МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРИМЕНЕНИЮ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА АКВАТОРИЯХ

"Г И Д Э К"
Москва 2002

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРИМЕНЕНИЮ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА АКВАТОРИЯХ

"Г И Д Э К"
Москва 2002

"МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ по применению комплекса геофизических методов при гидрогеологических и геоэкологических исследованиях на акваториях"- Москва, Министерство природных ресурсов РФ, «ГИДЭК», 2002 .

В документе изложена методика применення комплекса геофнзических методов при решении типовых эколого-гидрогеологнческих задач на акваториях.

Рекомендуемый комплекс методов – термометрия, резистивиметрня, электроразведка методами сопротивлений и естественного электрического поля.

Приведены методические особенности выполнения полевых работ, обработки и интерпретации результатов при работе на акваториях.

Рекомендуемые области применения: эколого-гидрогеологическая съемка, поиск и разведка подземных вод, изучение загрязнения подземных и поверхностных вод, оценка гидрогеологических условий месторождений полезных ископаемых, мониторинг подземных и поверхностных вод.

Предназначено для гидрогеологов и экологов, нспользующих геофизнческие методы при решении прнкладных задач, а также для геофизиков, решающих гидрогеологическне и экологические задачи.

Илл. 21, спнсок лит. 8 назв.

Разработчик:

Гидрогеоэкологическая научно-производственная и проектная фирма "ГИДЭК"

Составитель: **Козак С.З.**

Редактор: **Кочетков М.В.**

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ рассмотрены и одобрены Управлением ресурсов подземных вод, геоэкологии и мониторинга геологической среды МПР России (протокол № 3 от 01.04.2002 г.)

© МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, 2002г.

© ГИДРОГЕЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ И ПРОЕКТНАЯ ФИРМА «ГИДЭК», 2002г.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

		Стр.
1	ВВЕДЕНИЕ	6
2	ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИ РАБОТАХ НА АКВАТОРИЯХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИХ РЕШЕНИЯ	7
3	МЕТОДИКА И АППАРАТУРА ДЛЯ ПОЛЕВЫХ РАБОТ	8
3.1	Термометрия	8
3.2	Резистивиметрия	9
3.3	Метод естественного электрического поля	13
3.4	Метод сопротивлений	14
4	МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА АКВАТОРИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ	15
4.1	Выделение участков субаквальной разгрузки по дну неглубоких водотоков (рек, ручьев, мелиоративных каналов)	15
4.2	Выделение участков интенсивного взаимодействия поверхностных и подземных вод по дну закрытых и полузакрытых водоемов	21
4.3	Оценка минерализации поверхностных вод с выделением зон их загрязнения	27
4.4	Изучение строения придонных отложений	31
4.5	Выделение подрусловых таликов в многолетнемерзлых породах	35
4.6	Оценка изменения во времени размеров участков субаквальной разгрузки при изменении уровня подземных вод	36
5	ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА АКВАТОРИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ	40
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	55

СПИСОК ИЛЛЮСТРАЦИЙ

		Стр
3 1	Схематические конструкции датчиков для термометрии и резистивиметрии	10
3 2	Схема генератора переменного тока	12
3 3	Двуслойные кривые ВЭЗ для поверхностной и донной установок	16
4 1	Типовые термограммы на участках субаквальной разгрузки по ручьям и рекам в летний период	19
4 2	Результаты геофизических работ по р Люга	20
4 3	иповые графики изменения температуры придонного слоя воды в зависимости от глубины по закрытым и олузакрытывод оемам	22
4 4	Примеры полевых материалов акваториальной геофизики по озерам	24
4 5	Зависимость температуры придонного слоя воды от глубины по озерам в окрестности г Тольятти	25
4 6	Примеры результатов акваториальных геофизических исследований по озерам в окрестности г Тольятти	28
4 7	Эмпирические зависимости между удельным электросопротивлением и минерализацией воды	30
4 8	Типовые значения удельного электросопротивления для основных литотипов	32
4 9	Результаты работ методами ЭП и ЕП по р Кедровка, Пушкинское МППВ	34
4 10	Выделение таликов по р Нерюнга по данным ВЭЗ и ЭП	37
4 11	Пример применения термометрии для оценки размеров зон субаквальной разгрузки при откачке из скважин защитной дренажной системы	39
5 1	Результаты акваториальных геофизических исследований по р Сарсаз	41
5 2	График изменения температуры дна с изменением глубины по оз Удомля	43
5 3	Результаты донных электроразведочных работ по оз Удомля	45
5 4	Оценка взаимодействия поверхностных и подземных вод по оз Удомля	46
5 5	Результаты акваториальных геофизических исследований по р Туапсе	48
5 6	Оценка эффективности защитной дренажной системы с применением термометрии (февраль, апрель 2000г)	50
5 7	Оценка эффективности защитной дренажной системы с применением термометрии (июнь, ноябрь 2000г)	51

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

УЭС, ρ	удельное электрическое сопротивление
$\rho_к$, КС	кажущееся удельное электрическое сопротивление
ВЭЗ	вертикальное электрическое зондирование методом сопротивлений
ЭП	электропрофилирование методом сопротивлений
ЕП, ПС	естественное электрическое поле
Т	температура
М	минерализация (общее содержание водорастворимых солей)

1. ВВЕДЕНИЕ

Работы на акваториях (реках, озерах, водохранилищах, ручьях и прочих водотоках и водоемах) всегда были актуальными при решении различных гидрогеологических и геоэкологических задач. В последнее время в понятие акватории могут быть включены отстойники и шламонакопители с жидкими отходами, а также мелиоративные каналы.

Область применения геофизических исследований на акваториях, рассматриваемых в настоящей работе: гидрогеологические и эколого-гидрогеологические съемки, поисково-разведочные работы на воду, изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий на месторождениях полезных ископаемых, оценка экологических и гидрогеологических условий на объектах загрязнения подземных вод, мониторинг поверхностных и подземных вод.

Очевидным является тот факт, что использование геофизических методов позволяет получать геолого-гидрогеологическую информацию с высокой детальностью при сравнительно невысокой стоимости работ. При работах на акваториях отдельные виды исследований могут выполняться с регистрацией, по детальности сопоставимой с каротажом, что заметно облегчает анализ и геолого-гидрогеологическую интерпретацию получаемой информации.

До последнего времени геофизические исследования на акваториях для решения геолого-гидрогеологических и экологических задач были уделом специализированных геофизических групп, относящихся к научно-исследовательским и учебным организациям (например, МГУ, ИВП РАН, ВСЕГИНГЕО). В конце 70-х годов в МГУ была разработана и по настоящее время применяется при эколого-гидрогеологических исследованиях технология комплексных геофизических исследований (ВЭЗ, ЕП, термометрия, резистивиметрия), ориентированная на использование малоглубинных судов. Там же разработана и постоянно совершенствуется технология сейсмоакустических исследований на акваториях, применяемая при строительстве и ремонте трубопроводов, поиске месторождений строительного сырья и других задачах. С начала 90-х годов в АОЗТ «ГИДЭК» широко применяется комплекс геофизических методов (термометрия, резистивиметрия, ВЭЗ, ЭП), ориентированный на выполнение исследований в первую очередь на неглубоких реках и водоемах. Опыт работ показал, что результаты акваториальных геофизических исследований представляют высокий интерес для специалистов-гидрогеологов и экологов. Однако уникальность аппаратурных комплексов, необходимость привлечения к работе специалистов высокой квалификации, экономические соображения часто ограничивают возможность применения методов геофизики при работе на акваториях. В то же время сегодняшний уровень развития приборной базы, появление надежных и компактных измерительных средств, возросший уровень технической грамотности и, наконец, экономические факторы, делают возможным выполнение некоторых видов геофизических исследований на акваториях силами гидрогеологов и экологов.

Настоящая работа ориентирована прежде всего на специалистов, решающих прикладные эколого-гидрогеологические задачи. При выборе методов, входящих в комплекс акваториальной геофизики, мы опирались на свой опыт и опыт других организаций, но в первую очередь учи-

тывали такие факторы, как очевидность физических предпосылок и простота интерпретации, возможность выполнения работ с использованием несложных в эксплуатации измерительных средств, обеспеченность исполнителей плавсредствами. При описании особенностей технологии полевых работ мы сочли необходимым привести описание технических средств, которые могут быть изготовлены собственными силами.

2. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ПРИ РАБОТАХ НА АКВАТОРИЯХ И ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИХ РЕШЕНИЯ

Круг гидрогеологических и геоэкологических задач при работах на акваториях чрезвычайно широк и постоянно расширяется. Наиболее часто с использованием геофизики решаются такие задачи, как выделение участков субаквальной разгрузки по дну рек, оценка качества поверхностных вод по их общей солености, литологическое расчленение придонных отложений. Результаты решения этих задач используются при выделении и уточнении планового положения контура выклинивания водоносных горизонтов и комплексов, уточнении положения зон повышенной водообильности, выборе площадок заложения разведочных скважин для изучения взаимосвязи поверхностных и подземных вод, оценке загрязнения поверхностных вод, изучении строения подрусловых отложений, обосновании выбора линий гидрометрических створов и т. д. В настоящей работе рассмотрены задачи, которые могут считаться типовыми. Технология решения этих задач в настоящее время хорошо отработана, накоплен опыт их решения, что должно облегчить использование настоящих рекомендаций на практике. В перечень этих задач входят следующие:

- Выделение участков субаквальной разгрузки по дну неглубоких водотоков.
- Выделение участков интенсивного взаимодействия поверхностных и подземных вод по дну закрытых и полузакрытых водоемов.
- Оценка минерализации поверхностных вод с выделением зон их загрязнения.
- Изучение строения подрусловых отложений.
- Выделение таликов в многолетнемерзлых породах.
- Оценка изменения во времени размеров участков субаквальной разгрузки при изменении уровня подземных вод.

При выборе методов учитывались следующие требования:

- очевидность физических предпосылок и простота интерпретации полевых материалов;
- возможность использования применяемых методов в пешем варианте или с применением в качестве транспортной базы несложных широко распространенных плавсредств (надувные лодки, спасательные плоты и пр.);
- наличие у производственных организаций измерительных средств, возможность приобретения таких средств в открытой продаже и, наконец, возможность изготовления и ремон-

та оборудования, используемого при полевых работах, собственными силами;
экономичность (относительно невысокая стоимость аппаратуры и оборудования, высокая производительность при полевых работах).

Очевидными индикаторами, позволяющими оценить взаимодействие поверхностных и подземных вод, являются их температура и минерализация. Таким образом, целесообразность использования термометрии и резистивиметрии (кондуктометрии) при геофизических исследованиях на акваториях представляется вполне очевидной. Для оценки литологического состава пород, выделения таликов, оконтуривания участков, сложенных хорошо и слабопроницаемыми отложениями, традиционно наиболее широко применяется электроразведка методом сопротивлений в различных модификациях. Как дополнительный метод, часто используется электроразведка методом естественных потенциалов. Именно эти методы и рассматриваются далее применительно к решению поставленных выше задач.

3. МЕТОДИКА И АППАРАТУРА ДЛЯ ПОЛЕВЫХ РАБОТ

В настоящем разделе рассматриваются методические особенности выполнения полевых работ методами, входящими в комплекс акваториальной геофизики: термометрии, резистивиметрии и метода сопротивлений. Поскольку не все оборудование, необходимое для выполнения этих работ, выпускается серийно, мы сочли целесообразным кратко описать технологию изготовления оборудования или привести названия организаций, имеющих опыт его изготовления.

3.1. Термометрия

Термометрия – метод, наиболее часто используемый при выделении и мониторинге участков субаквальной разгрузки, а также зон теплового загрязнения промышленными и бытовыми стоками. Физической предпосылкой применения термометрии при акваториальной геофизике является разница температур поверхностных и подземных вод.

Измерения температуры при натурных исследованиях выполняются как в воде, так и непосредственно в донных отложениях. При измерениях в воде можно использовать любые средства измерений: от ртутных термометров до цифровых полупроводниковых измерителей температуры. Вполне пригодны экономичные и простые в эксплуатации термометры «HANNA».

В то же время измерения только в водной среде не позволяют полностью реализовать возможности термометрии как метода при решении гидрогеоэкологических задач. В особенной степени это относится к работе на реках, ручьях и проточных озерах, когда расходы поверхностных водотоков многократно превышают притоки подземных вод, что не позволяет выделить зоны субаквальной разгрузки только по измерениям в воде.

Для получения уверенных данных по температуре измерения выполняют в модификации термозондирований с заглублением датчика на 5-10см в донные отложения. Этот прием позволяет существенно снизить

влияние суточных колебаний, а также заметно увеличить измеряемую величину аномального эффекта, вызванного разницей температур поверхностных и подземных вод. Серийно подобные устройства не выпускаются, однако они легко могут быть изготовлены с использованием выпускаемых сегодня отечественных и импортных датчиков. Опыт работ показал, что наиболее пригодны и одновременно экономичны датчики в металлическом корпусе типа ММТ-4 или их аналоги. Для защиты датчика от механических повреждений и гидроизоляции электрических коитактов их помещают в металлическую трубку и заливают любым электроизолирующим герметиком. Вполне пригоден герметик, состоящий из смеси канифоли и автомобильного масла (солидола, литола, парафина) в пропорции от 10:1 до 10:2. Перед смешиванием канифоль необходимо расплавить. При ремонте этот герметик легко плавится паяльником и может без труда изготавливаться в полевых условиях. При измерениях этот датчик крепится к шесту, длина которого определяется условиями выполнения работ (обычио 2 -3 м). Пример заделки датчика в корпус приведен на рис. 3.1.

Для регистрации показаний термистора могут применяться цифровые мультиметры, выпуск которых налажен как в нашей стране, так и за рубежом, что позволяет приобретать их в розничной продаже.

Важным вопросом является эталонировка датчика. При необходимости получения точности 0.1^0C рекомендуется выполнить тарировку датчика во ВСЕГИНГЕО, или в учреждении, имеющем лицензию на этот вид работ. Если же измерения выполняются с точностью 0.5^0C и более, то эталонировка может быть выполнена собственными силами путем сравнения с показаниями эталонного ртутиого термометра с ценой деления не более 0.2^0C в заданном интервале температур с шагом 5^0C.

Для оценки стабильности работы всего измерительного канала (датчик – кабель – регистратор) рекомендуется перед маршрутом и после маршрута выполнять измерения в емкости с водой в сравнении с эталонным термометром.

Регистрация результатов измерений может выполняться как в полевой журнал, так и в электронные носители информации (pocket computer). Регистрация на электронные носители, позволяющие сбрасывать информацию в компьютер, приводит к существенному упрощению процесса предварительной обработки и графического представления результатов измерений. Тем не менее, рекомендуется выполнять регистрацию в полевой журнал, поскольку при работе на воде всегда есть опасность попадания электронных средств измерения в воду с возможной потерей информации. Обработку результатов удобно выполнять с использованием стандартных программных средств Excel и Grapher.

3.2. Резистивиметрия

Физической предпосылкой применения резистивиметрии является связь удельного электросопротивления (УЭС) воды с содержанием водорастворимых солей. Основная область использования резистивиметрии – качественная и количественная оценка минерализации, что позволяет при геофизических исследованиях на акваториях использовать этот метод при выделении и мониторинге зон загрязнения поверхностных вод, выделении участков интенсивной субаквальной разгрузки.

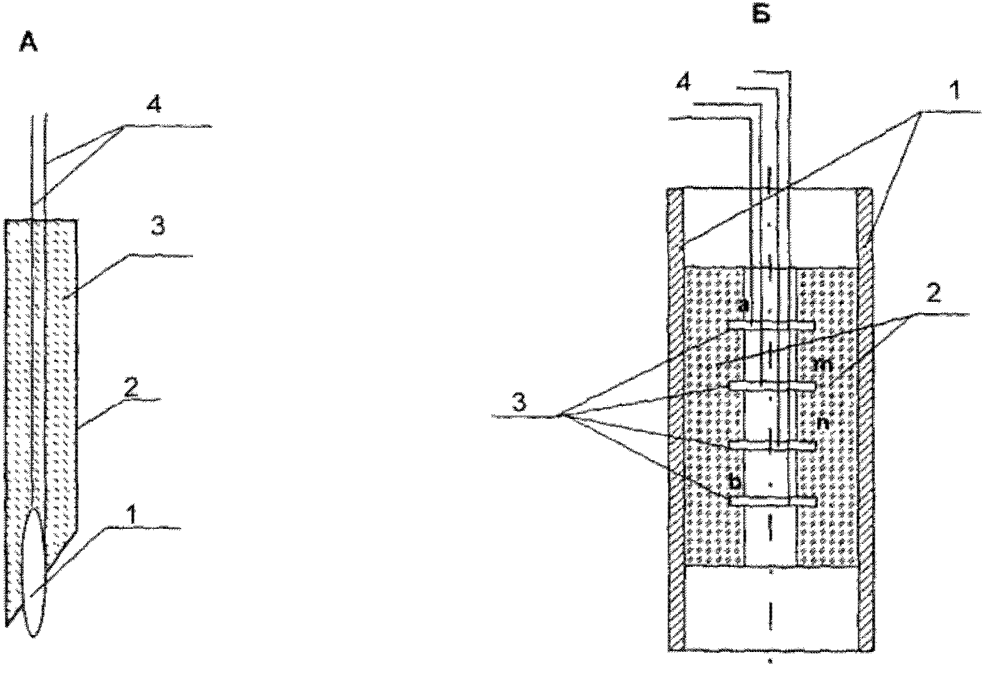


Рис. 3.1. Схематические конструкции датчиков для термометрии и резистивиметрии. А- датчик температуры (1 - термистор в металлическом корпусе, предохранительный корпус из металла, герметик, провода). Б - резистивиметр (1 - металлический корпус - экран, 2 - цилиндр из диэлектрика, 3 - электроды: "a" и "b" - токовые, "m" и "n" - измерительные, 4 - провода).

При натурных исследованиях измерения приходится выполнять как на глубине не более 0.5 м (родники, ручьи, неглубокие реки), так и на глубине до 30 м и более (озера, водохранилища, колодцы, скважины), что накладывает определенные требования на конструкцию датчиков и оборудования.

