

УДК 550.83.04

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
В РАЙОНