭЗ профилях (0–4, рис. 6) преобладают следующие виды кривых: АН, КQH, КQ. Проследить динамику электрических сопротивлений возможно качественно, по относительному сравнению разрезов кажущихся сопротивлений по одним и тем же пунктам наблюдений, и количественно, по графикам распределений УЭС с глубиной во времени. При этом стоит отметить, что величина (ρ_k) зависит от температуры грунтов, степени их насыщения водой и минерализации (рис. 7).

Для ПР0, по слою насыпных грунтов, измерения 2002; 2003 и 2007гг. хорошо согласуются. В 2004 и 2005 гг. относительные изменения существенны на участках ПК 21 – 23, которые отмечаются повышением ρ_k в этом слое, вплоть до разносов АБ/2 достигающих 100 – 180м. В данном случае предполагается связь с временным (2004 – 2005 гг.) изменением минерализации грунтовых вод на этом участке и с возможным увеличением параметров фильтрации. В то же время на ПК23 – 24 значения ρ_k на этих же разносах уменьшились до 50 Ом, что можно объяснить обратным характером изменения указанных характеристик. По ПР4 в водонасыщенном слое различие сопротивлений более существенно, но относительно хорошее согласие в их распределении отмечается в период 2005 и 2007 гг. По профилю ПР3, несмотря на видимую высокую неоднородность разрезов кажущихся сопротивлений по глуби-

не и по простиранию, они достаточно уверенно, даже при визуальном сравнении, повторяются при ежегодных измерениях. Но на существующие особенности и различия на отдельных участках следует обратить внимание. Диапазон изменений ρ_k по повторным измерениям

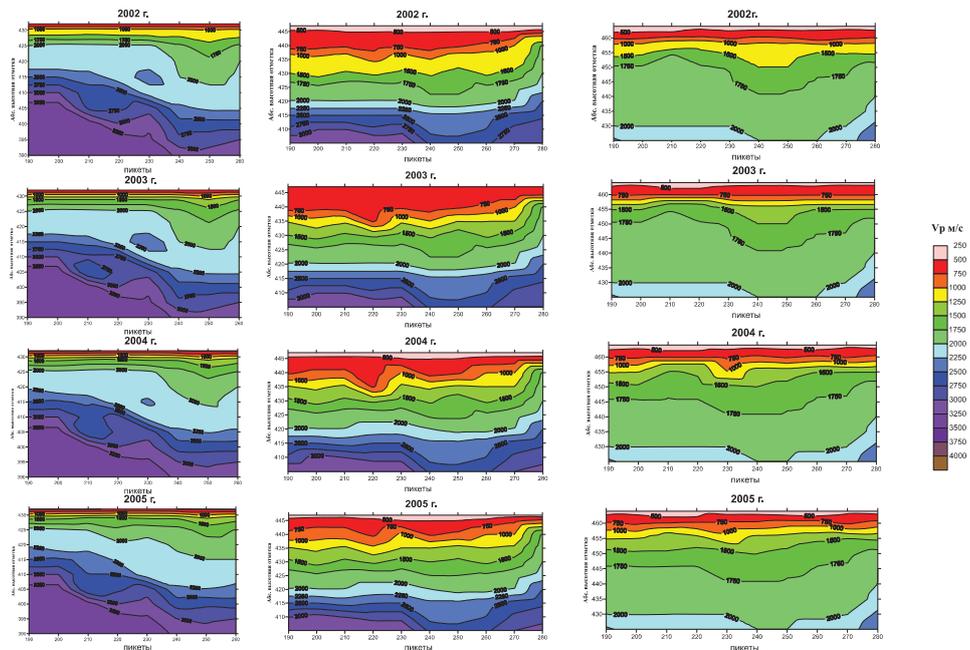


Рис. 5. Результаты режимных измерений скоростей сейсмических волн по профилям: ПР0, ПР1, ПР3 (ПК19 – ПК28).

лежит, в основном, в интервале от 20 до 400 Ом*м. Проследить динамику изменения УЭС с глубиной за 5-ти летний период, как и для скоростей сейсмических волн, можно по ежегодным кривым. Кривые построены для пикетов 22, 23 (рис. 7) и 25 (ПР0-4) и дополнительно для ПР3 (суглинистое ядро) для пикетов 18, 19 и 20. То есть так же для тех из них, на участках которых согласно проведенному выше качественному сравнению и данным количественной интерпретации возможны наибольшие различия.

