

УДК 550.34.06.03.02+550.837.2

## КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА ПЕТРОПАВЛОВСКОМ ПОЛИГОНЕ, КАМЧАТКА

© 1999 г. С. Т. Балеста, Г. Н. Копылова, Е. Р. Латышов, Ю. Д. Кузьмин

*Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия ГС РАН,  
Петропавловск-Камчатский, 683006*

Поступила в редакцию 01.02.99 г.

В 1995–1998 г.г. КОМСП ГС РАН совместно с другими научными и производственными организациями проведены организационно-технические и научно-методические работы с целью создания автоматизированной системы комплексных геофизических наблюдений для прогноза сильных землетрясений Камчатки. Приводится характеристика современного состояния сети геофизических (электротеллурических, электромагнитных, гидродинамических и др.) наблюдений на территории Петропавловского полигона и системы сбора и обработки данных на базе КОМСП ГС РАН. Дана предварительная оценка возможностей функционирующей системы геофизических наблюдений для выявления предвестников сильных землетрясений на примере сейсмических событий 1997–1998 гг.

В 1995 г. в России принята Федеральная целевая программа “Развитие Федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений в 1995–2000 г.” (развитие ФССН в 1995–2000 гг.) [13]. Одна из основных целей этой программы – обеспечение своевременного информирования служб и организаций МЧС России и администраций сейсмоопасных территорий о прогнозах сильных землетрясений на основе данных комплексных геофизических наблюдений.

В рамках реализации ФЦП “Развитие ФССН в 1995–2000 гг.” на территории Петропавловского полигона (рис. 1) начаты работы по созданию автоматизированной системы сбора и обработки геофизических данных для прогноза сильных землетрясений Камчатки. В 1995–1998 гг. в работах принимали участие Камчатский центр мониторинга сейсмической и вулканической активно-

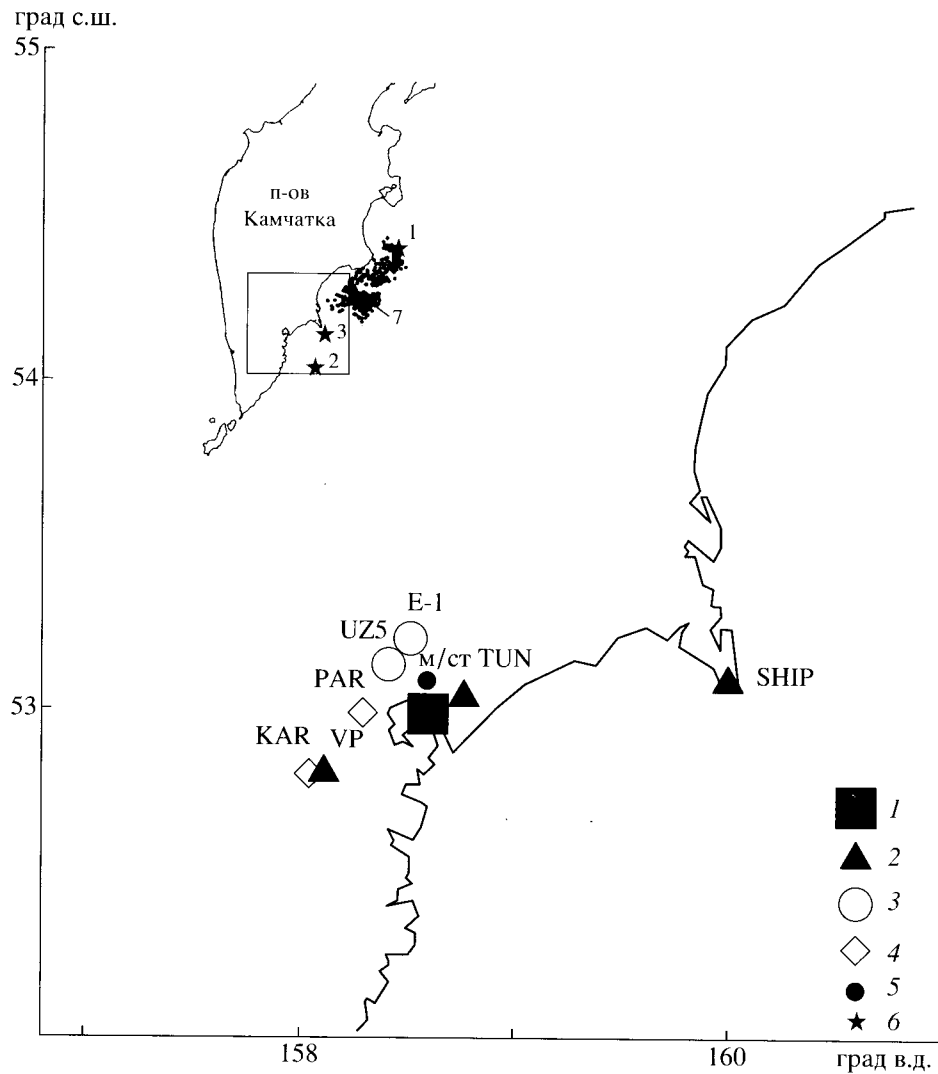
сти при администрации Камчатской области (КЦМСИВА), Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия ГС РАН (КОМСП), Институт вулканологии ДВО РАН (ИВ), Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН (ИВГиГ), Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН (ИКИР) и другие организации.

Основу создания системы комплексных геофизических наблюдений составляют модернизированные и вновь созданные пункты наблюдений камчатских организаций РАН. К 1998 г. на территории Петропавловского полигона функционировали пять пунктов, на которых проводится комплекс электротеллурических, электромагнитных, гидродинамических и др. видов наблюдений (рис. 1; см. таблицу).

Характеристика сети комплексных геофизических наблюдений на Петропавловском полигоне, Камчатка

Пункт наблюдения	Число каналов	Параметр*	Частота изменений, мин	Ссылка	Организация
Электротеллурические наблюдения					
Шипунский	3	Теллурический потенциал (0.5 мВ)	1	[7–10]	КОМСП, ИВГиГ
Верхняя Паратунка	4				
Тундровый	6				
Комплексные геофизические наблюдения					
Карымшина	6	Напряженность электростатического поля приземного слоя атмосферы; электромагнитное ОНЧ-излучение, концентрация водорода и др. (0.5 мВ)	1	[2, 10, 12]	ИКИР, КОМСП
Гидродинамические исследования					
Скв. Е-1	2	Уровень воды (1 мм), атмосферное давление (0.1 мбар)	10	[4, 5]	КОМСП
Скв. ЮЗ-5	2				

\* В скобках – точность измерений.



**Рис. 1.** Схема расположения пунктов геофизических наблюдений на Петропавловском полигоне: 1 – центр сбора и обработки данных геофизических наблюдений КОМСП ГС РАН; 2 – пункты электротеллурических наблюдений (SHIP – Шипунский, TUN – Тундровый, VP – Верхняя Паратунка); 3 – пункты гидродинамических наблюдений (E1 – скважина E-1; UZ-5 – скважина ЮЗ-5); 4 – пункты комплексных электромагнитных наблюдений ИКИР ДВО РАН (PAR – Паратунка, KAR – комплексный геофизический экспедиционный пункт Карымшина); 5 – метеостанция Пионерская; 6 – инструментальные эпицентры сильных землетрясений (1 – 5.12.1998 г.,  $M = 7.9$ ; 2 – 27.05.1998 г.,  $M = 6.0$ ; 3 – 1.06.1998 г.,  $M = 6.3$ ); 7 – афтершоки землетрясения 5.12.1997 г.

Существенному прогрессу в повышении оперативности получения и обработки данных геофизических наблюдений способствовали разработка и создание в КОМСП радиотелеметрической системы передачи данных в составе автоматизированного приемного центра, передающих и принимающих средств. Телеметрией оснащены три пункта электротеллурических наблюдений и некоторые виды наблюдений на комплексном геофизическом экспедиционном пункте Карымшина.

*Электротеллурические наблюдения* (регистрация теллурических потенциалов) осуществляются совместно ИВГиГ и КОМСП на пунктах Шипунский, Верхняя Паратунка и Тундровый.

На пункте Шипунский для регистрации напряженности электротеллурического поля (ЭТП) используются созданные в 60-х годах ИФЗ РАН три измерительные линии: две линии с азимутом С-Ю длиной 240 и 210 м; одна линия с азимутом В-З длиной 310 м.

Мониторинг электротеллурического поля на пунктах Верхняя Паратунка (начало наблюдений – октябрь 1996 г.) и Тундровый (начало наблюдений – август 1997 г.) проводится на основе методики, разработанной Ю.Ф. Морозом [7]. Суть методики заключается в установке пунктов наблюдений в местах с резко выраженной геоэлектрической неоднородностью и в использовании измерительных

линий определенных направлений и длин для регистрации теллурических потенциалов. Приемные линии располагаются по направлениям осей геоэлектрической симметрии среды, которая определяется по данным магнитотеллурического зондирования. Такое расположение линий может обеспечивать повышенную чувствительность компонентов теллурического поля к изменению параметров геоэлектрических неоднородностей как за счет внешних источников (электрические процессы, протекающие в ионосфере и магнитосфере), так и за счет внутренних источников (электрические процессы, протекающие в земной коре).

Система регистрации на пункте Верхняя Паратунка состоит из четырех измерительных линий длиной 50–100 м с азимутами С-Ю и З-В. На пункте Тундровый система регистрации включает шесть измерительных линий длиной 100–120 м с азимутами С-Ю, З-В, СЗ-ЮВ и СВ-ЮЗ. В качестве заземления приемных линий используют свинцовые электроды на глубине 2–2.5 м. Точность измерения разности потенциалов ЭТП с помощью радиотелеметрической системы 0.5 мВ. Отсчет измерений проводится 1 раз в минуту.

Использование данных электротеллурических наблюдений для оценки сейсмической опасности основывается на результатах анализа структуры ЭТП в 1992–1997 гг. в связи с сейсмичностью. Перед землетрясениями 08.06.1993 г. с  $M = 7.3$  и 13.11.1993 г. с  $M = 7.0$  за 1.5–2 мес. проявились бухтообразные изменения теллурических потенциалов интенсивностью от первых сотен до 1500 мВ/км и более [8, 9]. Перед землетрясением 08.06.1993 г. за 10 сут наблюдалось асинхронное поведение регулярных 24-, 8-, 6- и 4-часовых компонент ЭТП на наблюдательных пунктах. Это проявилось в уменьшении величин канонической когерентности вариаций теллурических потенциалов на наблюдательных пунктах с 1–0.85 до 0.3–0.5. Перед землетрясением 13.11.1993 г. заметное уменьшение канонической когерентности наблюдалось за 40 сут (устное сообщение Ю.Ф. Мороза, 1997 г.). Таким образом, по приведенным данным область проявления аномалий электротеллурического поля перед землетрясениями с  $M \sim 7$  и более составляет  $\geq 250$  км. Различные формы проявления аномалий ЭТП фиксировались на временных интервалах от суток до первых десятков суток до возникновения главного события.

*Комплексные геофизические наблюдения на экспедиционном пункте Карымшина* проводятся Институтом космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, пункт Паратунка, совместно с КОМСП. Комплекс инструментальных наблюдений, привлекаемый для выявления аномальных изменений электромагнитных сигналов в широкой полосе частот, включает регистрацию: медленных и быстрых вариаций гео-

магнитного поля, электрических характеристик приземного слоя атмосферы (напряженность атмосферного электрического поля  $E_z$ , электропроводность), естественного шумового электромагнитного ОНЧ-излучения [2].

Телеметрическая передача данных  $E_z$  и естественного электромагнитного ОНЧ-излучения осуществляется на приемный пункт КОМСП с частотой регистрации 1 мин и с последующей передачей данных в ИКИР ДВО РАН.

Близкий по составу комплекс электромагнитных наблюдений проводится также в пос. Паратунка на базе ИКИР.

На основании проведенного ранее изучения связей атмосферного электричества с сейсмичностью Камчатки выявлены характерные вариации  $E_z$  перед тремя землетрясениями: 05.03.1992 г.,  $M = 6.0$ ,  $R = 120$  км [12]; 13.11.1993 г.,  $M = 7.0$ ,  $R = 170$  км [11]; 21.06.1996 г.,  $M = 7.0$ ,  $R = 180$  км (устное сообщение В.В. Богданова). Изменения значений  $E_z$  выразились в резком уменьшении его величин за несколько часов перед землетрясениями с последующим возвращением к первоначальным значениям. За 3 ч перед землетрясением 13.11.1993 г. зафиксированы синхронные аномальные всплески в шумовом ОНЧ-излучении и в  $E_z$  [11].

*Комплекс геохимических наблюдений на КГЭП Карымшина* включает измерение концентрации водорода (КОМСП, начало наблюдений 1998 г.) и планируемое в 1998 г. измерение концентрации радона. Методика наблюдений предполагает регистрацию концентраций водорода и радона в объеме измерительных камер, в одну из которых поступает подпочвенный газ, а в другую – свободный газ, выделяющийся из воды глубокой геотермальной скважины.

В настоящее время водородный сенсор и датчик температуры помещены в измерительной камере, расположенной в шурфе на глубине 1.5 м ниже поверхности земли. Для регистрации подпочвенного водорода используется водородный геофизический сигнализатор ВСГ-2, обеспечивающий динамический диапазон измеряемых концентраций 0.5–50 ppm при разрешающей способности 0.5 ppm. Температура в камере измеряется с помощью микросхемы АДМ663. Чувствительность микросхемы 2.5 мВ/град. Диапазон измеряемых температур  $-40 \dots +85^\circ\text{C}$ . Опрос водородного сенсора и датчика температуры производится с частотой 1 раз в минуту. Данные измерений передаются по телеметрии на приемный центр КОМСП.

Регистрация объемной активности радона ( $Rn-222$ ) будет проводиться с использованием переносного портативного автоматизированного радиометра РРА-3 с записью данных в его твердотельную память при частоте измерений 1 ч.

Гидродинамические наблюдения проводятся КОМСП на двух глубоких скважинах Е-1 (глубина 665 м, уровень на глубине 28 м, фильтр 625–647 м) и ЮЗ-5 (глубина 1001 м, уровень на глубине 2 м, фильтр 310–1001 м). Скважина Е-1 вскрывает слабоминерализованные газонасыщенные воды в туфах верхнего неогена, скважина ЮЗ-5 – пресные подземные воды в метаморфизованных вулканогенно-осадочных породах верхнего мела. Скважины оборудованы аппаратурой для цифровой синхронной регистрации уровня и атмосферного давления с частотой 1 раз в 10 мин. Аппаратура включает регистратор ГИП-3 (геофизический измерительный прибор), датчик уровня ДУ и датчик атмосферного давления ДА. Датчики ДУ и ДА – однотипные дифференциальные преобразователи давления с частотным преобразованием и емкостным съемом сигнала [1]. Данные регистрации уровня и атмосферного давления накапливаются на твердотельную память – съемные кассеты ЭНЗУ (энергонезависимые запоминающие устройства) объемом 16 кбайт. Чувствительность регистрации уровня не хуже 1 мм водяного столба, а атмосферного давления – 0.05 мбар.

Постоянные наблюдения на скв. Е-1 проводятся с января 1996 г., а на скв. ЮЗ-5 – с сентября 1997 г. Ранее (в 1984–1994 гг.) на скв. Е-1 проводились наблюдения за уровнем воды с использованием механического поплавкового самописца. По результатам анализа данных наблюдений на скв. Е-1 установлено, что землетрясения с  $M \geq 6.0$ , удовлетворяющие критерию  $M \geq 2.51 \lg R + 0.6$ , вызывают как косейсмические, так и (в отдельных случаях) предсейсмические вариации уровня продолжительностью недели – первые месяцы [4].

*Дополнительная информация*, необходимая для оперативного анализа вариаций геофизических параметров, включает ежедневные данные гидрометеорологических наблюдений (осадки, температура воздуха, атмосферное давление и др.) метеостанции Пионерская Камчатского управления по мониторингу и контролю окружающей среды и данные Оперативного каталога землетрясений Камчатки КОМСП. Частота наблюдений за температурой воздуха и атмосферным давлением на метеостанции Пионерская 8 раз в сутки, количество выпавших осадков измеряется 2 раза в сутки. Данные гидрометеорологических наблюдений ежедневно передаются по телефону в КОМСП. Текущую информацию о произошедших землетрясениях получают путем подключения к сейсмологической базе данных КОМСП через локальную сеть.

**Организация функционирования системы комплексных геофизических наблюдений.** Технические мероприятия по модернизации и созданию пунктов наблюдений проводились с 1995 г. К 1997 г.

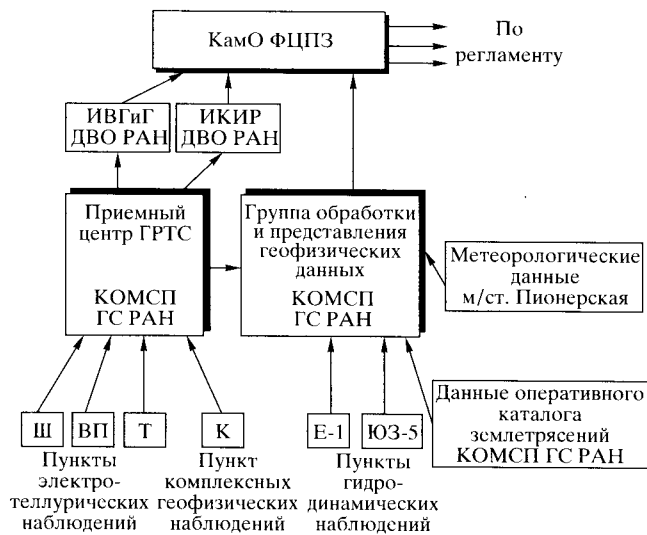


Рис. 2. Функциональная схема сбора, обработки и представления геофизических данных.

совместно с обеспечением наблюдений подготовлены организационно-методические основы для их совместного функционирования, закрепленные соответствующими договорами между организациями, работающими по ФЦП “Развитие ФССН”, и Положениями, регламентирующими регулярное представление данных и на их основе заключений о сейсмической опасности. Комплексный анализ поступающей информации в 1996–1997 гг. осуществлялся Межведомственным научно-техническим экспертным советом при КЦМСИВА, а с 1998 г. – Камчатским отделением Федерального центра прогнозирования землетрясений при КОМСП (КамО ФЦПЗ).

Функциональная схема (рис. 2) характеризует систему сбора и передачи данных геофизических наблюдений от их получения до выдачи окончательных результатов – заключений о сейсмической опасности в Камчатской области.

Данные с пунктов, оснащенных телеметрией, в реальном времени поступают на приемный центр геофизических радиотелеметрических станций и декодируются с частотой не реже 1 раза в 2 ч с формированием стандартных суточных файлов. Съем и обработку данных гидродинамических наблюдений проводят с частотой 1 раз в две недели. Файлы данных передаются исполнителям работ по отдельным видам наблюдений для обработки и интерпретации.