Отечественной промышленностью серийно выпускается поверхностный резистивиметр ПР-1 [2], пригодный для измерения УЭС проб, отбираемых из водоемов и водотоков. ПР-1 вполне пригоден при мониторинге и маршрутах на небольших открытых участках, однако большие размеры делают его неудобным при длительных маршрутах по труднопроходимым местам. Для маршрутов по водотокам с глубиной до 1 м вполне пригодны кондуктомеры фирмы HANNA. Рекомендуется использовать кондуктомер DIST-4, пределы измерений и чувствительность которого позволяют работать при минерализациях до 10г/л.

Основным недостатком выпускаемых в настоящее время кондуктомеров является невозможность измерений при глубине, превышающей размеры прибора или длину кабеля (обычно не более 1 м).

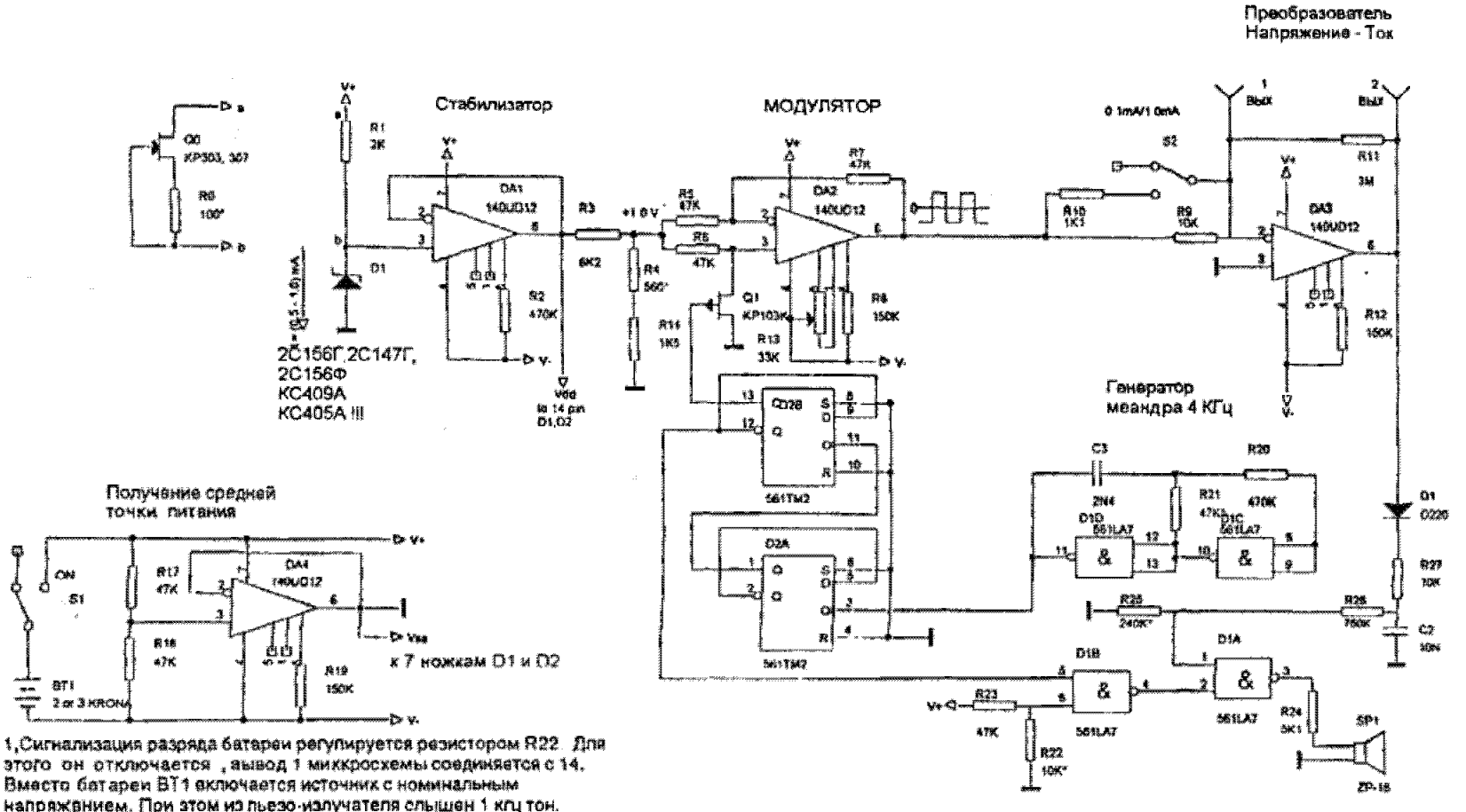
При изготовлении датчика своими силами рекомендуется использовать четырехэлектродный резистивиметр, принципиальная конструкция которого приведена на рис. 3.1. Аналогичные конструкции описаны в [2]. Для удобства выполнения полевых работ к резистивиметру готовят комплект кабелей, обеспечивающий измерения одним датчиком на требуемых глубинах как в водотоках и водоемах, так и в колодцах и скважинах.

Определение коэффициента резистивиметра выполняется не менее, чем на трех эталонных растворах с известными значениями УЭС в диапазоне 0.3÷10 г/л на формуле $к=\rho \times I/\Delta U$, где ρ - УЭС эталонного раствора, ΔU и I – измеряемые напряжение и ток.

Таблицы и графики УЭС различных растворов приведены в [5]. Для удобства приведем значения УЭС для раствора NaCl при температуре 20°С.

М, г/л	0.1	0.3	1	10
УЭС воды, омм	51	16.7	5.5	0.65

Для измерений может использоваться электроразведочная аппаратура на переменном токе (АНЧ-3, ЭРА и др.). Более удобным является измерение ΔU цифровым мультиметром, что позволяет для полевых измерений резистивиметрии и термометрии использовать единый недорогой и компактный измерительный прибор. В этом случае необходимо изготовить источник стабилизированного переменного тока, удовлетворяющий следующим требованиям: фиксированная рабочая частота в диапазоне 100 Гц – 1 кГц, величина тока – 1 mA, стабилизация – не хуже 1%. На рис. 3.2 приведена экономичная схема аналогичного генератора, опробованная нами в течение 5-ти лет. Для контроля стабильности работы всего измерительного канала (датчик-кабель-генератор-измерительный прибор) целесообразно в ходе полевых работ выполнять ежедневные измерения в контрольном растворе с постоянным значением УЭС (емкость с водой).



1,Сигнализация разряда батареи регулируется резистором R22 Для этого он отключается , вывод 1 микросхемы соединяется с 14. Вместо батареи BT1 включается источник с номинальным напряжением. При этом из пьезо-излучателя слышен 1 кГц тон. Устанавливаем минимальное напряжение питания и подбором резистора R22 добиваемся пропадания сигнала. Убираем перемычку между 1 и 14 ножками.

2. Сигнализация перегрузки регулируется резистором R25. При номинальном напряжении питания ,регулируя сопротивление нагрузки , устанавливаем его примерно 0.7 от максимального (когда происходит перегрузка DA3). Подбором R25 добиваемся исчезновения звука.

3. R21 - подбор частоты генератора

4 Подбором R4 , устанавливаем размах напряжения на выходе DA2 1 00 В.

Рис. 3.2. Схема генератора переменного тока.

3.3. Метод естественного электрического поля

Естественные электрические поля вызываются большим количеством природных процессов, среди которых принято выделять следующие:

- *Окислительно-восстановительные.* Возникают на контакте электронных и ионных проводников, например: руда, графит, уголь и вода, а также при интенсивном разложении органики. Величина этих потенциалов в природе может достигать сотен милливольт.
- *Диффузионно-адсорбционные.* Диффузионные потенциалы возникают на контакте растворов с различной минерализацией или пород, насыщенных этими растворами. Адсорбционные потенциалы возникают на контакте пород с различной глинистостью. Регистрируются они совместно и поэтому не разделяются. Величина их составляет до нескольких десятков милливольт.
- *Фильтрационные.* Возникают при движении ионов через поры и трещины породы. Зависят от градиента давления, фильтрационной активности и удельного электросопротивления. Величина их может доходить до нескольких десятков милливольт на горных реках.

При решении гидрогеологических и геоэкологических задач исполнители сталкиваются преимущественно с фильтрационными и диффузионно-адсорбционными потенциалами.

Фильтрационные потенциалы наиболее контрастно проявляются при относительно низких минерализациях (до 0.1 г/л).

Поскольку в природе такая ситуация встречается не часто, на практике мы имеем дело в основном с диффузионно-адсорбционными потенциалами, что позволяет применять метод ЕП для оценки литологического состава придонных отложений (аналогично использованию ПС при геофизических исследованиях в скважине).

В качестве электродов могут использоваться серийно выпускаемые электроды ЭН-1 [7] или их аналоги. Заполнитель электрода – насыщенный раствор $CuSO_4$ на дистиллированной воде. На всех электрических соединениях выполняется тщательная гидроизоляция.

Наиболее удобно выполнять полевые измерения по способу потенциала, когда неподвижный электрод (N) остается на берегу, а подвижный электрод (M) перемещается на плавсредстве с размеченным проводом, подсоединенным к электроду N. В качестве регистратора может использоваться как серийная электроразведочная аппаратура для постоянного тока (АЭ-72, ЭРА), так и цифровые мультиметры. Работы ЕП выполняют профилями длиной не более 200-300 м (более длинные провода с трудом сматываются в воде).

При выполнении полевых работ в обязательном порядке перед измерениями по профилю и по их окончанию измеряется собственная разность потенциалов между электродами в точке стояния неподвижных электродов.

При обработке полевых данных возможное сползание собственной разницы потенциалов разбрасывается по всем точкам измерений [7].

Необходимо отметить, что метод ЕП весьма чувствителен к техногенным электрическим помехам, что ограничивает его применение в промышленных районах. При анализе результатов полевых исследований

необходимо учитывать, что глубинность метода ЕП, как правило, не превышает нескольких метров.

Зависимость потенциалов ЕП от многих природных факторов предопределяет относительную неоднозначность интерпретации. Эта особенность делает обязательным комплексирование ЕП с методом сопротивления, позволяющего решать аналогичные задачи с более высокой однозначностью. По этой причине метод ЕП при работах на акваториях используется преимущественно как вспомогательный. В то же время высокая производительность полевых работ и относительная простота их выполнения делают целесообразным его использование при детальном оконтуривании литологических комплексов с обязательной заверкой выделенных зон методом сопротивлений.

3.4. Метод сопротивлений

Физической предпосылкой применения метода сопротивлений является зависимость удельного электросопротивления от глинистости, пористости, степени трещиноватости (раскарстованности), физического состояния пород, минерализации подземных вод.

Основные решаемые задачи при акваториальных геофизических исследованиях – оценка литологического состава придонных отложений с выделением участков, сложенных хорошо и слабопроницаемыми породами, выделение зон повышенной трещиноватости, выделение и мониторинг контура зон с повышенной минерализацией подземных вод, оценка мощности многолетнемерзлых пород и выделения в них таликов. По значимости метод сопротивления может использоваться как дополнительный (в комплексе с термометрией и резистивиметрией), так и основной.

Работы методом сопротивлений выполняются в двух модификациях – электропрофилирование (ЭП) и зондирование (ВЭЗ). Технология полевых работ и интерпретации детально описана в работах [8,9], поэтому здесь рассматриваются некоторые особенности полевых работ и анализа их результатов применительно к работам на акваториях.

При выполнении полевых работ обычно используют установку, в которой приемные и питающие линии плотно смотаны в «косу», на которой зафиксированы электроды.

Измерительные и питающие электроды удобно изготавливать из отрезков медного многожильного провода ГМП или бытового кабеля. Длина отрезков – около 0.5 м, длина электрода при плотной намотке на «косу» – 5-7 см. Измерения обычно выполняются через коммутатор, позволяющий последовательно подключать необходимые электроды.

Требуемая глубинность для метода сопротивлений при эколого-гидрогеологических работах на акваториях обычно составляет от 0.5÷1м до 20÷30 м.

Рекомендуется при измерениях работать с "косой" из приемных электродов при фиксированном положении питающих. Такой подход обеспечивает возможность использования многоканальных измерителей, позволяющих выполнять одновременные измерения на всех разносах.

Наибольший эффект от таких установок достигается, когда необходимо выполнить значительный объем измерений за ограниченное время.

Рекомендуемые размеры косы для АВ=100 м

№№ п/п	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Расстояние от электрода А до приемных электродов, м	0	0,7	1,3	1,9	3,1	5,3	8,4	14	22	38	62
Разнос АО		1	1,6	2,5	4,2	6,85	11,2	18	30	50	

Работы методом ЭП выполняются не менее, чем на двух разносах, позволяющих оценить изменчивость УЭС в требуемом интервале глубин. Обычно эти разносы выбираются из четырех (АВ=2м, 5м, 20м, 50м).

Работы методом сопротивления могут вестись с поверхности воды (коса висит на поплавках) или со дна. При больших глубинах коса буксируется с помощью плавсредства (резиновая лодка, катер и проч.), при малых (до 0.5 м) перетаскивается по мелководью вручную.

Анализ результатов измерений, выполненных с поверхности воды, выполняется по стандартным методикам [8]. При анализе измерений, выполненных донными установками, необходимо учитывать, что значения $\rho_к$ на начальных разносах будут определяться также соотношением УЭС воды и первого придонного слоя. На рис.3.3 приведены двухслойные кривые ВЭЗ для поверхностной и донной установок.

Обычно выполнение полевых работ и анализ результатов электропрофилирования не представляют трудностей для дипломированных специалистов любого уровня, выполняющих поисково-разведочные и эколого-гидрогеологические работы. Для выполнения полевых работ и анализа результатов ВЭЗ рекомендуется привлекать специалистов-геофизиков.

4. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА АКВАТОРИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

4.1. Выделение участков субаквальной разгрузки по дну неглубоких водотоков (рек, ручьев, мелиоративных каналов)

4.1.1. Основной метод – термометрия. Дополнительные методы – резистивиметрия, ЭП, ВЭЗ.

4.1.2. Физические предпосылки – разница температур подземных и поверхностных вод.

4.1.3. Перед началом измерений измеряется температура подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта в скважинах и родниках, а также температура поверхностных вод по отдельным точкам. Разность между этими величинами позволяет оценить величину максимального ожидаемого аномального эффекта.

4.1.4. Применение термометрии для выделения участков субаквальной разгрузки наиболее эффективно в период времени, когда раз-

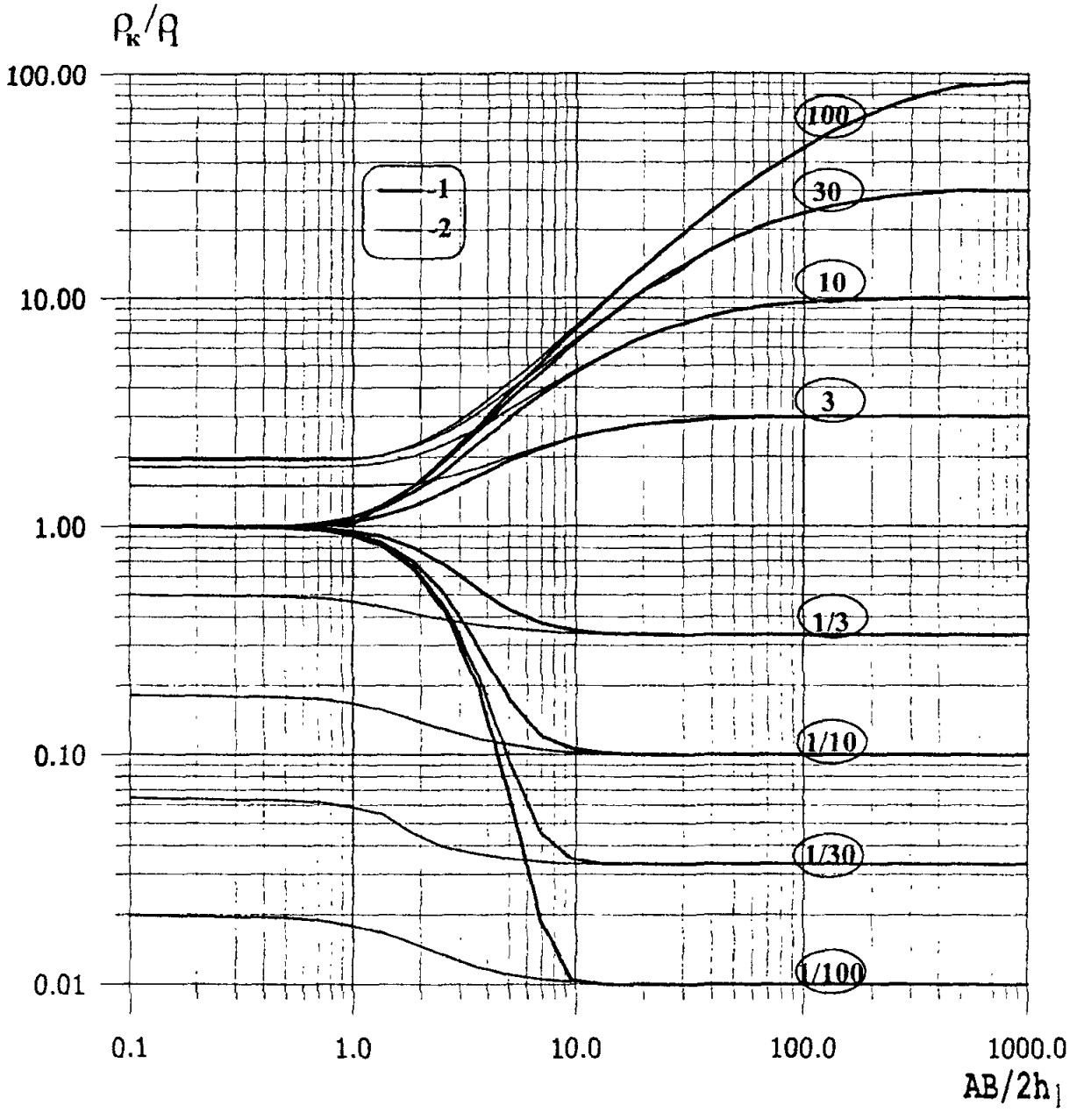


Рис. 3.3. Двуслойные кривые ВЭЗ для поверхностной и донной установок.
(1-поверхность воды, 2-дно, цифра в эллипсе - отношение удельных электросопротивлений донных отложений и воды).

ница между температурой подземных и поверхностных вод максимальна.

В летнее время разница температур подземных и поверхностных вод составляет от 4-6°С (в верховьях рек и ручьев, на горных реках, в области развития многолетнемерзлых пород) до 15-25°С (на равнинных реках). Перед ледоставом и после ледохода разница температур редко превышает 4÷8°С.