Результаты проведенных резистивиметрических исследований в скважинах показывают перспективность таких работ, для контроля накопления данных статистических расчетов и прогнозирования процессов устойчивости грунтов плотины. Определенной направленности изменений УЭС во времени не наблюдается, но обратить внимание на отмеченные участки при дальнейших исследованиях необходимо.

Постановка режимных измерений методом естественных потенциалов показала, что по ядру плотины (ПР3) замечены отрицательные аномалии, которые проявляются эпизодически и, начиная с пикета ПК22+80, могут превышать 100 мВ. Общий вид графиков практически идентичен. Начиная с ПК25+50, на графиках распределения потенциалов фильтрации могут присутствовать как положительные, так и отрицательные аномалии (рис. 8). Явно или неявно,

по абсолютным значениям ЕП, выделяется аномалия на пикетах ПК22 – ПК27, которая может в отмеченных пределах и мигрировать.

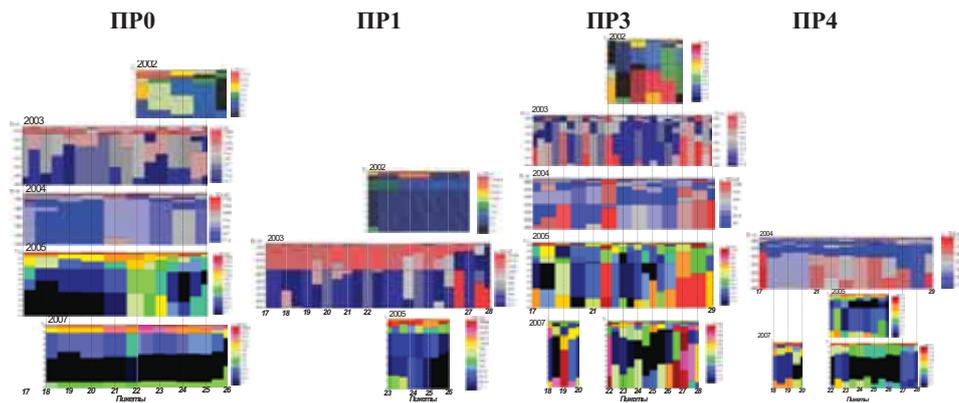


Рис. 6. Динамика кажущихся сопротивлений по профилям 0-4, с 2002 по 2007 г.

Обоснованный для режимных измерений комплекс геофизических методов позволил получить данные для всестороннего анализа поведения отдельных геофизических параметров в зависимости от конкретных физико-механических свойств и происходящих в плотине процессов во времени. Сравнительный анализ данных режимных геофизических измерений по методам электроразведки (ВЭЗ, ЕП), сейсморазведки и резистивиметрии, показывает хорошую сходимость, однако на отдельных участках их отклонения требуют объяснений. Это будет возможно в случае продолжения режимных измерений.

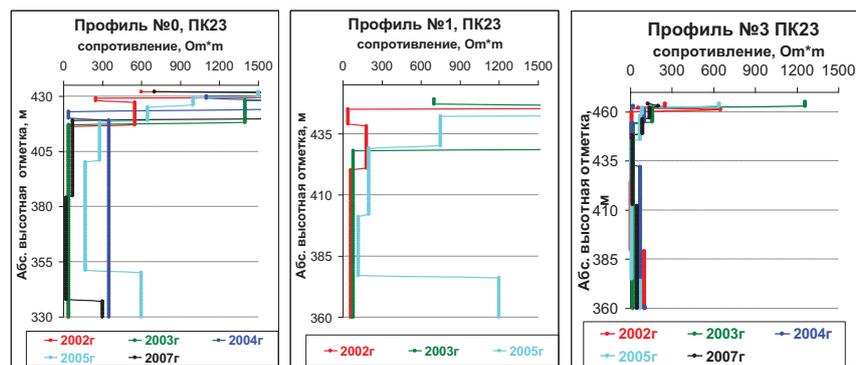


Рис. 7. Динамика УЭС на ПК23 на участках профилей №0, №1 и №3, за период измерений с 2002 по 2007 г.