Регулярная обработка и визуализация электротеллурических данных, данных по  $E_z$  (не реже двух раз в сутки), гидродинамических данных (1 раз в две недели) совместно с гидрометеорологическими и сейсмологическими данными в режиме службы осуществляется специальным подразделением в структуре КОМСП – группой об-

работки и представления геофизических данных. Здесь проводят обработку и предварительный анализ текущих данных наблюдений, поддержку и пополнение архивов электротеллурических, гидродинамических и других данных. Работа группы ведется в тесном сотрудничестве и взаимодействии с исполнителями работ по отдельным видам наблюдений.

*Обработка и представление данных геофизических наблюдений, поступающих по телеметрии.* Данные электротеллурических наблюдений после декодирования представлены стандартными файлами типа DAT, содержащими результаты регистрации естественных потенциалов за сутки или за неполные сутки. Файл DAT представляет колонки числовых значений, содержащих информацию о времени регистрации и величине потенциала (в мкВ).

При пропусках данных по техническим причинам в файлах DAT не предусматривается автоматическая кодировка пропусков. Это приводит к тому, что содержательная информация файла (значения потенциалов) не является равномерно распределенной по времени и может весьма ограниченно использоваться при последующей обработке.

Предварительный этап обработки включает автоматическую кодировку пропусков в исходных данных, если они имеются, и создание стандартных суточных, месячных, годовых файлов архива электромагнитных данных. Указанные процедуры осуществляются программой Trans. Входными данными для Trans служат файлы .DAT, выходными данными – стандартные файлы архива электромагнитных данных типа .TXT двух видов: суточные данные минутных регистраций с кодированными пропусками и месячные данные часовых регистраций с кодированными пропусками. Часовые значения образуются путем усреднения данных минутных регистраций при наличии  $\geq 50\%$  их значений за 1 ч.

Вид данных в файлах .TXT соответствует их виду в файлах .DAT. Различие в том, что в полном минутном файле .TXT содержится всегда одинаковое количество записей (1440), а в полном часовом файле .TXT – 24, умноженное на количество дней в месяце, т.е. 672–744 записей. Это позволяет легко использовать файлы .TXT для последующих графических отображений и математической обработки.

Для ускорения процесса обработки файлов .DAT, их преобразования в файлы .TXT и пополнения соответствующих директорий архива в Trans предусмотрена конвейерная система. Средствами Trans может осуществляться ряд вспомогательных операций: автоматическое удаление информации за последние сутки из месячных файлов и их дополнение на основе суточных ми-

нутных файлов, создание файлов длиной до 500000 записей из суточных и месячных файлов .DAT и .TXT, создание информационного файла о количестве пропусков и их временных интервалах в обрабатываемом файле .DAT, экранный просмотр и редактирование данных.

Этап представления и предварительного анализа включает оперативное построение временных графиков текущих данных, сопоставление вариаций геофизических параметров с гидрометеорологическими параметрами и сейсмичностью, выделение аномалий.

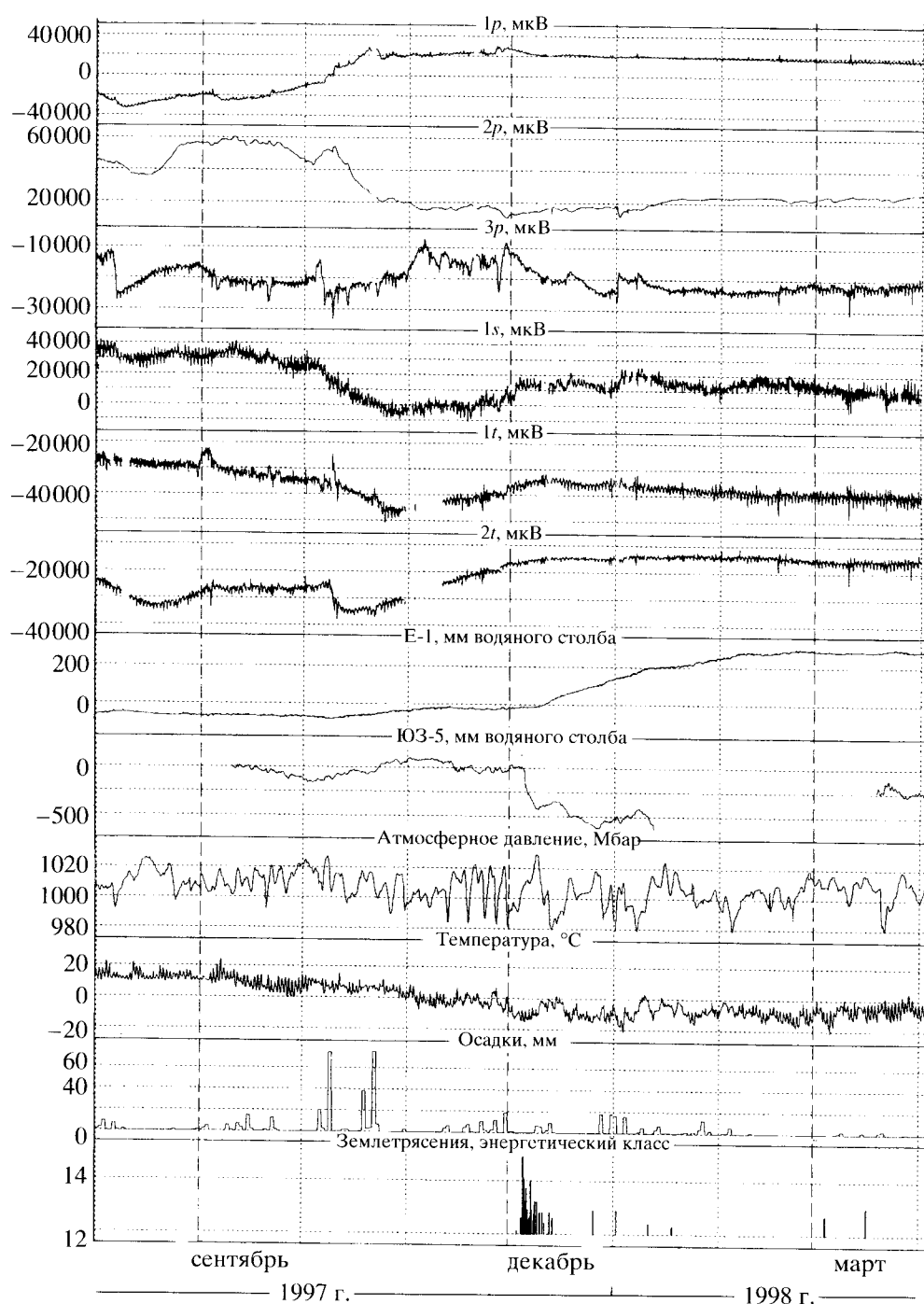
Для отображения данных наблюдений на экране компьютера используют программу Diagnos, входными данными для которой являются как стандартные файлы .TXT архива, так и любые другие ASCII-файлы, содержащие равномерно распределенные во времени данные, а также данные каталога землетрясений Камчатки. При вводе в Diagnos нестандартного файла предварительно задают начальное время регистрации и интервал дискретизации данных.

Diagnos позволяет одновременно выводить на экран до 256 файлов с общим объемом до 500000 записей с возможностью их комбинирования и детального просмотра отдельных временных отрезков. Предусмотрена также возможность вывода экранного рисунка на печать и его сохранение в формате .bmp. Примеры таких графиков приведены на рис. 3–5.

Продолжительность обработки полного объема суточных данных, от момента поступления в приемного центра файлов .DAT до получения на экране минутных и часовых графиков (совместно с метеопараметрами), составляет  $\leq 10$ –15 мин.

*Обработка данных гидродинамических наблюдений* включает поканальное разделение данных исходного цифрового файла, приведение числовых значений регистрации уровня и атмосферного давления к их физическим значениям (в мм водяного столба и в мбар), исключение 12- и 24-часовых компонент и баровариаций уровня в частотном диапазоне часы–сутки–десятки суток, построение графиков исходных данных и графиков изменения компенсированного уровня в сопоставлении с осадками и произошедшими землетрясениями. Компенсация влияния атмосферного давления на изменения уровней осуществляется на основе алгоритма работы [6] с учетом индивидуальных особенностей конкретных систем скважина–водоносный пласт [5]. Построение графиков выполняется средствами программы Diagnos (см. рис. 3–5). В процессе текущих наблюдений после получения очередного “куска” двухнедельных данных со скважин повторяется обработка и построение графиков.

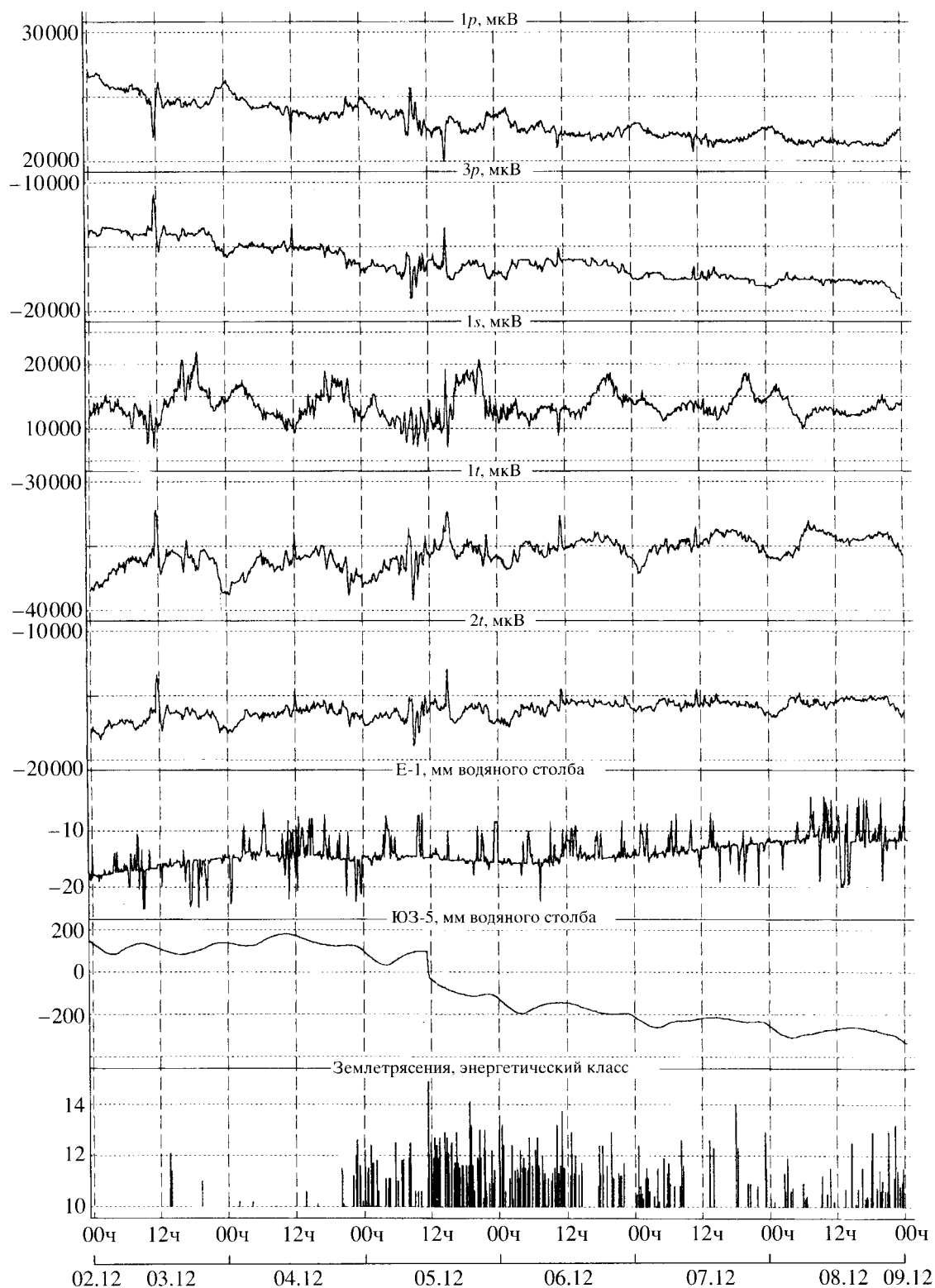
Предварительный анализ текущих данных геофизических наблюдений проводили на основе