В то же время при выделении участков интенсивной субаквальной разгрузки термометрия может выполняться в течение всего года, за исключением одной-двух недель весной и осенью, когда температуры подземных вод и поверхностных вод равны или слабо различимы.

4.1.5. При натурных исследованиях выполняют измерения температуры придонного слоя пород и температуры воды.

Измерения температуры придонного слоя производят с заглублением датчика в грунт на глубину 5-10 см. Рекомендуется выдерживать глубину погружения датчика постоянной.

Измерения температуры воды рекомендуется выполнять вблизи от дна.

4.1.6. На родниках и притоках измерения выполняются в трех точках: в роднике (притоке), до и после его впадения в основное русло. При измерениях в роднике следует проводить предварительную оценку его расхода.

4.1.7. Расстояние между точками измерений определяется ожидаемым размером зоны субаквальной разгрузки (не менее двух точек на зону).

При выявлении температурной аномалии выполняются детализационные исследования, позволяющие уточнить ее размер. Обычно натурные измерения выполняют с шагом 50÷150 м, а при детализации с шагом 5÷25 м.

4.1.8. Привязка к местности во время маршрута выполняются по топокартам и планам необходимого масштаба. Рекомендуется использовать спутниковые навигаторы, что облегчает создание цифровой основы для схем и карт отработанных участков.

4.1.9. В качестве дополнительного метода целесообразно использовать резистивиметрию. Эффективность резистивиметрии определяется разницей поверхностных и подземных вод по минерализации, а также относительной интенсивностью субаквальной разгрузки. В обязательном порядке резистивиметрия выполняется по родникам и притокам (см. пункт 4.1.6).

4.1.10. Результирующими документами для полевых измерений являются:

- схема расположения профилей и точек измерений;
- полевой журнал с результатами измерений в привязке к профилям и точкам, указанным на схеме (или дискета с теми же данными);
- результаты измерений (температура донных отложений и воды, а также УЭС воды) в графической форме. Данные по основному разделу представляются в виде графиков по каждому параметру. Данные по родникам и притокам представляются в виде отдельных точек.

В обязательном порядке наносится линия рельефа или указывается направление течения, а также точки привязки (мосты, броды и т.п.), легко опознаваемые на местности.

4.1.11. Выделение участков субаквальной разгрузки выполняется по участкам аномальных значений температуры донных отложений. Целесообразно заметить, что в летнее время субаквальная разгрузка проявляется как относительно отрицательная аномалия температуры, а в зимнее – как положительная.

На рис.4.1. приведены типовые летние термограммы.

Для удобства выделения аномалий целесообразно провести линию фоновых значений температуры донных отложений. Эта операция позволяет не принимать во внимание неизбежные плавные изменения температуры во времени в течение дня при длительных маршрутах.

4.1.12. Качественная оценка относительной интенсивности субаквальной разгрузки выполняется путем сравнения температуры воды с температурой донных отложений на аномальном участке (рис. 4.1).

4.1.13. Дополнительным критерием оценки интенсивности субаквальной разгрузки может служить соотношение УЭС воды до и после участка разгрузки. Напомним, что достоверность этого критерия определяется разницей минерализации подземных и поверхностных вод.

4.1.14. Окончательным документом при выделении участков субаквальной разгрузки является график измеренных параметров, на которой дополнительно наносятся участки с аномальными значениями температур, соответствующие участкам субаквальной разгрузки с относительной оценкой их интенсивности.

На рис.4.2 приведен пример использования термометрии для выделения участков субаквальной разгрузки при разведке на воду на одном из объектов в Удмуртии. Объектом разведки являлись водоносные горизонты и комплексы, приуроченные к терригенно-карбонатным коллекторам, разделенным глинистыми прослоями. На участках выклинивания воды этих горизонтов могут дренироваться ручьями и реками. Работы проводились в июле. Глубина до дна по реке составляла 1÷1.5 м. Мощность аллювия - 3÷5 м.

Работы выполнялись с шагом 100-150 м (при детализации – 50 м). По результатам акваториальной геофизики были уверенно выделены отрицательные аномалии температуры донных отложений, увязываемые с участками субаквальной разгрузки. Сопоставление температуры донных отложений и воды иа аномальных участках позволило дать качественную оценку интенсивности разгрузки. Наиболее высокая интенсивность была отмечена на участке в районе автомоста. По данным резистивиметрии установлено, что воды в реке пресные, а минерализация воды по ручьям-притокам и прибортовым родникам несколько ниже, чем в реке (УЭС воды по притокам и родникам в 1.1÷1.3 выше, чем в реке). Аналогичные результаты были получены по двум рекам, протекающим на участке работ. Результаты акваториальной геофизики позволили уточнить схему размещения поисково-разведочных скважин, участки проведения гидрологических работ и пункты отбора проб для гидрохимических исследований.

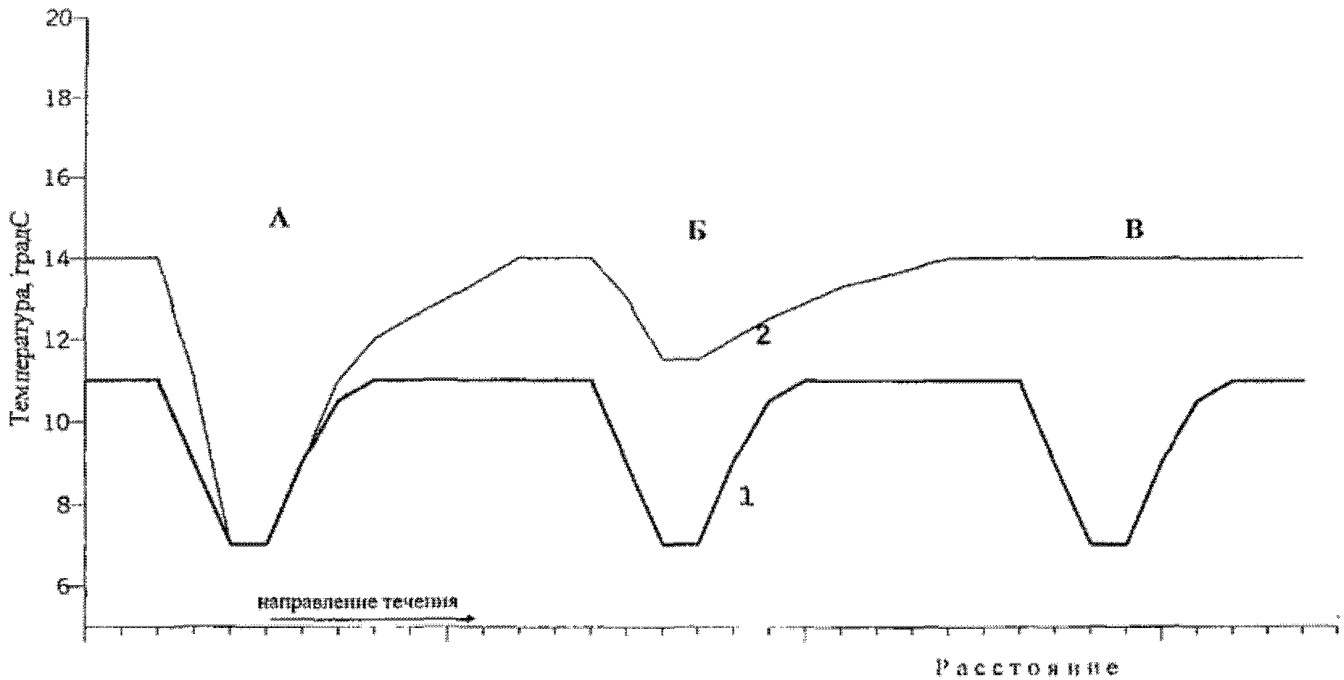


Рис. 4.1. Типовые термограммы на участках субаквальной разгрузки по ручьям и рекам в летний период(1-температура придонных отложений, 2-температура воды; относительная интенсивность разгрузки: А-высокая, Б-средняя, В-слабая).

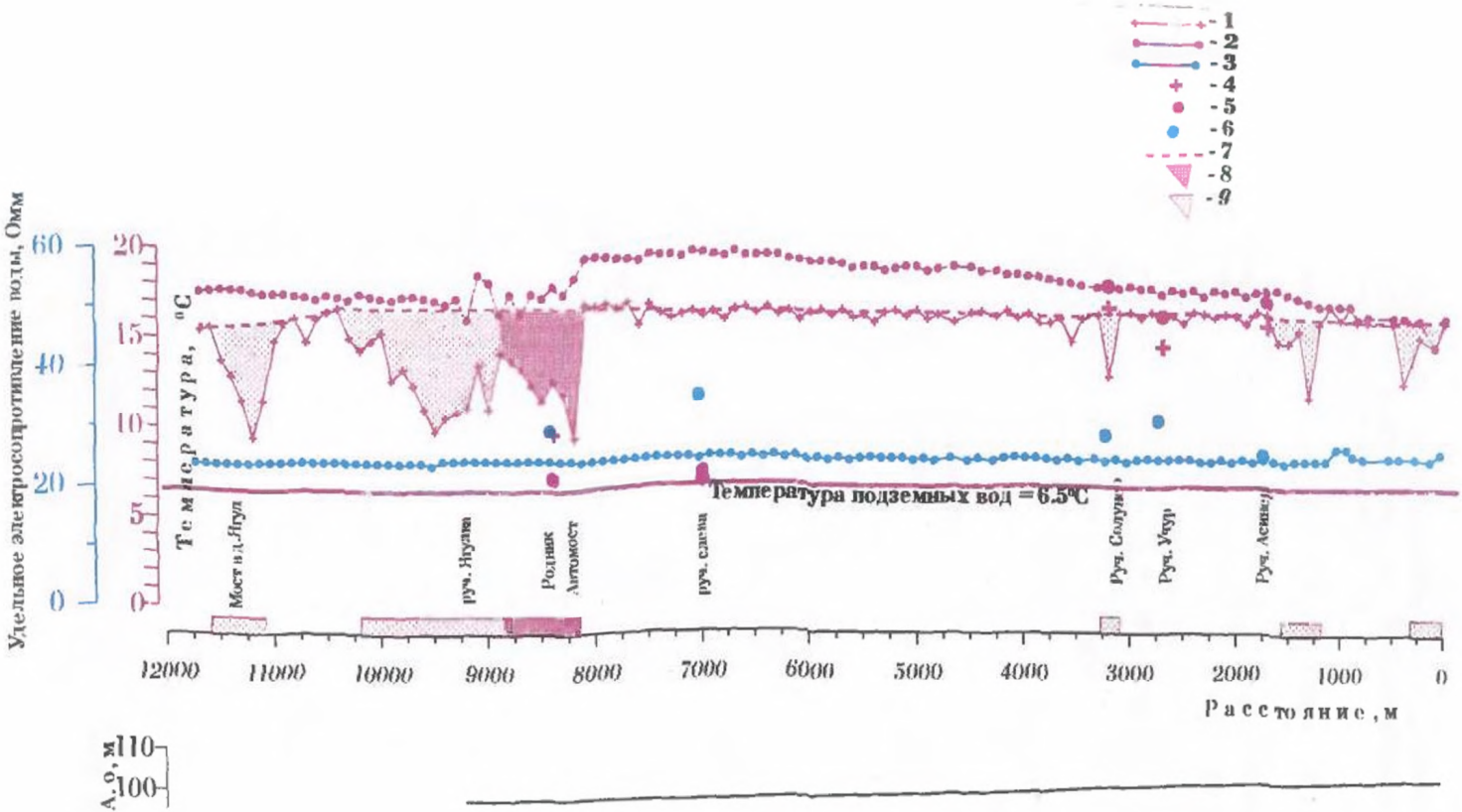


Рис. 4.2. Результаты геофизических работ по р.Люга (1, 2, 3 - температура донных отложений, температура и УЭС воды основного русла; 4, 5, 6 - то же для притоков и родников; 7 - линия фоновых значений температуры; 8, 9 - температурные аномалии и соответствующие им участки субаквальной разгрузки соответственно высокой и низкой интенсивности.

4.2. Выделение участков интенсивного взаимодействия поверхностных и подземных вод по дну закрытых и полузакрытых водоемов

4.2.1. Основные методы – термометрия, ЭП, ВЭЗ. Дополнительный метод – резистивиметрия.

4.2.2. *Приведем предпосылки для использования термометрии.* В закрытых и полузакрытых водоемах распределение температуры на глубине описывается экспонентой ($T \sim e^{-kH}$). Очевидно, что на поверхности водоемы температура будет равна температуре воздуха, а на дне – будет определяться условиями взаимодействия вод водоема и подземных вод. На рис. 4.3 приведены типовые термограммы для различных условий.

4.2.3. Участки субаквальной разгрузки с высокой достоверностью могут быть выделены по данным термометрии.

4.2.4. Для выделения участков с другими условиями взаимодействия необходимо использовать метод сопротивлений, применяющийся для оценки литологического состава придонных отложений. Более подробно этот вопрос рассматривается в разделе 4.4.

4.2.5. Измерения на водоемах производят по сети профилей, размещение которых определяется размерами водоема и ожидаемыми размерами участков интенсивного взаимодействия.

4.2.6. Измерения температуры выполняются в двух точках – на поверхности и на дне водоема. Одновременно обязательно измеряется глубина водоема, для чего может быть использован кабель термодатчика.

4.2.7. При заметном различии поверхностных и подземных вод по минерализации, а также при необходимости оценки минерализации поверхностных вод в комплексе с термометрией выполняется резистивиметрия.

4.2.8. По берегу водоема в обязательном порядке выполняется термометрия с термозондированиями для выделения возможных участков береговой субаквальной разгрузки (см. 4.1).

4.2.9. Передвижение по водоему рекомендуем выполнять на резиновой лодке.

4.2.10. Краевые точки профилей закрепляются вешками, являющимися ориентирами при перемещении по водоему. Привязка пунктов измерений выполняется с помощью мерного шнура. При необходимости точной топографической привязки пункты измерений привязываются инструментально непосредственно в процессе наблюдений.

4.2.11. Результирующими документами для полевых измерений термометрии являются:

- схема расположения профилей и точек измерений;
- полевой журнал с измеренными и обработанными данными в привязке к профилям и точкам;
- график зависимости температуры от глубины;
- графики измеренных параметров по отработанным профилям с указанием участков для выполнения работ методом сопротивлений.

4.2.12. По результатам анализа данных термометрии и резистивиметрии выбираются участки для проведения электроразведочных работ методом ВЭЗ. Перед методом ВЭЗ ставят следующие задачи:

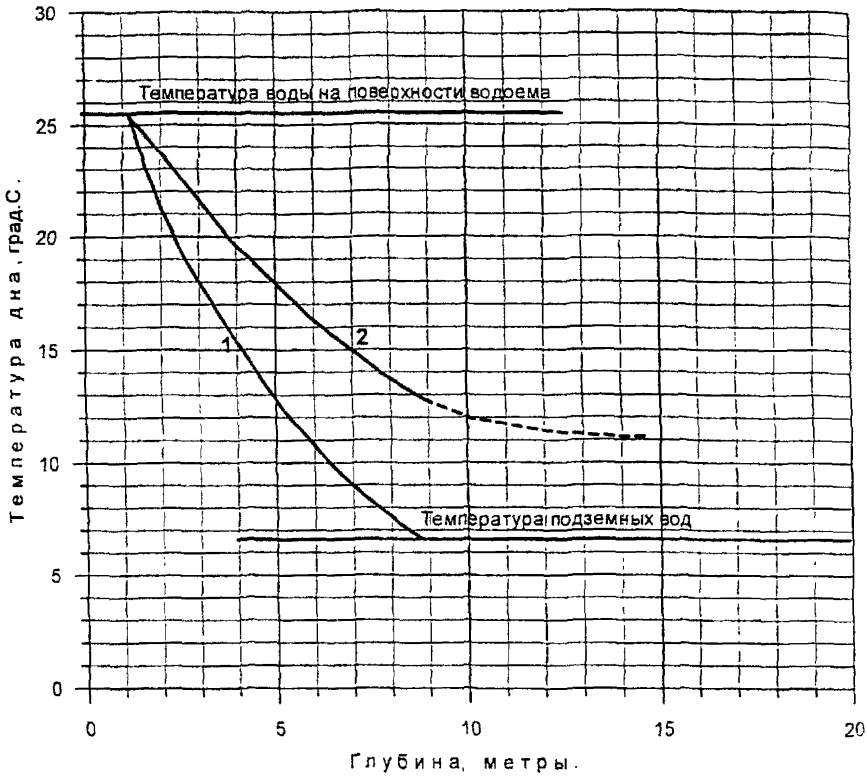


Рис. 4.3. Типовые графики изменения температуры *придонного слоя воды* в зависимости от глубины по закрытым и полузакрытым водоемам
(1 - для участков субаквальной разгрузки, 2 - для участков инфильтрации или отсутствия заметного взаимодействия *поверхностных и подземных вод*).

- Оценка литологического состава придонных отложений с выделением интервалов, сложенных хорошо и слабопроницаемыми породами;
- Выделение и оконтуривание зон повышенной минерализации подземных вод (при необходимости).

4.2.13. Выделение участков субаквальной разгрузки выполняется по данным термометрии, как участки с температурой придонного слоя воды, близкой к температуре подземных вод.

Участки инфильтрации выделяются по результатам электроразведки как участки, сложенные хорошо проницаемыми отложениями.

В результате интерпретации составляются следующие документы:

- схема (карта) изобат;
- схема (карта) УЭС (минерализации) воды придонного слоя;
- схема (карта) изотерм;
- схема участков интенсивного взаимодействия поверхностных и подземных вод;
- графики измеренных параметров с нанесением рельефа дна и геоэлектрического разреза придонных отложений.

В качестве примера приведем результаты акваториальных геофизических исследований по водоемам в окрестности г. Тольятти, выполненных в ходе поисково-разведочных работ на воду.

Водоемы (озера и отстойники) имеют преимущественно искусственное происхождение (старые песчаные карьеры). Донные отложения на озерах представлены преимущественно неоген-четвертичными песками, перекрытыми маломощным слоем ила. В отстойниках на дне уложен слой глины мощностью до 5 м.

Исследования выполнялись в июле 1998 г. по девяти озерам и отстойникам. Термометрия и резистивиметрия выполнялись по профилям с шагом 10÷25 м. ВЭЗ (АВ≈100 м) проводились по тем же профилям с шагом 25÷50 м.