Таким образом, по результатам предыдущих разделов и режимных измерений за пятилетний инструментальный период установлена относительная стабильность электрических и

упругих параметров островной и русловой плотин, что обосновывает четвертое защищаемое положение диссертации.

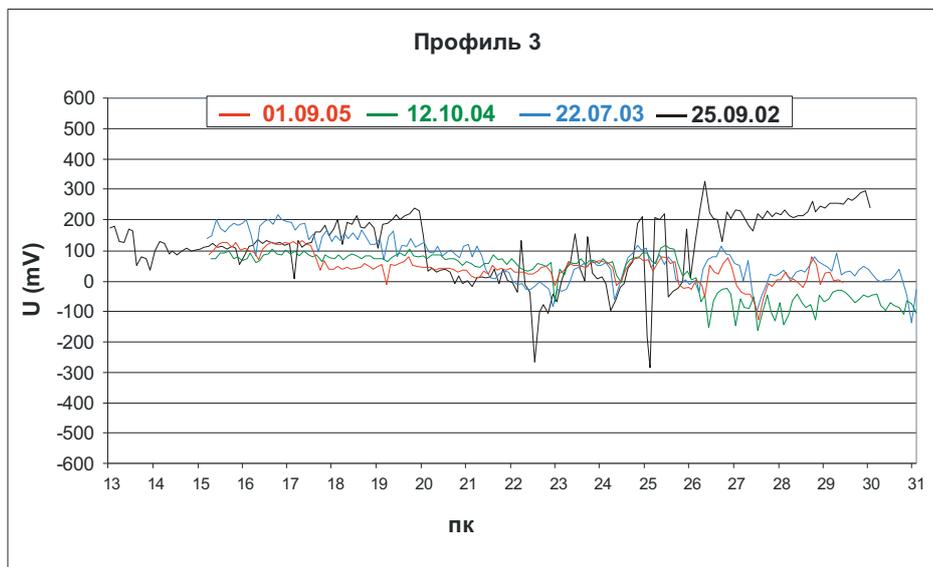


Рис. 8. Динамика изменения потенциальной фильтрации [ЕП] по профилю ПРЗ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материалы проделанной работы показывают эффективность использования геофизических методов в решении поставленных задач и достоверность полученных результатов. Основные выводы, сделанные в диссертации, сводятся к следующему:

- в теле земляной плотины под воздействием природных и техногенных факторов постоянно происходят процессы, вызывающие флуктуации фильтрационных параметров, причем определенной направленности этих процессов, из-за крайне малого периода, наблюдений установить пока не представляется возможным;

- распределение геофизических параметров вдоль оси плотины показывает, что русловая и островная плотины различаются по их значениям, а фильтрационные свойства русловой плотины требуют постоянного контроля;

- выявленные аномалии по данным ЕП показывают их активизацию на участках сопряжений суглинистого ядра с примыкающими элементами плотины, общий характер фильтрационного поля в пределах обследованной части характеризуется наличием многих сосредоточенных потоков, которые видны на графиках потенциалов фильтраций, как местные экстремумы;

- надежность выводов о параметрах фильтрации подтверждается их сопоставимостью с результатами работ предшественников и анализом распределения уровней и напоров по данным пьезометрических режимных наблюдений;

- в целом делается вывод о фильтрационной устойчивости обследованных участков плотины. В какой-то степени это подтверждается и данными сравнения полученных расчетных скоростей фильтрации с проектными и установленными в опытах ВНИИГ.

Таким образом, результаты выполненных в течение 5-ти лет режимных измерений можно считать основой налаживания исследований по инженерно-геофизическому мониторингу на Иркутской ГЭС. Для более точного оконтуривания ослабленных зон и контроля за состоянием насыпи и ядра плотины, необходимо продолжение исследований по геофизическому мониторингу насыпных плотин Иркутской ГЭС.