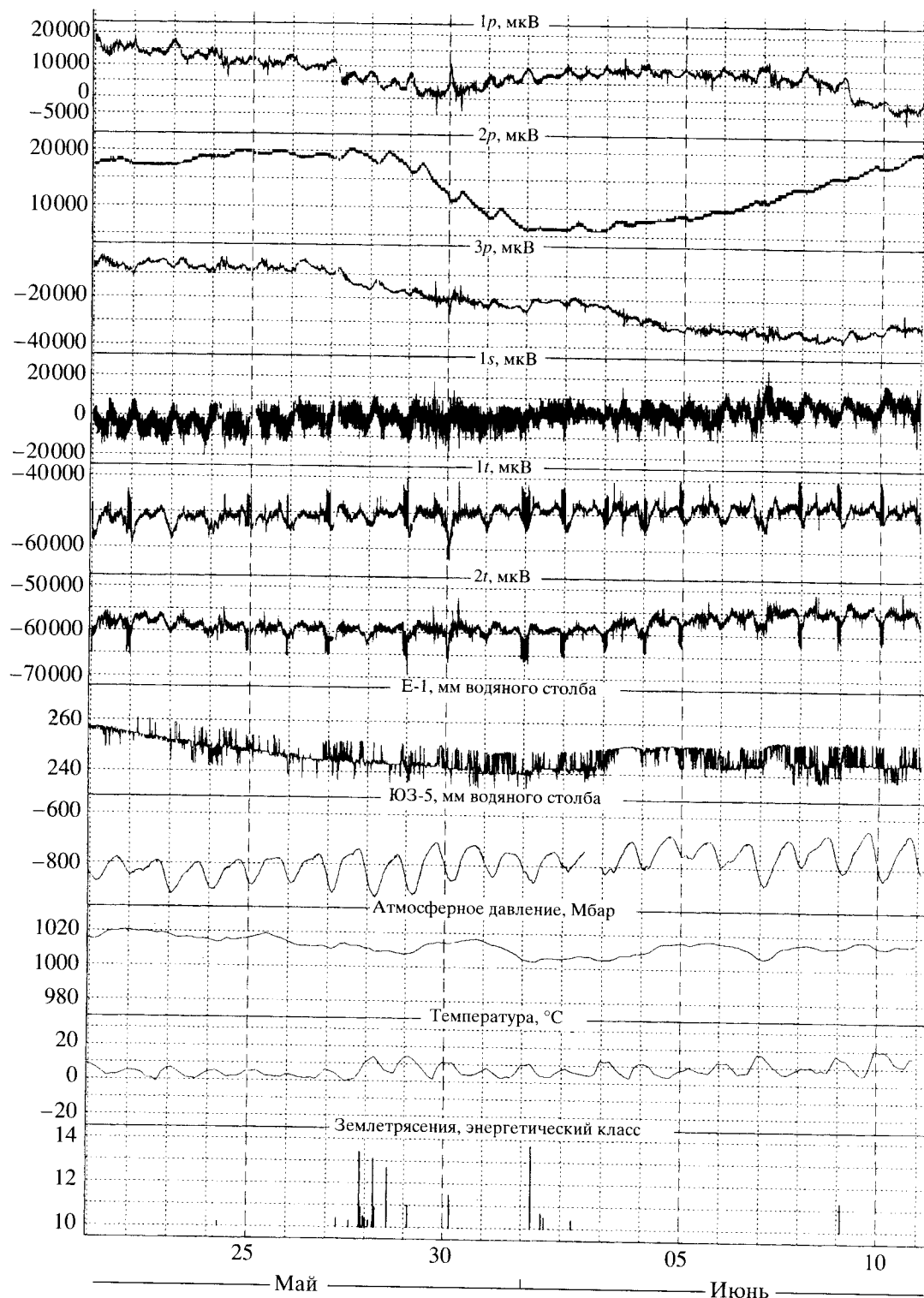
**Рис. 3.** Изменение среднечасовых значений электротеллурических потенциалов на пунктах Верхняя Паратунка (1р, 2р, 3р), Шипунский (1s), Тундровый (1t, 2t) и скорректированных уровней воды в скважинах Е-1 и ЮЗ-5 в сопоставлении с данными гидрометеорологических наблюдений на метеостанции Пионерская и землетрясениями с  $M \geq 12.0$  в августе 1997–марте 1998 г. Все приведенные землетрясения произошли в области очага землетрясения 05.12.1997 г. с  $M = 7.9$ . Прослеживаются бухтообразные изменения теллурических потенциалов в октябре–ноябре 1997 г., косейсмические изменения уровней воды в скважинах.

выявленных ранее “образов” проявления среднесрочных и предположительно краткосрочных предвестников землетрясений [4, 8, 9, 11, 12]. Для обнаружения возможных среднесрочных предвестников продолжительностью сутки–десятки су-

ток ежедневно просматриваются текущие данные часовых наблюдений длиной  $\geq 45$ –60 сут по всем пунктам с обязательным представлением гидрометеорологических данных. Для выявления более краткосрочных аномалий (в основном в из-



**Рис. 4.** Изменение электротеллурических потенциалов на пунктах Верхняя Паратунка (1р, 3р), Шипунский (1s), Тундровый (1t, 2t) по минутным данным и уровней воды в скважинах ЮЗ-5 и Е-1 по 10-минутным данным в сопоставлении с моментами землетрясений ( $K \geq 10.0$ ), произошедших в области очага землетрясения 05.12.1997 г. Наблюдаются регулярные внутрисуточные вариации в изменении электротеллурических потенциалов и уровня воды скв. ЮЗ-5, высокочастотные возмущения ЭТП 3 и 5 декабря, косейсмическое падение уровня воды в скв. ЮЗ-5 с амплитудой 120 мм в момент (11 : 26) землетрясения с  $M = 7.9$ . Пилообразные вариации уровня воды в скв. Е-1 с амплитудами до 10 мм водяного столба вызваны выделением газа.



**Рис. 5.** Изменение электротеллурических потенциалов на пунктах Верхняя Паратунка (1p, 2p, 3p), Шипунский (1s), Тундровый (1t, 2t) по минутным данным и уровней воды в скважинах E-1 и ЮЗ-5 по 10-минутным данным 21 мая–10 июня 1998 г. в сопоставлении с атмосферным давлением, температурой воздуха (по данным метеостанции Пионерская) и землетрясениями с  $K \geq 10.0$ , произошедших в Авачинском заливе. Наблюдаются регулярные суточные вариации в изменении теллурических потенциалов и уровня воды в скв. ЮЗ-5, тренды и высокочастотные возмущения ЭТП, понижение уровня в скв. E-1 до сейсмической активизации и его слабое повышение после. В данном масштабе почти не заметно косейсмического понижения уровня воды в скв. ЮЗ-5 с амплитудой  $\sim 10$  мм в момент землетрясения 01.06 с  $M = 6.3$ . Резкие шумовые вариации теллурических потенциалов на пункте Тундровый 21, 24–26, 28, 31 мая, 1–4, 7–9 июня продолжительностью 2–4 ч – техническая помеха.