На рис. 4.4 в качестве примера приведены результаты работ по профилям, пересекающим озера №№8 и 7 с различными условиями взаимодействия поверхностных и подземных вод. Из приведенных данных очевидно, что при одинаковых глубинах температура придонного слоя существенно отличается: для озера №8 на глубине 5-6 м она составляет 7-8°С, а для озера №7 составляет 19-20°С. Анализ распределения температуры с глубиной по всем изученным водоемам показал, что уверенно выделяются два типа зависимости (рис. 4.5).

Отличительная особенность первого типа – выход с увеличением глубины на постоянные значения температуры, не зависящие от глубины и совпадающие с температурой подземных вод, что подтвердилось в результате термометрии скважин.

Отличительная особенность второго типа - незначительное плавное падение температуры с глубиной с достижением на глубинах 5-6 м значений, сопоставимых с температурами на поверхности.

Математическая обработка показала, что для обоих типов зависимости температуры от глубины полученные данные наилучшим образом аппроксимируются экспонентой. При этом показатель степени для зависимостей первого типа составляет: -0.07÷-0.075, а для второго типа: -0.18÷-0.22. Результаты математической обработки приведены в нижеследующей таблице.

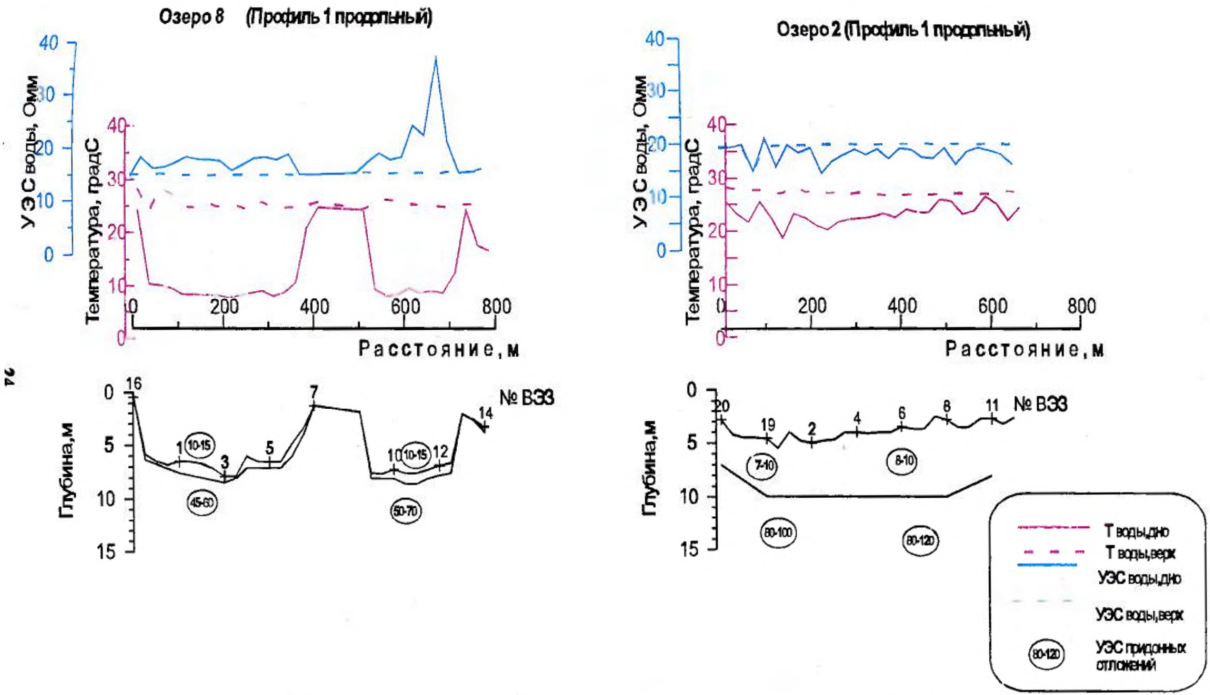


Рис. 4.4. Примеры полевых материалов акваториальной геофизики по озерам.

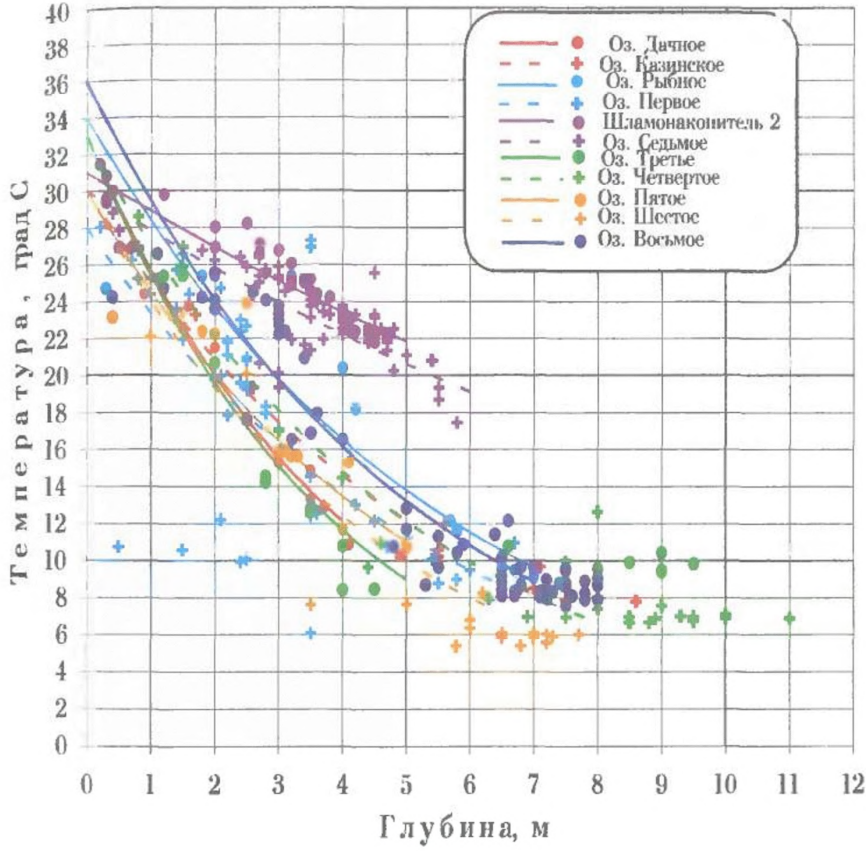


Рис. 4.5. Зависимость температуры придонного слоя воды от глубины по озерам в окрестности г. Тольятти

№ п\п	№ или название водоема	Аппроксимирующее уравнение	К-нт корреляции	Ассимптота,град С
1	оз. Дачное	T = 33 x exp(- 0.22 H)	0.98	не выделена
2	оз. Казинское	T = 30 x exp(- 0.18 H)	0.96	7.8
3	оз.Рыбное	T = 34 x exp(- 0.18 H)	0.96	8
4	оз.Первое	T = 28 x exp(- 0.18 H)	0.97	8
5	Шламонакопитель 2	T = 31 x exp(- 0.07 H)	0.95	не выделена
6	оз.Седьмое	T = 30 x exp(- 0.075 H)	0.96	не выделена
7	оз. Третье	T = 33 x exp(- 0.22 H)	0.95	9.8
8	оз. Четвертое	T = 33 x exp(- 0.2 H)	0.94	7
9	оз.Пятое	T = 30 x exp(- 0.2 H)	0.93	не выделена
10	оз. Шестое	T = 30 x exp(- 0.2 H)	0.93	6
11	оз.Восьмое	T = 36 x exp(- 0.2 H)	0.97	8.5

Обращает на себя внимание, что ассимптотические значения температуры придонного слоя меняются в интервале от сравнительно широком диапазоне температур 6°С до 9.8°С. Это вызвано наличием техногенного температурного загрязнения, приведшего к изменению температуры подземных вод.

Таким образом, совпадение температуры придонного слоя воды с температурой подземных вод по озерам с зависимостью первого типа свидетельствует о наличии субаквальной разгрузки на момент измерений.

По данным ВЭЗ по водоемам с температурной зависимостью первого типа установлено, что на глубину 25-30 м разрез имеет двухслойное строение:

- непосредственно на дне озера лежит низкоомный слой (УЭС=10-15 омм) мощностью 0.5÷1.5 м;
- ниже по разрезу залегает относительно высокоомный слой (УЭС =40 ÷120 омм), мощностью более 25 м (глубина подошвы слоя не установлена).

По двум водоемам с температурной зависимостью второго типа разрез придонных отложений оказался различным. Для озера №7 он полностью совпадал с описанным выше, а в шламонакопителе № 2 непосредственно на дне был выделен низкоомный слой с УЭС=6÷9 омм мощностью 5-6 м, отождествляемый с глинами, уложенными на дно шламохранилища в качестве защитного экрана. Таким образом, комплексный анализ результатов термометрии и ВЭЗ позволил установить, что на момент измерений по озеру № 7 происходила инфильтрация, а на шламонакопителе №2 участков интенсивного взаимодействия выделено не было.

По данным резистивиметрии по всем озерам была выполнена оценка минерализации воды и выделены участки с минерализации свыше 1 г/л.

На рис. 4.6 приведеиы примеры результатов акваториальной геофизики по двум озерам с различными условиями взаимодействия поверхностных и подземных вод.

По озеру 3 был выделен участок субаквальной разгрузки по относительно отрицательной аномалии температуры. К этому же участку приурочены точки с максимальными значениями минерализации, что является косвенным доказательством субаквальной разгрузки вод повышенной минерализации.

По озеру 7 были выделены участки инфильтрации по данным ВЭЗ, как участки с максимальными значениями УЭС придонного слоя ила, что указывает на его опесчаненность. Косвенным доказательством инфильтрации является тот факт, что на этих же участках отмечаются более высокие температуры (25-26°С), чем на других участках (21.5-22.5°С) с сопоставимыми глубинами (3.5-4.5 м).

Результаты акваториальной геофизики использовались при составлении схемы минерализации подземных и поверхностных вод, при оценке условий питания целевого водоносного комплекса, для задания точек гидрохимического опробования и уточнения положения гидрогеологических скважин.

4.3. Оценка минерализации поверхностных вод с выделением зон их загрязнения

4.3.1. Эта задача может решаться при оценке минерализации как в пространстве, так и во времени. Основной метод - резистивиметрия (кондуктометрия).

4.3.2. Физнческие предпосылки – взаимосвязь между содержанием водорастворимых солей (минерализацией) и удельным электросопротивлением (проводимостью), описываемая зависимостью [1,3]:

$$УЭС_{воды} = 10 / \sum_{i} (C_{a,i} l_{a,i} f_{a,i} + C_{k,i} l_{k,i} f_{k,i})$$

где C_a и $C_к$ – концентрации анионов и катионов в растворе, l_a и $l_к$ – их подвижности, f_a и $f_к$ – коэффициенты электропроводности. Напомним, что УЭС, измеряемое в резистивиметрии и электропроводность (χ), измеряемая в кондуктометрии обратно пропорциональны: УЭС = $1/\chi$.

4.3.3. При минерализации до 50 г/л взаимосвязь между УЭС воды (омм) и минерализацией М (г/л) с хорошей для практики точностью описывается уравнением вида $УЭС = C / M$, где С – постоянная величина. Для бинарных электролитов С меняется в диапазоне от 5÷6 для хлоридов, до 10÷14 для сульфатов. Для гидрокарбонатов С = 7÷8. Напомним, что поверхностные воды относятся преимущественно к гидрокарбонатному типу.

4.3.4. $УЭС_{воды}$ зависит от температуры. Эта зависимость с хорошей для практики точностью описывается уравнением УЭС = $УЭС_{20}$ х [1-α(t-20)] [5], где $УЭС_{20}$ – значение. полученное при температуре 20°С. Температурный коэффициент α зависит от состава солей и температуры, но для диапазона 0-50°С его величину можно принять равной 0.022. Таким образом, при изменении температуры на 10°С УЭС воды меняется примерно на 20%.

4.3.5. При выполнении работ по неглубоким поверхностным водотокам и водоемам измерения выполняются на дне. При работе на глубо-

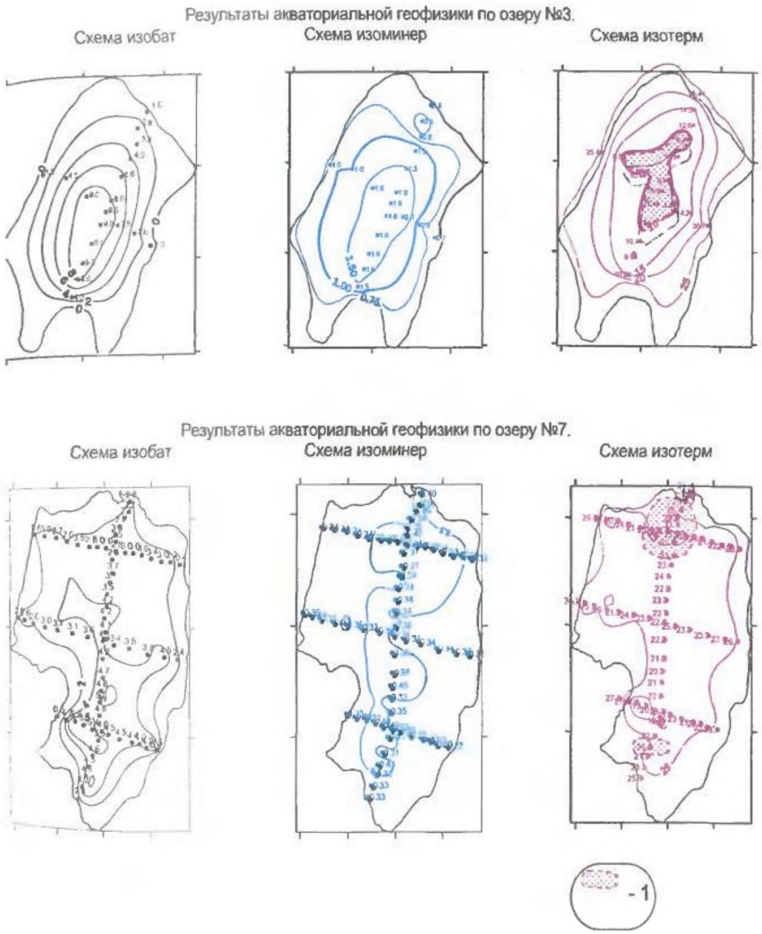


Рис. 4.6. Примеры результатов акваториальных геофизических исследований по озерам в окрестности г.Тольятти (1 - участки интенсивного взаимодействия поверхностных и подземных вод).

ких водоемах измерения в обязательном порядке выполняются на поверхности воды и на дне.

4.3.6. Последовательность полевых работ резистивиметрии и особенности их выполнения аналогичны термометрии.

При работе по поверхностным водотокам работы выполняются в соответствии с п.п. 4.1.5-4.1.8.

При работе на водоемах работы выполняются в соответствии с п.п.4.2.4-4.2.8.

4.3.7. При резистивиметрии в обязательном порядке измеряют температуру воды.

При обработке результаты измерений приводят к единой температуре. Рекомендуемая формула для приведения к температуре 20°С (5):

$$УЭС_{20} = УЭС_{изм.}[(1 + 0{,}022(t - 20)]$$

4.3.8. Для получения эмпирических зависимостей между УЭС и минерализацией выполняют параметрические измерения, совмещенные с отбором проб на общий химический анализ. При необходимости получения достоверных количественных оценок минерализации по данным резистивиметрии, а также при проведении мониторинга параметрические измерения выполняют в обязательном порядке.

4.3.9. Грубая количественная оценка минерализации может выполняться по формуле: $M[г/л] = 7/УЭС[Ом.м]$.

4.3.10. Наиболее достоверная количественная оценка минерализации выполняется по эмпирическим зависимостям, составленным по результатам параметрических измерений.

Примеры подобных зависимостей для различных регионов приведены на рис. 4.7.

4.3.11. Регулярные измерения выполняются по точкам, закрепленным на местности реперами или привязанным к долговременным ориентирам (мосты, скважины, широкие просеки, ЛЭП и проч.). Для повышения точности рекомендуется выполнять измерения с двух - трехкратной повторностью

4.3.12. Результирующими документами полевых измерений резистивиметрии являются:

- схема расположения профилей и точек измерений;
- полевой журнал с измеренными и обработанными данными.

4.3.13. По данным резистивиметрии составляют графики и схемы (карты) измеренных (УЭС) или трансформированных (М) параметров с выделением участков повышенной минерализации. Выделение этих участков может выполняться по двум критериям.

Первый критерий – выделение зон с минерализацией выше 1 г/л (ПДК по минерализации).

Второй критерий – выделение зон с минерализацией заметно выше фоновой. Второй критерий применяется, как правило, в районах с минерализацией менее 1 г/л.

4.3.14. При мониторинге выполняется оценка измерений минерализации во времени относительно фоновых значений, за которые принимаются результаты измерений, полученные на этапе съемки, предшествующей мониторингу, или на первом этапе мониторинга.

Оценка изменений может выполняться двумя путями:

- по абсолютным значениям изменений $\Delta M = M - M_{фон}$, где М – текущее, а $M_{фон}$ – фоновое значение минерализации.

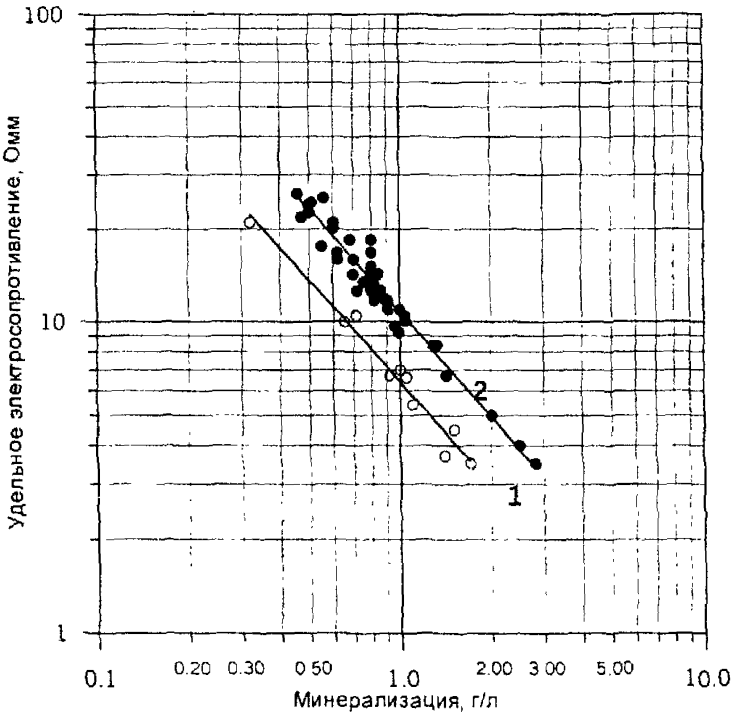


Рис.4.7. Эмпирические зависимости между удельным электросопротивлением и минерализацией воды.(1-Большекизильское МППВ, преимущественно гидрокарбонатные воды, 2- МППВ Татарстана, преимущественно сульфатные воды).