Основные работы опубликованные по теме диссертации

1. Джурик В.И., Серебренников С.П., **Ескин А.Ю.** Оценка экстремальных инженерно-сейсмологических особенностей строительства золошлакоотвалов Благовещенской ТЭЦ // Тезисы докладов V Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию с международным участием. Москва. 2003. С. 32.
2. Джурик В.И., Серебренников С.П., Дреннов А.Ф., Юшкин В.И., Баскаков В.С., **Ескин Ю.И.** Динамика сейсмических воздействий для участков строительства инженерных сооружений трассы нефтепровода при деградации мерзлоты // Материалы XII совещание географов Сибири и Дальнего Востока. Владивосток: ДОО РА. 2004. С. 138.
3. Юшкин В.И., Джурик В.И., Серебренников С.П., Дреннов А.Ф., **Ескин Ю.А.** Изучение динамики упругих свойств мерзлотно-геологической среды геофизическими методами в процессе ее деградации // Материалы всероссийской конференции «Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов». Архангельск. 2004. Т. 2. с. 426-428.
4. С.П. Серебренников, В. И. Джурик, В.И., **Ескин А.Ю.**, Юшкин В.И., Баскаков В.С., Дреннов А.Ф. Районирование сейсмической опасности линейных сооружений в зонах сплошного распространения мерзлых грунтов // Сборник научных трудов «Город прошлое-настоящее-будущее. ИрГТУ. Иркутск. 2004. с. 85-90.
5. С.П. Серебренников, В. И. Джурик, В.И., **Ескин А.Ю.**, Юшкин В.И., Баскаков В.С., А.Ф. Дреннов Комплексная оценка сейсмической опасности линейных сооружений // Материалы всероссийской конференции с международным участием «Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов». Архангельск. 2004. Т. 2. с. 246-250.
6. V.I. Dzhurik, T. Dugarmaa, V.A. Potapov, A.F. Drennov, Ts. Batsaikhan, T.G. Ryashenko, S.P. Serebrennikov, V.I. Yushkin, D. Selenge, **A.U. Eskin.** Methodical grounds for zoning of seismic hazard. Complex geophysical and seismological investigations in Mongolia. ULAANBAATAR-IRKUTSK. 2004. S. 204-211.
7. Джурик В.И., Серебренников С.П., Дреннов А.Ф., Юшкин В.И., Баскаков В.С., **Ескин А.Ю.** Динамика сейсмических воздействий для участков строительства инженерных сооружений трассы нефтепровода при деградации мерзлоты // Материалы

- XII совещание географов Сибири и Дальнего Востока. Владивосток: ДОО РА. 2004. С. 138.
8. Джурик В.И., **Ескин А.Ю.**, Юшкин В.И., Серебренникова С.П., Баскаков В.С., Дреннов А.Ф. Оценка физического состояния земляной плотины Иркутской ГЭС по геофизическим данным // Вестник ИрГТУ. 2005. №1. С. 28-31.
 9. Серебренников С.П., В.И. Джурик, Юшкин В.И., **Ескин А.Ю.**, Баскаков В.С. Изучение современных и древних деформаций в зонах крупных разломов Сибири и Монголии // Труды V Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике. Иркутск. 2005. С. 22-23.
 10. Юшкин В.И., Джурик В.И., **Ескин А.Ю.**, Баскаков С.П., Серебренников С.П. Опыт приповерхностных сейсмо- и электроразведочных исследований вулкана Хара-Того (Монголия) // Труды V Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике. Иркутск. 2005. С. 134-135.
 11. В.И. Джурик, С.П. Серебренников, А.Ю. **Ескин**, А.Ф. Дреннов. Отражение приповерхностных зон крупных разломов Сибири и Монголии в геофизических полях // XXXVII Тектоническое совещание. Москва. 2005. Т. 2. с. 202-205.
 12. Джурик В.И., Серебренников С.П., Юшкин В.И., **Ескин А.Ю.** Режимные исследования динамики физических характеристик пород в криолитозоне. // «Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии». Иркутск. 2005. Выпуск 2. С. 119-128.
 13. Юшкин В.И., Джурик В.И., Серебренников С.П., **Ескин А.Ю.** Изучение физических свойств грунтов в различных мерзлотных условиях Восточной Сибири // Материалы Всероссийского совещания «Современная геодинамика и сейсмичность Центральной Азии». Иркутск. 2005. Выпуск 3. С. 359-361.
 14. Джурик В.И., Серебренников С.П., Дреннов А.Ф., Юшкин В.И., **Ескин А.Ю.** Опыт инженерно-сейсмологической оценки строительства нефтепровода на севере оз. Байкал // ГеоИнжиниринг. 2006. №2. С. 34-38.
 15. Джурик В.И., Серебренников С.П., **Ескин А.Ю.** Опыт электроразведочных исследований состояния и поля фильтрации грунтовых плотин. // Гидрогеология, инженерная геология, геоэкология. 2006. №5. С. 1-8.
 16. **Ескин А.Ю.**, Джурик В.И., Серебренников С.П., Дреннов А.Ф. Оценка состояния гидротехнических сооружений по данным электроразведочных измерений // Материалы XVIII всероссийского совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. Подземная гидросфера. Иркутск. 2006. С. 328-330.
 17. Серебренников С.П., Джурик В.И., Батсайхан Ц., Юшкин В.И., Дреннов А.Ф., **Ескин А.Ю.**, Баскаков В.С. Решение гидрогеологических и инженерно-сейсмологических задач курортологии в Монголии методами малоглубинной геофизики // Труды VI российско-монгольской конференции по астрономии и геофизике. Иркутск. 2006. Выпуск №4. С. 39-43.
 18. Серебренников С.П., Джурик В.И., Юшкин В.И., Дреннов А.Ф., **Ескин А.Ю.**, Баскаков В.С. Оценка гидрогеологических условий строительства и эксплуатации линейных сооружений методами малоглубинной геофизики // Материалы XVIII