менении электротеллурических потенциалов) ежедневно просматриваются графики их минутных значений длиной  $\geq 3-4$  сут.

Такая система сбора, обработки и представления геофизических данных является основой подготовки регулярных заключений о сейсмической опасности в районе Петропавловского полигона с частотой не реже одного раза в неделю в режиме фоновой сейсмичности и может быть переведена в оперативный режим функционирования при возникновении повышенной опасности сильного землетрясения.

**Оценка системы комплексных геофизических наблюдений для прогноза сейсмической опасности (по результатам работ 1997–1998 гг.).** В 1997–98 гг. наблюдалась повышенная сейсмическая активность в пределах восточного побережья Камчатки, обусловленная, в основном, возникновением в районе Камчатского и Кроноцкого заливов сильнейшего землетрясения 05.12.1997 г. с  $M_w = 7.9$  и его афтершоками (рис. 1). В районе Петропавловского полигона это землетрясение вызвало сотрясения от 6–7 (пункт Шипунский) до 5 баллов (пункт Верхняя Паратунка) [3]. Расстояние от центра полигона до инструментального гипоцентра землетрясения составляло 370 км, а расстояние от центра очаговой области до полигона – 270 км.

В Авачинском заливе в конце мая–начале июня 1998 г. произошла серия землетрясений с максимальными магнитудами 6.3 и 6.0. С 27.05.1998 г. до конца первой декады июня в центральной части залива фиксировался рой землетрясений с  $K_s \leq 13.4$  ( $M \leq 6.0$ ) (рис. 1, поз. 6(2)). Четыре наиболее значительных землетрясения с  $M = 6.0...4.3$ , вызвавших сотрясения в г. Петропавловск-Камчатский от 5–6 до 3–4 баллов произошли 27–28 мая. Эпицентральное расстояние этих землетрясений до центра полигона составляет 130 км.

1 июня в северной части Авачинского залива около южной оконечности Шипунского полуострова произошло землетрясение с  $K_s = 13.7$  ( $M = 6.3$ ), вызвавшее сотрясения в районе г. Петропавловск-Камчатский до 4–5 баллов. Эпицентральное расстояние этого землетрясения до центра полигона составило 115 км (рис. 1, поз. 6(3)). Землетрясение сопровождалось слабыми ( $K_s \leq 9.8$ ) афтершоками.

По материалам работы КЦМСИВА и КамО ФЦПЗ заблаговременные прогнозы указанных трех наиболее сильных сейсмических событий по данным системы геофизических наблюдений не выдавались, т.е. в еженедельных заключениях не содержались определенные указания на время, место и силу возникновения землетрясений, которые бы совпадали с параметрами произошедших землетрясений. Вместе с тем накануне сейсмической активизации в Авачинском заливе 21 и 28

мая 1998 г. в заключениях по данным электротеллурических наблюдений отмечалось наличие трендов и высокочастотных возмущений в изменении ЭТП. В заключении от 31 мая 1998 г. также указывалось на слабые возмущения теллурических потенциалов и появление с 23 мая выраженных суточных вариаций по второму каналу на пункте Верхняя Паратунка (такие вариации теллурических потенциалов по этому каналу ранее не фиксировались).

На рис. 3–5 представлены графики изменения электротеллурических потенциалов на трех пунктах и уровней воды в двух скважинах в сопоставлении с гидрометеорологическими данными и моментами произошедших землетрясений. Рисунки дают представление об изменениях геофизических параметров, которые фиксировались перед и после землетрясений 05.12.1997 г. (рис. 3–4) и 27.05–01.06.1998 г. (рис. 5).

На рис. 3 для периода с августа 1997 г. по март 1998 г. представлены часовые данные, полученные путем усреднения минутных значений теллурических потенциалов и 10-минутных регистраций уровня воды в скважинах. На рис. 4 показаны эти же параметры по данным минутных и 10-минутных значений за 02–08.12.1997 г. Эти графики характеризуют вариации геофизических параметров, которые учитывались при подготовке текущих заключений о сейсмической опасности.

Перед землетрясением 5 декабря 1997 г. не проявились какие-либо резкие изменения теллурических потенциалов и уровней воды, которые могли бы составить основу выдачи прогноза по геофизическим данным. Следует отметить два временных интервала высокочастотных возмущений электротеллурических потенциалов на всех наблюдательных пунктах: 3 декабря с ~10 до 12 ч и 5 декабря с 8 до 15 ч. Первое возмущение проявилось за ~2 ч до первого сильного форшока из эпицентральной области землетрясения, а второе возмущение началось за ~3.5 ч до главного толчка. По мнению Ю.Ф. Мороза, “возможно, данные возмущения были вызваны ионосферным источником, возбужденным электромагнитными излучениями литосферы, предваряющими моменты сильных землетрясений” [10]. В оперативном режиме на эти возмущения было обращено внимание, однако, учитывая то, что амплитуда и характер вариаций существенно не отличались от других таких же нередко возникающих возмущений ЭТП, сообщение о прогнозном характере аномалий не выдавалось.

По оперативным данным наблюдений за уровнем воды в скв. Е-1 и ЮЗ-5 также не прослеживалось каких-либо значительных изменений, которые могли бы вызвать особую тревогу.

На основе ретроспективного анализа данных электротеллурических и гидродинамических на-

блюдений с привлечением комплекса методов математической обработки было высказано мнение о наличии в основном среднесрочных аномалий накануне землетрясения 05.12.1997 г. на временном интервале от 50 до 20 сут до землетрясения [2, 5, 10].