- по относительным значениям изменений $\delta M = (M - M_{фон})/M_{фон}$.

Такая оценка позволяет получить представление о направленности изменений во времени.

Учитывая обратно пропорциональную взаимосвязь УЭС воды и минерализации, рекомендуем выполнять вычисления по следующим формулам:

$$\Delta M = 7(\rho_ф - \rho)/\rho_ф \cdot \rho$$

$$\delta M = (\rho_ф - \rho)/\rho$$

где ρ - текущее, а $\rho_ф$ - фоновое значение УЭС.

4.3.15. В результате обработки данных мониторинга представляются следующие графики и схемы:

- графики и схемы измеренных (УЭС) или рассчитанных (М) параметров для каждого цикла наблюдений с указанием времени измерений;
- графики и схемы абсолютных и относительных изменений минерализации для каждого цикла наблюдений по сравнению с фоновыми значениями.

4.4. Изучение строения придонных отложений

4.4.1. Изучение строения придонных отложений выполняется на основе оценки литологического состава пород с использованием электроразведки.

4.4.2. Основной метод – электроразведка методом сопротивлений в модификации ВЭЗ. Дополнительные методы – электропрофилирование (ЭП) и метод естественного поля (ЕП).

4.4.3. При полевых работах методами ВЭЗ и ЭП приемные и питающие электроды могут размещаться как на дне, так и на поверхности воды. При работах методом ЕП электроды размещаются только на дне. В остальном методика полевых работ при работе на акваториях аналогичны наземным работам, рассмотренным в [4,9].

4.4.4. Интерпретация результатов ВЭЗ, выполненных с поверхности воды, проводится по стандартным методикам. При интерпретации ВЭЗ, выполненных со дна, теоретической основой является решение прямой задачи ВЭЗ для погруженного электрода [8]. Примеры двухслойных кривых ВЭЗ для донных установок приведены на рис. 3.3. В отличие от кривых ВЭЗ для наземных установок левая ассимптота кривых ВЭЗ для донных установок равна $2\rho_{воды} \times \rho_{дна}/(\rho_{воды} + \rho_{дна})$. Для достоверной оценки УЭС придонных отложений используют данные резистивиметрии. Оценка литологического состава выделенных геоэлектрических горизонтов выполняется на основании параметрических измерений, выполненных в пунктах с известным разрезом (шурфы, скважины, участки отбора донных проб на грансостав и проч.). В качестве опорных данных, позволяющих установить связь литологического состава пород и УЭС может быть использован опыт работ на участках со сходными геологическими условиями. На рис. 4.8. приведены наиболее часто встречающиеся УЭС для водонасыщенных пород различного литологического состава при минерализации до 1 г/л.

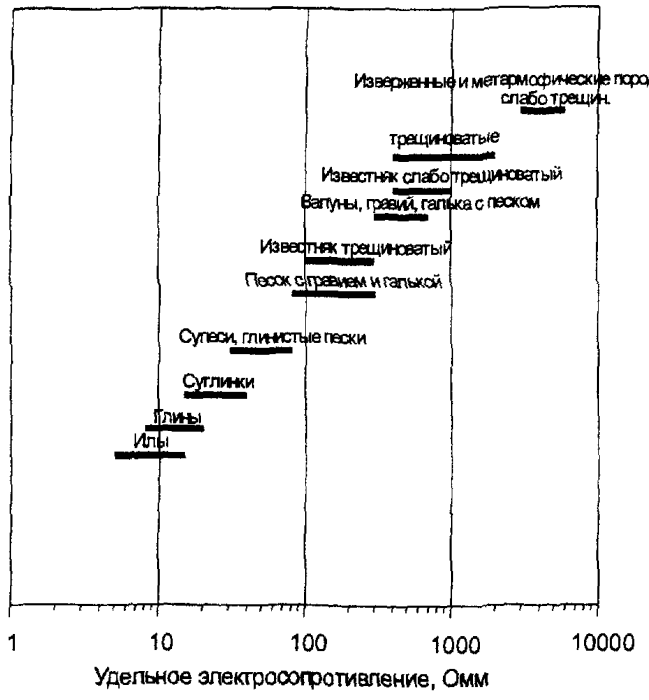


Рис. 4.8. Типовые значения удельного электросопротивления для основных литотипов.

4.4.5. Интерпретация результатов электропрофилирования аналогична интерпретации диаграмм КС при геофизических исследованиях скважин.

При анализе результатов измерений по дну следует иметь в виду, что для ситуаций, когда величина разносов АО (АВ/2) сопоставима с глубиной до дна, значения КС могут быть искажены в зависимости от соотношения $\rho_{воды}/\rho_{пород}$ (рис.3.3):

- $\rho_{воды}/\rho_{пород} < 1$ – значения КС занижены;
- $\rho_{воды}/\rho_{пород} > 1$ – значения КС завышены.

Первая ситуация ($\rho_{воды}/\rho_{пород} < 1$) встречается наиболее часто. Вторая ситуация типична для районов с ультрапресными поверхностными водами и преимущественно глинистыми придонными отложениями (районы Крайнего севера, высокогорные плато и т.п.). Тем не менее, при навыке интерпретации диаграмм КС интерпретация графиков донного электропрофилирования методом сопротивлений выполняется без затруднений.

4.4.6. Интерпретация результатов ЕП аналогична интерпретации диаграмм ПС при геофизических исследованиях скважин.

Отрицательные аномалии ЕП соответствуют участкам, сложены относительно проницаемыми породами, а положительные – участкам с относительно слабопроницаемыми породами. Наиболее достоверно интерпретация графиков и схем ЕП выполняется при знании литологического состава пород на нескольких участках, соответствующих максимальным и минимальным значениям ЕП. Оценка литологического состава на аномальных участках ЕП может выполняться с использованием ВЭЗ и ЭП.

Следует иметь в виду, что относительная дифференцированность графиков ЕП заметно ниже, чем графиков КС. В то же время участки с высокой проницаемостью по результатам ЕП выделяются с высокой достоверностью.

4.4.7. Результирующие документы при оценке строения придонных отложений:

- Метод ВЭЗ:
  - геоэлектрические разрезы по профилям ВЭЗ с нанесением литологического состава выделенных горизонтов и линией рельефа дна;
  - таблица или график соответствия литологии и УЭС выделенных геоэлектрических горизонтов;
  - схемы (карты) литологического состава придонных отложений с выделением участков, сложенных хорошо и слабопроницаемыми отложениями.
- Метод ЭП и ЕП: графики и схемы измеренных параметров с указанием литологического состава выделенных зон.

В качестве примера приведем результаты ЭП и ЕП по дну реки Кедровка (Пушкинское МППВ в Южном Приморье, рис. 4.9). Измерения выполнялись с шагом 25 м, на участке с аномально низкими значениями ЕП шаг составлял 5÷10 м. Глубина до дна не превышала 0.5 м. Из приведенных графиков видно, что значения $\rho_к$ меняются в широком диапазоне от 30-50 омм до 200-300 м, что позволяет надежно оценивать литологический состав придонных отложений в интервале глубин 2-5 м. По данным ЕП уверенно выделена отрицательная аномалия величиной до 50 мв, совпадающая с участком максимальных значений $\rho_к$ (200-300 омм) и

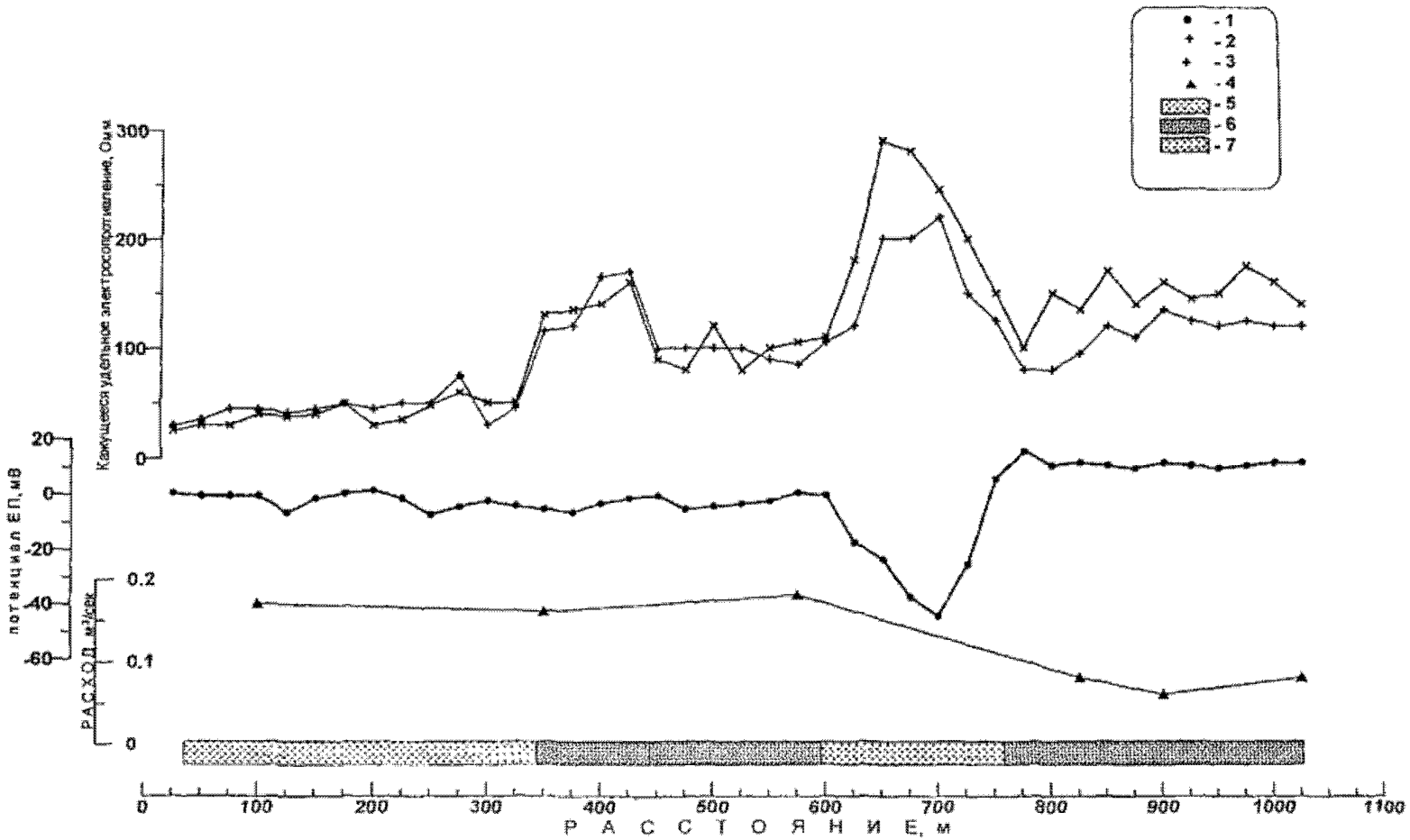


Рис. 4.9. Результаты работ методами ЭП и ЕП по р. Кедровка, Пушкинское МППВ (1 - Uen, 2, 3 - КС для AB=6м и 20м 4-результаты гидрометрии, 5, 6, 7 - *песок глинистый, песок с гравием, песок с валунами и галькой*)

отождествляемая с участком наиболее интенсивного взаимодействия поверхностных и подземных вод, литологически сложенным валунно-галечниковыми отложениями с песком.

Результаты исследований использовались прн составленни схемы водопроводимости аллювиального водоносного горнзонта, а также при задании участка кустовой откачки для определения связи с рекой. Результаты гидрометрии (рис.4.9), а также результаты ОФР подтвердили данные, полученные с использованием геофизических методов.

4.5. Выделение подрусловых таликов в многолетнемерзлых породах

4.5.1. Основной метод – электроразведка методом сопротивления (ВЭЗ, ЭП).

4.5.2. Физические предпосылки – днфференциация по УЭС мерзлых и талых пород.

4.5.3. Задача электропрофилирования – выделение границ таликов. Задача ВЭЗ – оценка мощностн многолетнемерзлых пород, изученне строения подрусловых отложенний.

4.5.4. При полевых работах питающие и приемные электроды могут располагаться как по дну, так и на поверхности воды. В остальном полевые работы выполняются в соответствии с [4].

4.5.5. Формальная интерпретация ВЭЗ и ЭП выполняется аналогичнo п.п. 4.4.4., 4.4.5.

4.5.6. Выделение участков, сложенных талыми и мерзлыми породами, выполняется на основе параметрических измерений, а также опыта работ на участках с аналогичными мерзлотными и геолого-гидрогеологическими условиями. Приведем типовые значения для удельных электросопротивлений мерзлых и талых пород.

Литология	УЭС, Омм	
	талые	мерзлые
1. Глины, супеси	10-30	60-120
2. Супеси, глинистые пескн	*30-70*	*100-200*
3. Пески, пески с гравием	100-200	> 400
4. Валуны, галька с песчаным заполнителем	300-600	> 600

4.5.7. Результнрующие документы:

- графики электропрофилирования, геоэлектрнческие разрезы с выделенными зонами талых и мерзлых пород;
- таблица или графнк соответствия УЭС и физического состояния выделенных геоэлектрических горизонтов.

Приведем пример выделения таликов в многолетнемерзлых породах при поисках н разведке подземных вод в Южной Якутин (Верхненерюнгринское МППВ).

Работы ВЭЗ, ЭП выполнялись в комплексе с термометрией. Расстояния между точками измерений для ЭП составляют 25 м, для ВЭЗ-100 м. Измерения выполнялись по дну при глубине не более 1 м. ЭП вы-

полнялось на двух разносах: АВ=6 м, 20 м, максимальный разнос для ВЭЗ составил АВ=100 м. На рис.4.10 приведен фрагмент профиля, отработанного по р. Нерюнга. Талики выделялись по данным ЭП, как участки пониженных значений КС и в дальнейшем заверялись с использованием ВЭЗ. Все талики приурочены к зонам повышенной трещиноватости в коренных породах. По отдельным таликам выделены участки субаквальной разгрузки.

Результаты работ использовались при составлении схемы трещиноватости и при задании скважин на воду.

4.6. Оценка изменения во времени размеров участков субаквальной разгрузки при изменении уровня подземных вод

4.6.1. Необходимость в решении этой задачи возникает при оценке эффективности мероприятий и сооружений, предназначенных для защиты поверхностных вод (водопонижение при дренаже или откачке из скважин, ПФЗ, плотины), оценке условий восполнеиия запасов подземных вод и проч.

4.6.2. Основные задачи - оценка изменения во времени количества зон разгрузки, их размеров и качественная оценка их интенсивности.

Основной метод – термометрия, дополнительные – резистивиметрия, ВЭЗ.

4.6.3. На начальном этапе выполняются исследования, направленные на выявление участков субаквальной разгрузки и оценку эколого-гидрогеологических и геологических условий:

- изучение литологического состава пород по профилю термометрии – обязательно;
- оценка минерализации поверхностных вод с выделением участков загрязнения - при необходимости.

Технология геофизических исследований при решении вышеперечисленных задач изложена в разделах 4.1÷4.5.

На основании результатов исследований, полученных на начальном этапе, принимается решение о целесообразности использования термометрии для регулярных наблюдений за зонами субаквальной разгрузки, необходимости использования резистивиметрии.

4.6.4. При выполнении натурных исследоваиий в обязательном порядке соблюдаются следующие условия:

- термозондирования выполняются в пунктах, закрепленных реперами. В спокойных условиях (отсутствие сильных паводков) мы рекомендуем зафиксировать датчики на весь период измерений, заглубив их в дно на 10-15 см;
- измерения выполняются с двух - трехкратной повторностью на каждой точке, что позволяет оценить погрешность наблюдений;
- выполняются измереиия в пьезометрах и близлежащих скважинах. Эти даиные при обработке используются при оценке максимально возможного аномального эффекта. Измерения температуры в пьезометрах и скважинах целесообразно совмещать с измерениями уровня подземных вод.

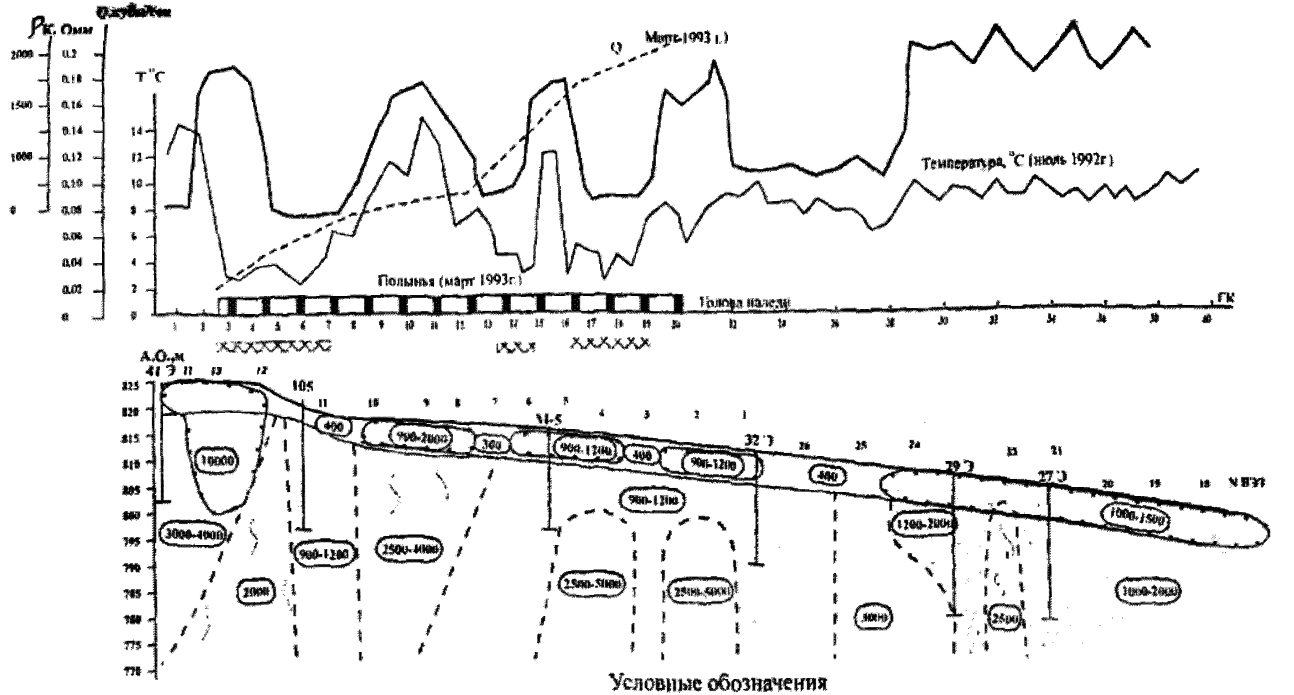


Рис. 4.10. Выделение таликов по р. Нерюнга по данным ВЭЗ и ЭТ

В остальном методика полевых работ не отличается от изложенной в разделе 4.1. Для уменьшения влияния суточных колебаний температуры рекомендуем выполнять измерения в течение 4-5 часов.