- всероссийского совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. Подземная гидросфера. Иркутск. 2006. С. 207-210.
19. Юшкин В.И., Серебренников С.П., **Ескин А.Ю.** Применение геоинформационных технологий для оценки сейсмической опасности участка трассы нефтепровода «Ангарск-Казачинское» // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований. ИргТУ. Иркутск. 2007. №7. С. 28-30.
 20. Джурик В. И., Серебренников С. П., Дреннов А. Ф., Юшкин В.И., **Ескин А.Ю.**, Усынин Л.А. Мониторинг сейсмического риска при температурных измерениях в криолитозоне // Материалы всероссийского совещания с международным участием «Проблемы современной сейсмологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии». Иркутск. 2007. Т. 1.С. 123-125.
 21. Серебренников С. П., Джурик В. И., Юшкин В.И., **Ескин А.Ю.**, Усынин Л.А.. Анализ связей параметров сильных землетрясений с мерзлотными особенностями исследуемых территорий // Материалы всероссийского совещания с международным участием «Проблемы современной сейсмологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии». Иркутск. 2007. Т. 2. С. 144-146.
 22. Серебренников С.П., Джурик В.И., Трофименко С.В., Юшкин В.И., Баскаков В.С., **Ескин А.Ю.**, Дреннов А.Ф. Изучение современных и древних деформаций в зонах разломов Южной Якутии // Материалы международной научно-практической конференции. Нерюнгри. 2007. Т. 2. С. 71-74.
 23. Джурик В.И., Серебренников С.П., **Ескин А.Ю.**, Усынин Л.А.. Результаты комплексной оценки вероятностных параметров сейсмической опасности для урбанизированных территорий Монголо-Сибирского региона // Вестник ИргТУ. 2008. №4.
 24. Джурик В.И., Дреннов А.Ф., Серебренников С.П., Батсайхан Ц., **Ескин А.Ю.**, Усынин Л.А., Огнев А.В.. Прогноз спектров колебаний скальных грунтов различного состояния при сильных землетрясениях для районов Центральной Азии, с целью формирования исходных сейсмических сигналов // Материалы Всероссийского совещания. Иркутск. 2009. Т. 1. С. 145-147.

Подписано к печати 15 февраля 2010 г.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная №1. Гарнитура Таймс.
Печать Riso.
Усл. печ. л. 1.0. Тираж 120 экз. Заказ 603.
Отпечатано в типографии Института земной коры СО РАН.
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.