В период сейсмической активизации 27 мая–1 июня 1998 г. (рис. 5) также наблюдались высокочастотные возмущения теллурических потенциалов на всех пунктах, которые проявлялись до и после наиболее сильных событий, особенно 29–30 мая. Выше упоминалось о появлении трендов в изменении потенциалов на некоторых каналах (1р, 2р, 3р) и хорошо выраженных суточных вариаций в изменении потенциалов по второму каналу пункта Верхняя Паратунка с 23 мая. В это же время наблюдалось понижение уровня воды в скв. Е-1 с амплитудой ~2 см. По данным предшествующих наблюдений, этот признак мог указывать на начало подготовки сильного землетрясения ( $M \geq 6...7$ ) [4], но к моменту землетрясений 27.05–01.06.1998 г. амплитуда и скорость понижения уровня были недостаточно велики для объявления тревоги.

**Выводы.** 1. На базе КОМСП ГС РАН создается и функционирует система комплексных геофизических наблюдений для оценки: сейсмической опасности в районе г. Петропавловск-Камчатский в составе электротеллурических, гидродинамических и др. пунктов; пополняемых архивов данных геофизических наблюдений; оригинальных программных средств обработки и отображения комплекса текущих данных совместно с гидрометеорологическими параметрами и данными оперативного сейсмического каталога Камчатки.

2. По оперативным данным наблюдений в 1997–1998 гг. за теллурическими потенциалами и уровнями воды в скважинах, не проявились краткосрочные аномалии перед землетрясениями 05.12.1997 г. с  $M = 7.9$  ( $R = 370$  км, 5–6 баллов) и 27.05–01.06.1997 г. с  $M_{\max} = 6.0...6.3$  ( $R = 130...115$  км, 5 баллов). Наблюдавшиеся изменения теллурических потенциалов и уровней воды перед этими землетрясениями имели характер краткосрочных незначительных вариаций, что не позволило выявить их прогнозное значение. По результатам ретроспективной обработки в связи с землетрясением 05.12.1997 г. выявлены предшествующие ему преимущественно среднесрочные (50–20 сут) изменения электротеллурических потенциалов [10], уровней воды в скважинах [5], комплекса электромагнитных параметров [2], а также ко-сейсмические вариации.

3. Двухлетний опыт работы показывает, что опубликованные в литературе примеры (“образы” проявления предвестниковых аномалий в изменении теллурических потенциалов и уровней подземных вод, выявленных ретроспективно) не

всегда могут быть эффективно использованы при текущем мониторинге этих геофизических параметров. По-видимому, методические приемы по выявлению и диагностике предвестниковых аномалий в изменении электротеллурического поля и уровней воды в скважинах должны быть существенно дополнены за счет результатов более углубленного ретроспективного анализа архива электротеллурических и гидродинамических данных, привлечения данных всего комплекса геофизических наблюдений, так и опыта по оперативной обработке и представлению текущих данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке Администрации Камчатской области и РФФИ, грант 97-05-96635.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багмет А.Л., Багмет М.И., Барабанов В.Л. и др. Исследование земноприливных колебаний уровня подземных вод на скважине “Обнинск” // Физика Земли. 1989. № 11. С. 84–95.
2. Бузевич А.В., Дружин Г.И., Фирстов П.П. и др. Гелиогеофизические эффекты, предварявшие Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 г.,  $M = 7.7$  // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г. Предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский, 1998. С. 177–188.
3. Гусев А.А., Левина В.И., Салтыков В.А., Гордеев Е.И. Сильное Кроноцкое землетрясение 5 декабря 1997 года: основные данные, сейсмичность очаговой зоны, механизм очага, макросейсмический эффект // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г. Предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский, 1998. С. 32–49.
4. Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине Елизовская-1, Камчатка, вызванные сильными землетрясениями (по данным наблюдений в 1987–1998 гг.) // Вулканология и сейсмология (принята в печать).
5. Копылова Г.Н., Любушин А.А.(мл.), Малугин В.А. и др. Гидродинамические наблюдения на Петропавловском полигоне, Камчатка // Вулканология и сейсмология (принята в печать).
6. Любушин А.А.(мл.), Латынина Л.А. Компенсация метеорологических помех в деформметрических наблюдениях // Физика Земли. 1993. № 12. С. 98–102.
7. Мороз Ю.Ф. О методике поисков краткосрочных предвестников сильных землетрясений в низкочастотном теллурическом поле на Камчатке // Физика Земли. 1994. № 9. С. 88–90.
8. Мороз Ю.Ф. Предвестники сильных землетрясений в низкочастотном электромагнитном поле Камчатки // Физика Земли. 1996. № 5. С. 58–62.
9. Мороз Ю.Ф., Бахтияров В.Ф., Воронаев В.Ф. и др. О мониторинге электротеллурического поля для прогноза сильных землетрясений на Камчатке //

- Вулканология и сейсмология. 1995. № 4–5. С. 139–149.
10. Мороз Ю.Ф., Кузнецова В.П., Трубников В.М., Мороз Т.А. Аномальные эффекты в земных электротеллурических токах перед сильным Кроноцким землетрясением в 1997 году // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г. Предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский, 1998. С. 189–196.
  11. Руленко О.Н., Дружин Г.И., Вершинин Е.Ф. Измерения атмосферного электрического поля и естественного электромагнитного излучения перед Камчатским землетрясением 13.11.93 г. // Докл. РАН. 1996. Т. 348. № 6. С. 814–816.
  12. Руленко О.Н., Иванов А.В., Шумейко А.В. Краткосрочный атмосферно-электрический предвестник камчатского землетрясения 6.03.1992 г.,  $M = 6.1$  // Докл. РАН. 1992. Т. 326. № 6. С. 980–982.
  13. Системный проект по развитию Федеральной системы сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений (основные положения) // Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Информационно-аналитический бюл. 1995. № 1. С. 3–95.

## Multidisciplinary Geophysical Observations at the Petropavlovsk Test Site, Kamchatka

**S. T. Balesta, G. N. Kopylova, E. R. Latypov, Yu. D. Kuzmin**

*Kamchatkan Technique Testing Seismological Team, Geophysical Service, Russian Academy of Sciences (KTTST GS RAN),  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia*

Organizational work and methodological research were carried out by the KTTST GS RAN in 1995–1998 in cooperation with other research and industrial organizations to develop an automated system for multidisciplinary geophysical observations to be used in earthquake prediction in Kamchatka. A description is provided of the contemporary condition of the network conducting geophysical (electrotelluric, electromagnetic, hydrodynamic etc.) observations at the Petropavlovsk Test Site and of the KTTST GS RAN data acquisition and processing system. The 1997–1998 seismicity is examined to evaluate the potential of the existing geophysical observation system for use in identifying earthquake precursors.