4.6.5. Обработка и интерпретация результатов каждого цикла выполняется в следующей последовательности:

Результаты полевых измерений температуры представляется в виде набора графиков для следующих параметров: температура донных отложений ($T_д$), температура воды в реке ($T_в$), температура воды в пьезометрах ($T_п$).

Рекомендуем выполнять обработку с использованием общепринятых стандартных программных средств "Excel" и "Grapher".

Проводится линия "тренда" (фона) для температуры донных отложений $T_{дф}$ по точкам, наиболее близким по температуре к $T_в$.

Выделяются участки с относительно аномальными значениями:

$$T_а = T_д - T_{дф}$$

Выполняется оценка максимально возможной величины аномального эффекта Ta_{max} на участках с максимальной интенсивностью разгрузки подземных вод по формуле:

$$Ta_{max} = T_п - T_в.$$

Производится качественная оценка отиосительной интенсивности разгрузки по следующим критериям:

- разгрузка не фиксируется (отсутствие разгрузки или минимальная ее интенсивность):
$$T_д - T_{дф} \le (0.5 - 1)°C;$$
- разгрузка средней интенсивности:
$$0.5 \div 1°C < |T_д - T_{дф}| \le Ta_{max}/2;$$
- интенсивная разгрузка:
$$Ta_{max} \ge |T_д - T_{дф}| \ge Ta_{max}/2$$

Отчетным документом для работ по каждому циклу термозондирований является график, на котором приведены температуры донного слоя, воды в водоемах и водотоках и подземной воды (по пьезометрам). В нижней части графика приводятся зоны субаквальной разгрузки с оценкой их интенсивности.

Приведем пример использования термометрии при оценке эффективности мероприятий по локализации и ликвидации загрязнений.

На одной из нефтебаз вследствие утечек нефтепродуктов происходило загрязнение вод реки, протекающей по территории нефтебазы. Для уменьшения высачивания нефтепродуктов в реку были пробурены дренажные скважины вдоль береговой линии. На рис.4.11 приведены результаты акваториальной термометрии до начала откачки и через 10 дней после ее начала. Работы выполнялись по точкам, закрепленным на местности или привязанным к легко опознаваемым ориентирам (пьезометры, гидропосты, опоры мостов, скважины). В результате исследований установлено:

- зоны субаквальной разгрузки уверенно фиксируются по данным термометрии;
- после включения дренажных скважин размеры зон и их относительная интенсивность уменьшились.

Полученные данные позволили использовать термометрию на этом участке для оценки эффективности защитной дренажной системы в те-

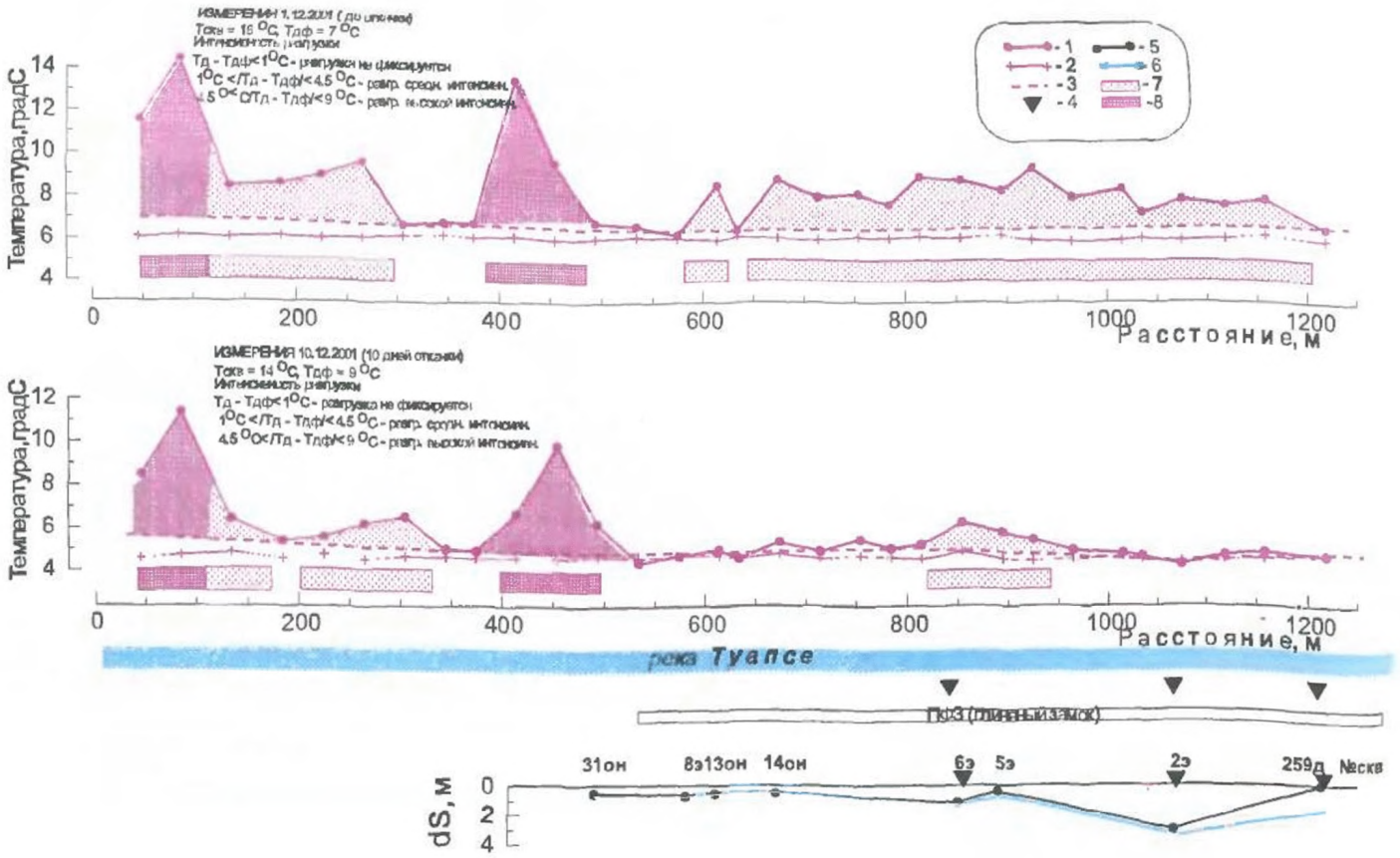


Рис. 4.11. Пример применения термометрии для оценки размеров зон субаквальной разгрузки при откачке из скважин защитной дренажной системы (1-температура донных отложений Тд, 2-температура воды, 3-фоновая температура донных отложений Тдф, 4-дренажные скважины, 5-понижение УНП, 6-понижение УПВ или ВНК, температурные аномалии и соответствующие им участки разгрузки: 7-средней интенсивности, 8-высокой интенсивности).

чение года. Более подробно результаты этих исследований изложены ниже, в разделе 5.

5. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА АКВАТОРИЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

В настоящем разделе приводятся примеры решения типовых задач с использованием акваториальных геофизических методов, рассмотренных в предыдущих разделах.

Пример 1. Выделение участков субаквальной разгрузки

Работы выполнялись при поиске и разведке пресных подземных вод на МППВ Октябрь-Буляк в Юго-Восточном Татарстане. Водоносные горизонты и комплексы здесь представлены терригенно-карбонатными породами пермского возраста, разделенными слабопроницаемыми глинистыми прослоями. Региональный водоупор сложен лингуловыми глинами ($P_2kz_1^1$) и разделяет водоносные горизонты казанского (P_2kz) и уфимского (P_2uf) ярусов. Акваториальные геофизические исследования выполнялись по четырем ручьям, протекающим на территории участка работ. Здесь мы приводим результаты исследований по ручью Сарсаз.

Измерения выполнялись с шагом 50 м, на участках детализации шаг составлял 10 м. Глубина до дна не превышала 0.5 м.

В результате исследований выделены участки относительных отрицательных аномалий температуры дна, увязываемые с разгрузкой подземных вод в зонах выклинивания различных водоносных горизонтов (рис. 5.1). Отметим, что минимальные значения температуры дна совпадают со значениями температуры воды по родникам, что является одним из доказательств наличия субаквальной разгрузки. По уровню значений температуры, по соотношению температур поверхностных и подземных вод, по значениям УЭС воды выделяются три участка (интервалы, соответствующие искусственным водоемам, мы не рассматриваем).

Первый участок расположен в самом истоке ручья, который дренирует воды верхов казанского и татарского ярусов. На этом участке зафиксированы самые высокие значения УЭС воды, а, следовательно, и наиболее пресные воды. Относительная интенсивность субаквальной разгрузки на этом участке максимальна, что подтверждается близостью температуры дна и воды.

На участке II относительная интенсивность субаквальной разгрузки невелика, поскольку на участках отрицательных аномалий температуры дна заметные изменения температуры воды в ручье не зафиксированы.

На этом участке ручей дренирует воды из среднего и нижнего интервалов верхнеказанского подъяруса. Несмотря на низкую интенсивность субаквальной разгрузки, УЭС воды на этом участке падает не менее, чем в 1.5 раза по сравнению с участком I.

Следовательно, минерализация подземных вод в нижнем интервале казанского яруса ($P_2kz_1^{2\text{-}3}$) не менее, чем в 1.5-2 раза выше, чем в верхнем интервале ($P_2kz_2^{2\text{-}4}$).

На участке III зафиксированы рядом два участка относительно интенсивной субаквальной разгрузки, что подтверждается заметным

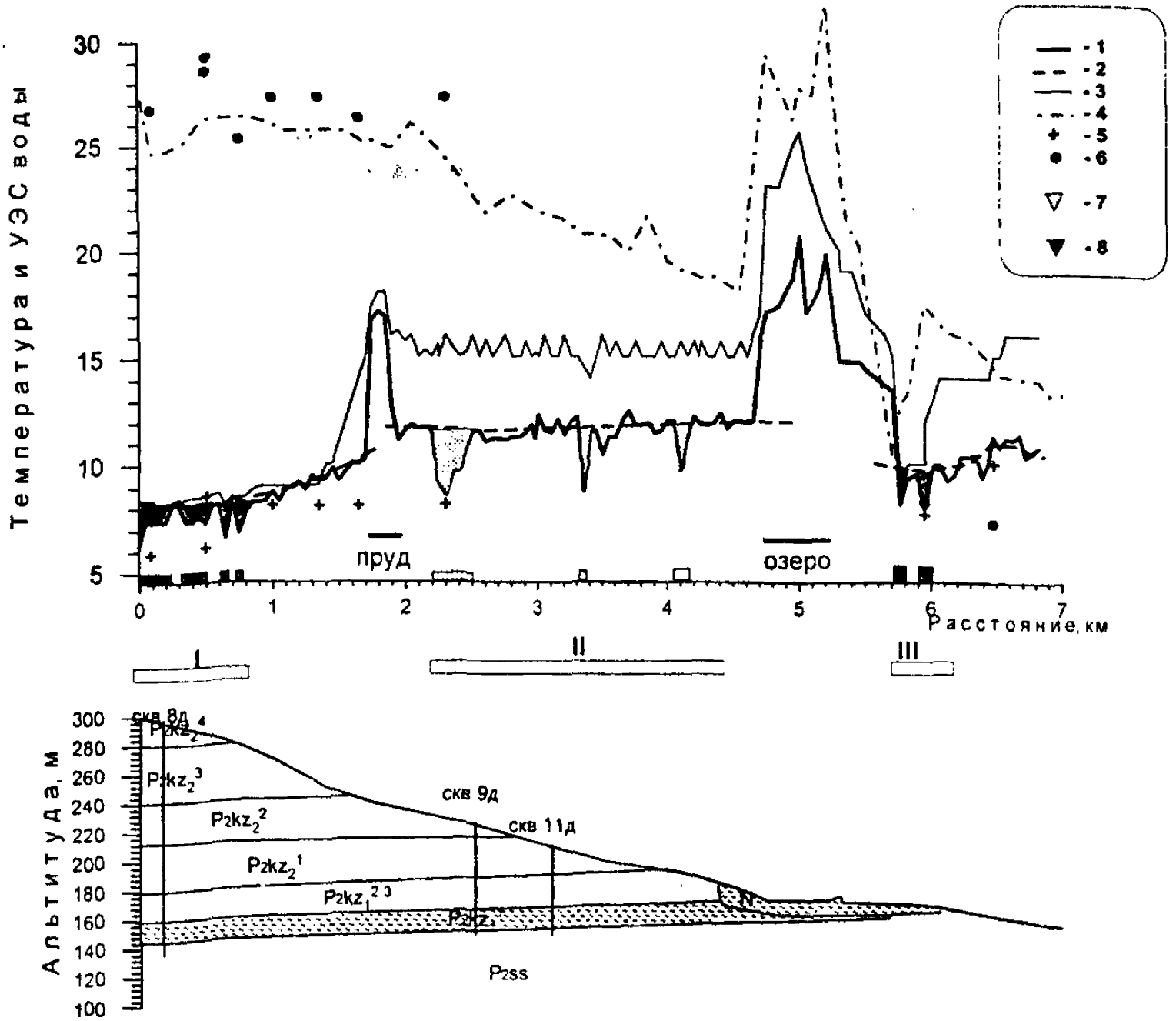


Рис. 5.1. Результаты акваториальных геофизических исследований по ручью Сарсаз (1- температура отложений , 2- линия фоновых значений температуры, 3,4 - температура и УЭС воды основного русла, 5,6 - то же для родников, 7,8 - температурные аномалии и соответствующие им участки субаквальной разгрузки соответственно высокой и низкой интенсивности, I, II, III - зоны с различными условиями взаимодействия поверхностных и подземных вод).

уменьшением температуры воды в ручье в интервале отрицательных аномалий температуры дна.

УЭС воды в ручье на участке разгрузки упало до значений, в 4 раза ниже, нежели в начале профиля и, следовательно, минерализация воды не менее, чем в 4 раза выше. Представляется очевидным, что на этом участке зафиксирована субаквальная разгрузка из уфимского яруса, воды которого отличаются минерализацией заметно более высокой по сравнению с горизонтами, залегающими выше лингуловых глин.

В дальнейшем полученные результаты были подтверждены данными бурения и лабораторных гидрохимических исследований.

Таким образом, по результатам акваториальных геофизических исследований были выделены участки субаквальной разгрузки, выполнена оценка их относительной интенсивности, а также была проведена сравнительная оценка минерализации воды в ручьях. Полученные даиные позволили уточнить схему расположения скважин, определить места гидрометрических створов, уточнить участки выклинивания водоносных горизонтов и комплексов.

Пример 2. Выделение участков интенсивного взаимодействия поверхностных и подземных вод по дну озер в Тверской области

Исследования выполнялись при поисково-разведочных работах на воду. Целевой комплекс сложен карбонатными породами каширскомячковского горизонта (C_1kš-mč). Одним из возможных источников восполнения запасов являются поверхностные воды озер разной глубины, расположенных на участке исследований. Работы выполнялись по четырем озерам. Здесь приводятся результаты по оз.Удомля. Использовался комплекс термометрии и ВЭЗ по совмещенным профилям.

Расстояние между точками термометрии составляло 50м, между точками ВЭЗ – 200-250 м. Интерпретация выполнялась с использованием приемов, описанных в разделах 4.2 и 4.4.

Основной задачей, поставленной перед акваториальной геофизикой, являлась оценка условий взаимодействия вод целевого каширскомячковского карбонатного водоносного горизонта с водами озера, отделенными от целевого горизонта толщей песчано-глинистых пород четвертичного возраста. На рис. 5.2 приведена зависимость температуры от глубины для этого озера, из которой отчетливо видно, что в пределах озера выделяется два базиса разгрузки. Один из них приурочен к интервалу глубин 13-14 м, что и привело к проявлению в этом интервале скачка температур на 4°С. Второй базис приурочен к глубинам 25-20 м и более, поскольку именно в этом интервале температура выходит на ассимптоту, соответствующую температуре подземных вод. Разрез под озером изучен по данным ВЭЗ и представлен следующим образом (сверху вниз):

Первый слой: илы, супеси, пески глинистые (УЭС=8-60 Омм).

Второй слой: пески, супеси, суглинки (УЭС=15-120 Омм).

Третий слой: пески с гравием, пески глинистые (УЭС=40-150 Омм).

Четвертый слой (подстилающий): карбонатные породы (УЭС>150 омм).

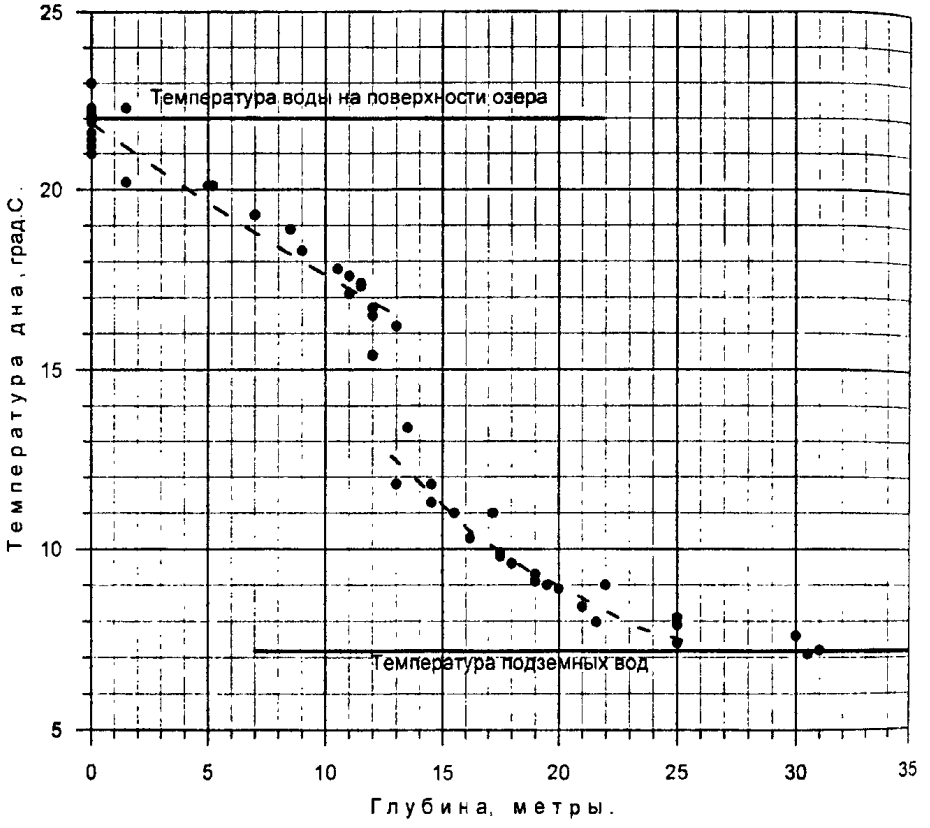


Рис. 5.2. График изменения температуры дна с изменением глубины по озеру Удомля (Тверскан обл.).

На рис. 5.3 приведены схемы УЭС по каждому из трех выделенных горизонтов, слагающих толщу пород, разделяющих воды озера и целевой водоносный горизонт, представленный карбонатами.

Анализ планового распределения УЭС позволил составить интегральную схему с выделением участков, отличающихся по интенсивности разгрузки подземных вод (рис.5.4). С этой целью каждому литотипу, выделенному по УЭС был присвоен некоторый условный параметр Р в диапазоне от 0 до 3:

- УЭС < 30 Омм – илы, глины, суглинки (Р=0);
- УЭС=30-50 Омм – суглинки, супеси, пески глинистые (Р=1);
- УЭС=50-100 Омм – пески, пески с гравием с линзами глин (Р=2);
- УЭС>100 Омм – пески, пески с гравием (Р=3).

Очевидно, что произведение параметров Р по трем горизонтам в каждой точке будет являться относительной характеристикой проницаемости всей толщи песчано-глинистых пород. Величина произведения составила от 0 до 12. Анализ пространственной изменчивости полученных значений позволил выделить участки с различной относительной интенсивностью взаимодействия поверхностных вод и вод целевого водоносного горизонта: слабопроницаемые участки (Р=0), участки с рассредоточенной разгрузкой (Р=1,2), участки с сосредоточенной разгрузкой малой интенсивности (Р=3,4), участки с сосредоточенной разгрузкой средней интенсивности (Р=6), участки с сосредоточенной разгрузкой большой интенсивности (Р=12).

Отметим, что по резистивиметрии в этом случае убедительные результаты по взаимодействию поверхностных и подземных вод получены не были, так как по общей минерализации поверхностные и подземные воды были сопоставимы.

Таким образом, по данным акваториальной геофизики было установлено наличие субаквальной разгрузки по дну озера на различных глубинах, выполнена оценка строения придонных отложений на глубину 25-30 м, выделены участки с различной интенсивностью взаимодействия вод озера и целевого водоносного комплекса, а также проведена их сравнительная оценка.

Пример 3. Оценка эффективности мероприятий по защите поверхностных вод от загрязнения

Работы выполнялись на территории нефтебазы, расположенной на берегу р.Туапсе. Первый от поверхности водоносный горизонт сложен гравийно-галечными отложениями с песчаным, песчано-глинистым или глинистым заполнителем и развит до глубин 10-23 м. Этот горизонт подстилается озерно-лиманными глинами, выполняющими роль водоупора. Вследствие многочисленных утечек на территории нефтебазы сформировалась техногенная линза нефтепродуктов, плавающая на поверхности подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта. Подземные воды и плавающие на них нефтепродукты частично разгружаются в реку, что приводит к ее заметному загрязнению. Для ликвидации загрязненных подземных вод нефтепродуктами на территории нефтебазы ведутся откачки из эксплуатационных скважин. Для ликвидации разгрузки нефтепродуктов в реку сооружена глиняная противофильтраци-

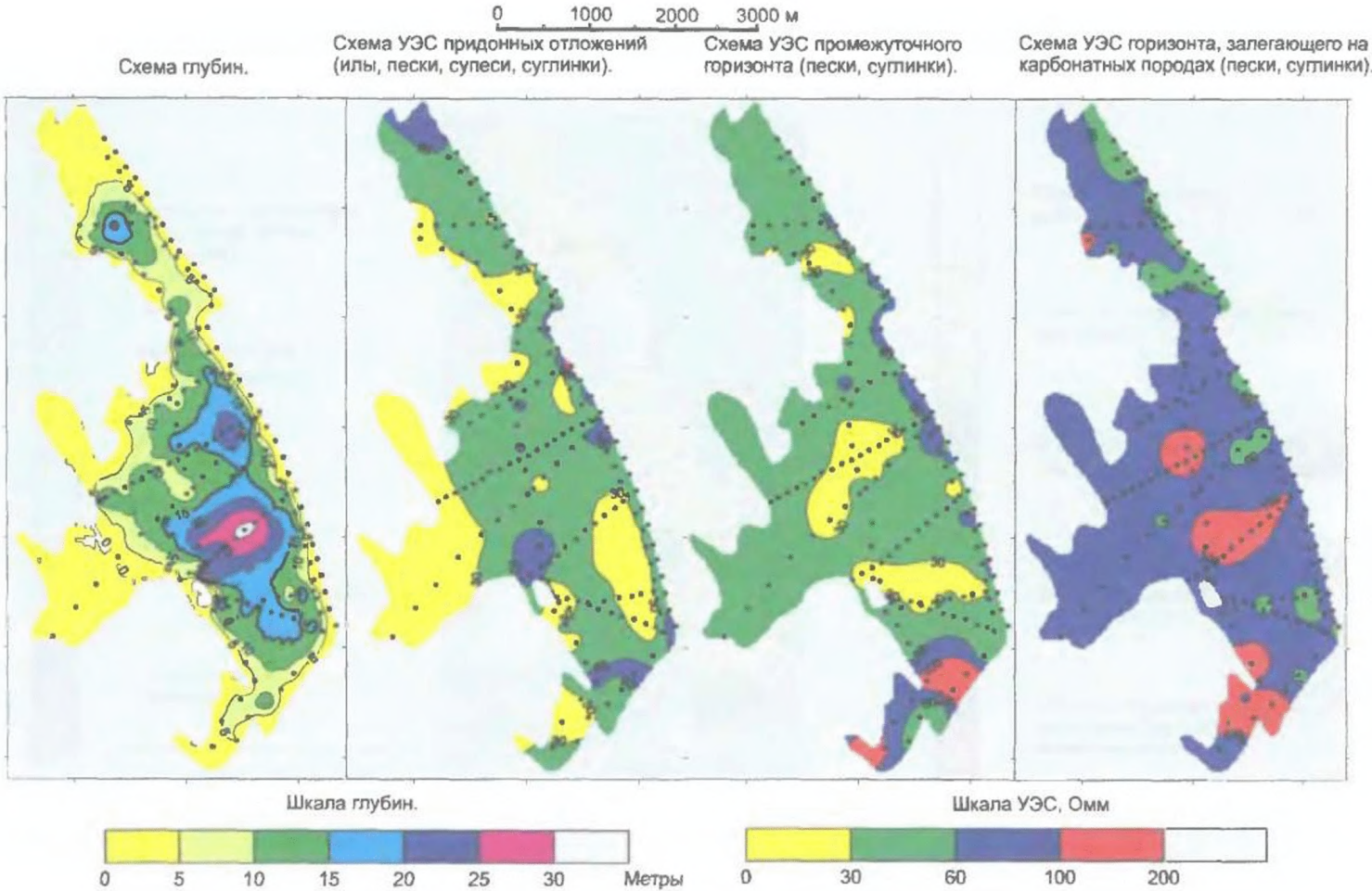


Рис. 5.3. Результаты донных электроразведочных работ по озеру Удомля (Тверская обл.).

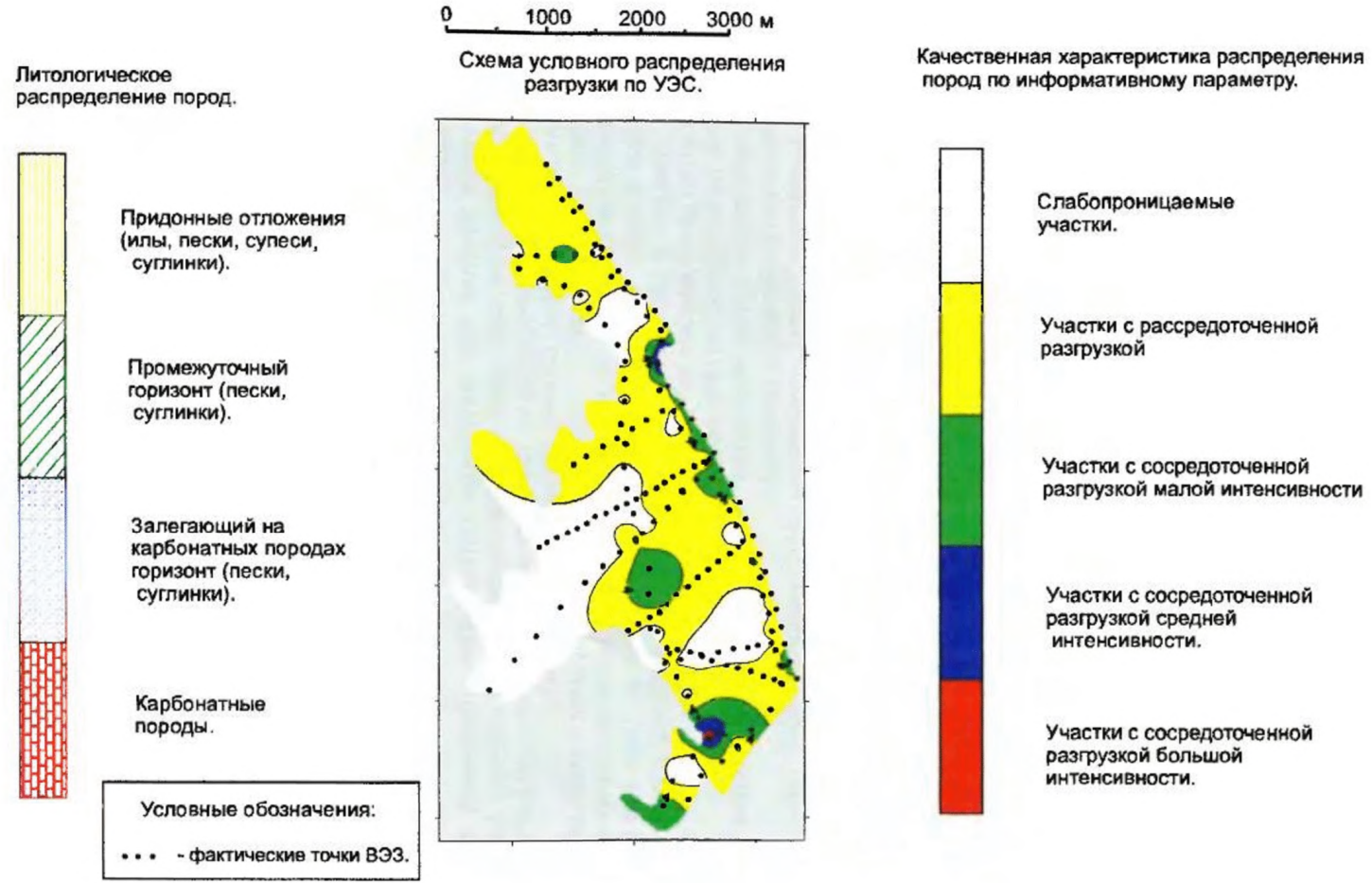


Рис. 5.4. Оценка взаимодействия поверхностных и подземных вод по озеру Удомля (Тверская обл).

онная завеса, а также выполняются откачки из скважин защитной дренажной системы (ЗДС) по берегу реки.

Существенная дифференциация подземных и поверхностных вод по температуре (до 10-15°С) является увереиной физической предпосылкой применения термометрии для контроля за высачиванием подземных вод и нефтепродуктов.

Полевые работы выполнялись в два этапа.

На первом этапе вдоль прибрежной линии выполнялся комплекс термометрии и ВЭЗ. При термометрии выполнялись измерения температуры придонных отложений и воды. Расстояние между точками измереиий составляло для термометрии 25÷50 м, для ВЭЗ - 50÷100м.

В результате работ выполнена оценка строения подрусловых отложений на глубину 25-30 м, установлены зоны разгрузки подземных вод и иефтепродуктов и выполнена сравнительная оценка их интенсивности (рис.5.5). Результаты работ первого этапа явились основой для выбора участков для регулярных наблюдений.

На втором этапе выполнялась термометрия по пунктам, закрепленным на местности. Исследования выполнялись с февраля по ноябрь, что позволило получить достаточно представительные материалы в годовом разрезе. Методика натурных измерений и обработка данных соответствуют описанным в разделе 4.6. Тем не менее, учитывая относительную новизну задачи, считаем целесообразным привести основные особенности технологии работ, включая методику полевых работ, обработку и интерпретацию результатов измерений.

На начальном этапе измерений выполнялись исследования, направленные на отработку методических приемов полевых работ.

Для этого были выполнеиы следующие работы:

- дневные и суточные наблюдения за температурой придонного слоя и воды. Эти исследования выполнялись на двух участках разгрузки и в двух пунктах, где разгрузка ранее не фиксировалась. Цель этих работ – оценка величины суточного хода температуры и выбор оптимального времени измерений.
- измерения температуры при различной глубине погружения датчика. Цель этих работ – оценка оптимальной глубины погружения датчика при измерении температуры придонных отложений.
- измерения температуры в пьезометрах и скважинах, близлежащих к береговой линии. Цель этих работ – оценка пространственной изменчивости температуры подземных вод и нефтепродуктов, поскольку на техногенных объектах температурный режим подземных вод часто может заметно отличаться от естественного как во времени, так и в пространстве, что требует учета при интерпретации получаемых материалов.

В результате этих работ были получены следующие результаты:

- установлено, что суточные колебания температуры придонного слоя составляют на участках разгрузки 1-2 °С, а за их пределами – до 3 °С. Наиболее сильно меняется температура речных вод, почти полностью совпадая с изменениями температуры воздуха.

- в то же время, при проведении измерений в течение 4-5 часов в течение дня, абсолютные значения колебаний температуры не превышают 0.5°С для участков разгрузки и 1°С – за его пределами.

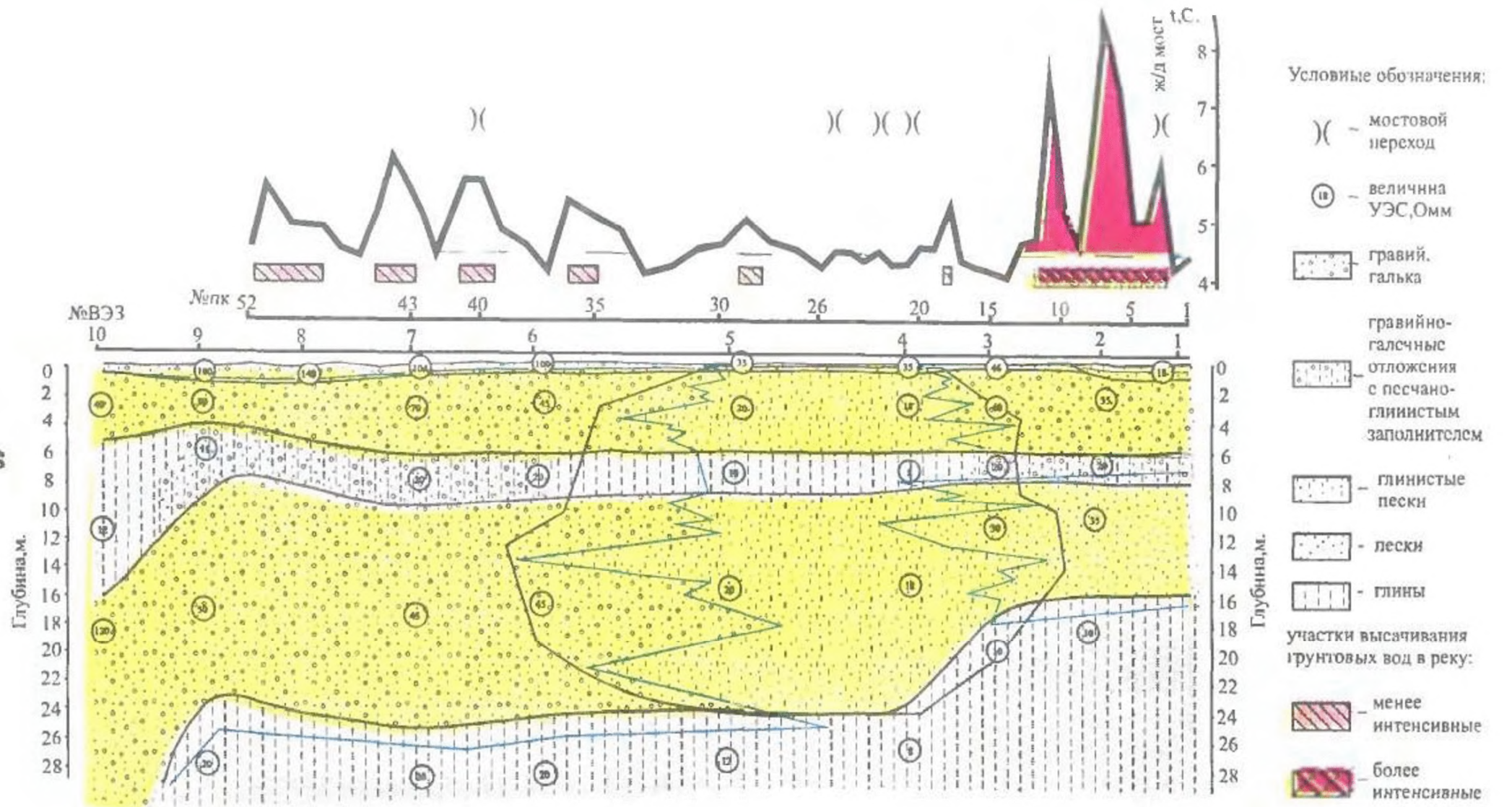


Рис. 5.5. Результаты акваториальных геофизических исследований по реке Туапсе

- температура существенно зависит от глубины погружения датчика до 10-15 см. На глубиие 20-30 см изменения затухают. На участках разгрузки температура отличается высокой стабильностью во времени. При измерениях глубже 0.5 м – уменьшается разница температур между участками разгрузки подземных вод и зонами ее отсутствия.

- установлено, что температура воды и нефтепродуктов по скважинам и пьезометрам отличается сильной изменчивостью (от 7 до 25°С).

Таким образом, результаты работ первого этапа позволили уточнить особенности методики полевых измерений термометрии.

В дальнейшем время работы на профиле не превышало 4-х часов. Глубина задавливания термодатчика в грунт составляла 5-7 см и выдерживалась постоянной на протяжении всего периода работ. При каждом цикле измерений выполнялись также измерения по пьезометрам и скважинам, находящимся вблизи от берега.

Установлена заметная изменчивость температурного поля как в пространстве, так и во времени. Выявлены также устойчивые температурные аномалии, приуроченные, вероятно, к зонам утечек из коммунальных сетей с горячей водой.

На начальном этапе полевых работ проводились также исследования, направленные на выбор датчиков температур, наиболее пригодных для натурных исследований. Исследовались отечественные датчики ЗСТ-3-19, ММТ-4, ММТ-5 и датчики, изготавливаемые фирмой "DEVICE", широко используемые для измерения температуры во всех областях. Критерии, предъявляемые к датчикам:

- низкая инерционность, что определяет время измерений;

- устойчивость к механическим повреждениям при задавливании в донные отложения, часто представленные галькой скальных пород;

- возможность ремонта в полевых условиях.

Наиболее серьезным фактором, определяющим пригодность датчиков, оказалась устойчивость к механическим повреждениям. Все датчики, имеющие сравнительно низкую инерционность (до 45-60 сек.), слабо защищены от механических повреждений. После помещения их в защитный корпус инерционность их резко возрастает. В результате работ были выбраны датчики типа ММТ-4, представляющие собой полупроводниковый термистор в алюминиевом корпусе с ярко выраженной зависимостью сопротивления от температуры. Дополнительными соображениями, предопределившими наш выбор в пользу именно этого датчика явились следующие:

- Ремонт этих датчиков может производиться специалистами низкой квалификации собственными силами;
- Абсолютная величина сопротивления (1.5 - 6 ком), соответствующая измеряемым температурам (2°С - 35°С) позволяет использовать цифровые мультиметры с разрешающей способностью 10 ом (что соответствует 0.1°С). Эти мультиметры в настоящее время широко выпускаются для бытовых и профессиональных целей, что предопределяет их относительно низкую стоимость и возможность приобретения в розничной продаже.

В результате полевых работ нами были выполнены измерения температуры донных отложений, воды в реке и пьезометрах по профилю, проложенному по правому берегу реки. Результаты измерений приведены на рис.5.6 и рис. 5.7.

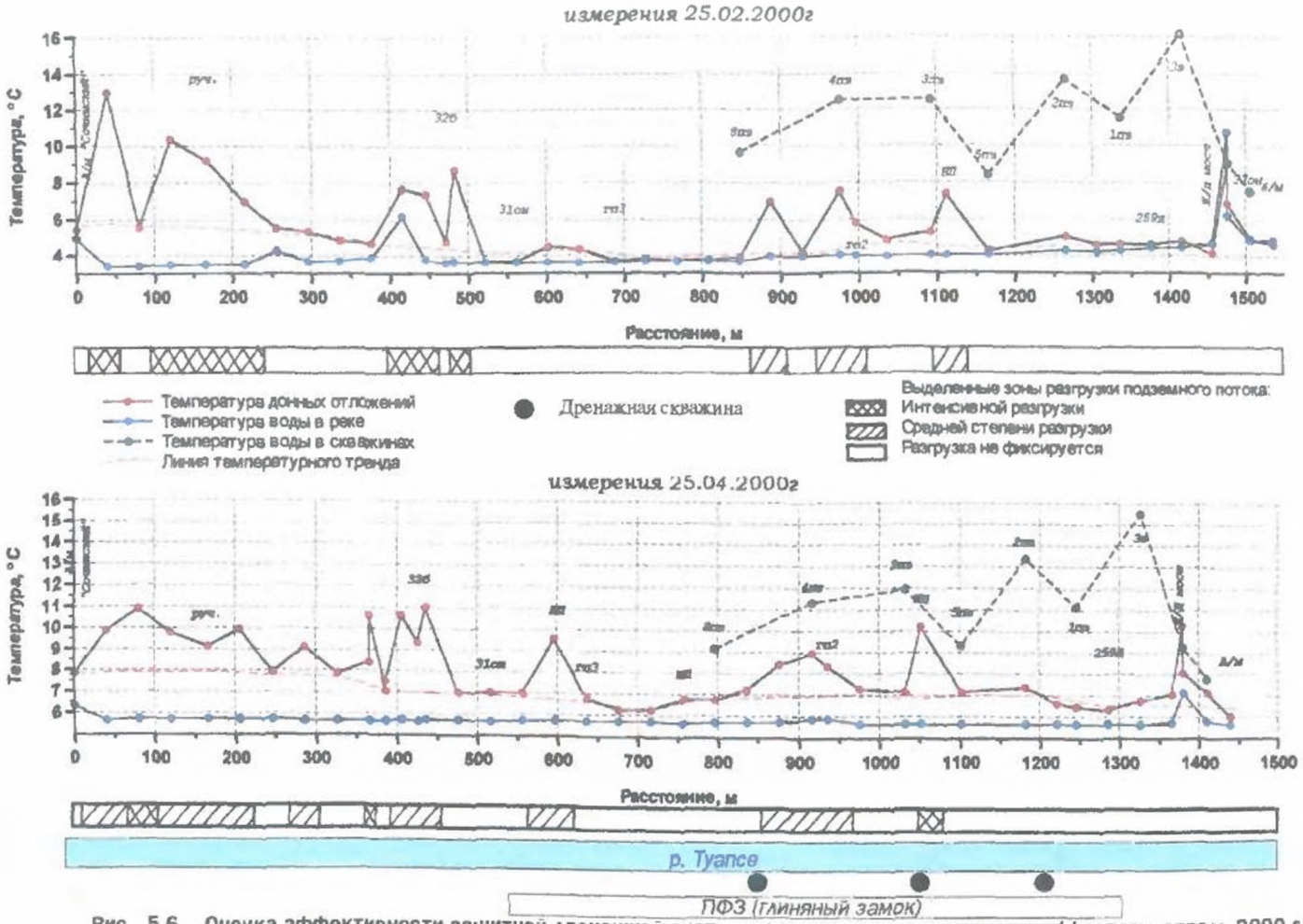


Рис. 5.6. Оценка эффективности защитной дренажной системы с применением термометрии (февраль, апрель 2000 г.).

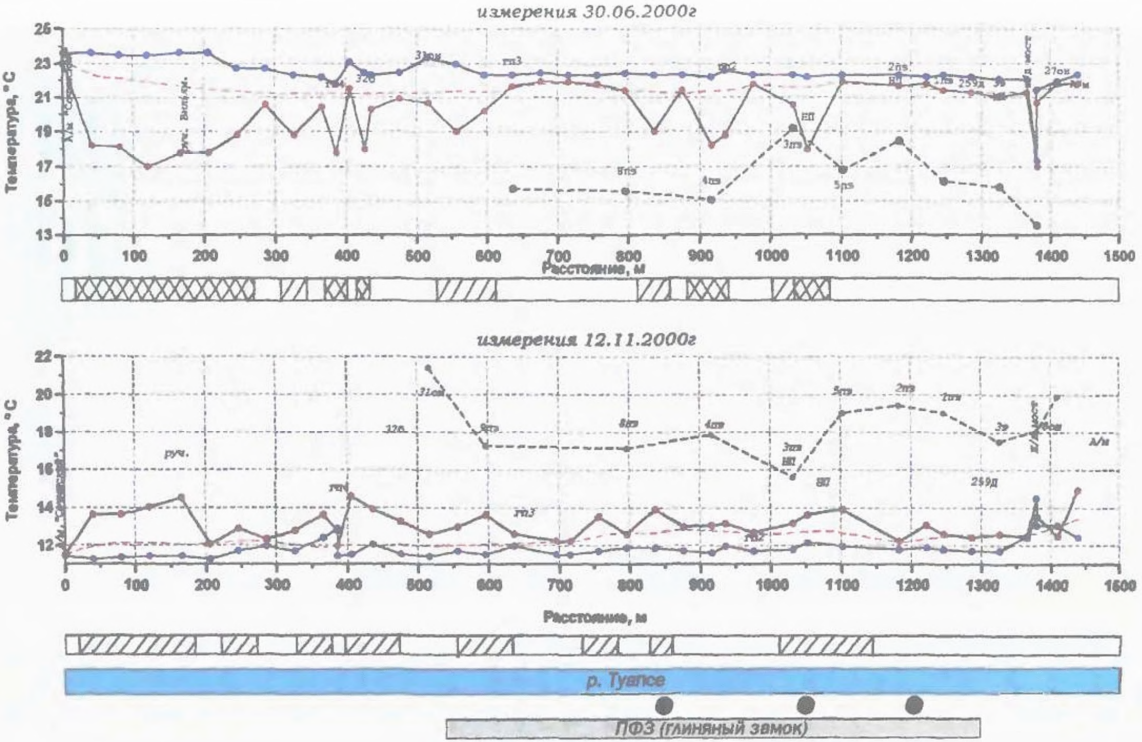


Рис. 5.7. Оценка эффективности защитной дренажной системы с применением термометрии (июнь, ноябрь 2000 г.).

При интерпретации полученных материалов мы исходили из следующих соображений:

- Температура донных отложений определяется следующими факторами:

1. Температура речной воды и ее изменения (зависящие преимущественно от температуры воздуха).
2. Наличие субаквальной или бортовой разгрузки и ее интенсивность.
3. Температура подземных вод (этот фактор становится определяющим только при наличии субаквальной или бортовой разгрузки).
4. Теплофизические свойства придонного слоя. Эти свойства зависят от литологического состава. По данным электроразведки литология придонного слоя на участке работ меняется слабо. Таким образом, при относительной оценке интенсивности аномалий этот фактор не является определяющим и может не учитываться.

- Температура донных отложений на участке с разгрузкой подземных вод наибольшей интенсивности должна быть близка к температуре подземных вод на этом участке. Температура донных отложений на участке, где разгрузка подземных вод отсутствует, должна быть близка к температуре воды в реке.

Таким образом, наибольшая температурная аномалия, соответствующая наибольшей интенсивности разгрузки, не будет превышать разности температур между температурой воды в реке и в близлежащих пьезометрах или скважинах.

Возможность регистрации разгрузки подземных вод по дну реки предопределяется разницей температур подземных и поверхностных вод. Поскольку температура как подземных, так и поверхностных вод меняется в течение года, необходимо учитывать следующие обстоятельства:

1. Абсолютная величина и знак разности температур подземных и поверхностных вод может меняться в течение года.
2. В течение года могут иметь место периоды равенства температур подземных и поверхностных вод, и в это время использование разрабатываемой методики не представляется возможным.

Учитывая вышеизложенные соображения, обработка и интерпретация результатов выполнялась в следующей последовательности:

1. Оценивалась величина максимально возможного аномального эффекта, как разность температур между речной водой и подземной водой (по пьезометрам).
2. Выделялся "тренд" для графика температур донных отложений. Тренд проводился по точкам, наиболее близким к температуре воды. Как явствует из вышеизложенного, именно по этим точкам разгрузка подземных вод не фиксируется. В дальнейшем этот тренд приимался за "фон".
3. Выделялись участки со значениями температуры донных отложений, отличающихся от фоновых не менее, чем на величину колебаний температуры донных отложений за время работы на профиле. Обычно эта величина составляла 0.5 - 1°С. Именно эти

участки и отождествлялись с участками разгрузки подземных вод.

4. Для участков температурных аномалий, отождествляемых с участками разгрузки подземных вод, выполнялась качественная оценка интенсивности аномалии по следующим критериям:
   - разгрузка отсутствует или имеет крайне низкую интенсивность, недостаточную для ее регистрации по температуре (температура донных отложений отличается от фоновой не более, чем на 0.5 - 1°С);
   - разгрузка имеет среднюю интенсивность (температура донных отложений отличается от фоновых значений не более, чем на половину максимально возможного аномального эффекта);
   - разгрузка имеет высокую интенсивность (температура донных отложений превышает половину максимально возможного аномального эффекта).

В нижележащей таблице приводятся интерпретационные критерии и их обоснование для каждого цикла измерений.

Дата измерений	Температура вод реки, °С	Температура подз. вод, °С	Знак и величина макс. аномалии в зоне разгр., °С	Критерии выделения зон разгрузки (величина темп. аномалии, °С)		
				Разгрузка не фиксируется	Разгрузка средней интенсивности	Разгрузка высокой интенсивиости
25.02.2000	3 - 4	8 – 12	+(5 – 8)	0 – 1	1 – 3	> 3
25.03.2000	5 – 7	9 – 15	+(4 – 8)	0 – 1	1 – 3	> 3
10.05.2000	11 - 13	13 – 16	+(2 – 3)	0 – 0.5	0.5 – 1.5	> 1.5
30.06.2000	22 – 24	15 – 19	-(5 – 7)	-(0 – 1)	-(1 – 3)	< -3
26.07.2000	25 – 28	17 – 21	-(8 – 9)	-(0 – 1)	-(1 – 4)	< -4
26.08.2000	19 – 23	17 – 21	-(2 – 3)	-(0 – 0.5)	-(0.5–1.5)	< -1.5
28.09.2000	16 – 17	17 – 21	-(2 – 4)	-(0 – 0.5)	-(0.5–1.5)	< -1.5
28.10.2000	13 – 16	17 – 21	+(4 – 5)	0 – 1	1 – 2	> 2
12.11.2000	11 - 12	16 - 19	+(5 – 7)	0 – 1	1 – 3	>3

На рис.5.6 и рис.5.7 в качестве примеров приведены графики, соответствующие конкретным циклам измерений.

Положение зон разгрузки и качественная оценка интенсивности разгрузки представляются полностью очевидными из полученных материалов.

Приведем краткое описание наиболее характерных особенностей для полученных температурных зависимостей.

По всем циклам измерений отмечаются зоны, положение которых определяется соотношением уровней поверхностных и подземных вод, а также эффективностью работы ЗДС.

Первая зона расположена между ПК 0 и ПК 500 и соответствует участку, на котором ПФЗ в грунте отсутствует.

Температурные аномалии на этом участке, как правило, имеют наибольшую величину по сравнению с остальным профилем, независимо

от времени года (см. например, результаты измерений от 25.02.2000 г. и 30.06.2000 г.). Таким образом, на этом участке разгрузка существует всегда, вне зависимости от времени года.

Следующая зона расположена от ПК 550 вниз по течению до ПК 1100. Эта зона отличается чередованием участков разгрузки подземных вод и участков вод и участков ее отсутствия. Размеры, количество участков, а также интенсивность разгрузки заметно зависит от времени года и эффективности работы ЗДС.

Наименьшее количество участков(2-3) отмечается в феврале 2000 г. и ноябре 2000 г. Аналогичные результаты получены в марте, мае и июне. По всем остальным циклам отмечается как увеличение числа участков высачивания, так и изменение их интенсивности.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что существуют периоды, когда температура поверхностных вод и донных на некоторых участках практически совпадает (февраль 2000 г., ПК 700-750, ПК 1150-1300, июнь 2000 г., ПК 250-350). Наиболее вероятным объяснением полученных результатов является переток на этих участках сверху вниз, что может быть вызвано только влиянием откачки из скважин, входящих в ЗДС.

Следующая зона отмечается на участке от ПК 1100 вниз по течению до конца профиля. В пределах этой зоны разгрузка не фиксируется в течение всего периода измерений. Необходимо заметить, что ранее, в феврале 1994 г, до строительства защитных сооружений, именно здесь фиксировалась наиболее сильная температурная аномалия, отождествляемая с интенсивной разгрузкой нефтепродукта, высачивающегося именно на этом участке. Таким образом, на этом участке меры, принятые по защите реки Туапсе от загрязнения представляются наиболее эффективными.

В результате исследований выделены участки с различной интенсивностью высачивания, установлено изменение их положения и выполнена оценка изменения интенсивности во времени. Интенсивность высачивания хорошо коррелировала во времени с работой скважин, входящих в ЗДС. Полученные данные позволили контролировать работу ЗДС и своевременно принимать решения об увеличении интенсивности водоотбора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Л. И. Антропов. Теоретическая электрохимия. М., «Высшая школа», 1975г., 568 стр.

2. Геофизические исследования в скважинах. Справочник геофизика. М., «Недра», 1984г, 438 стр.

3. В.Н.Дахнов. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. М., «Недра», 1982г, 448 стр.

4. Инструкция по электроразведке, ч.1. М, «Недра», 1985г, 238 стр.

5. С.Г.Комаров. Геофизические методы исследований скважин. М., Гостоптехиздат, 1963, 407 стр

6. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии. М., «Недра», 1985г.,182 стр.

7. Семенов А. С. Электроразведка методом естественного электрического поля. Л., «Недра», 1980г, 379 стр.

8. Электрическое зондирование геологической среды, ч.1., «МГУ», 1988г. 176 стр.

9. Электроразведка. Справочник геофизика., М., «Недра», 1980г, 648 стр.

Отпечатано в типографии ЗАО Фирма «Лика»
105203, Москва, ул. Нижняя Первомайская, д. 47; тел.: 465-1154
Подписано в печать 15.05.02. Бумага офсетная №1.
Тираж 500 экз. Заказ 10300.

gost.e-ecolog.ru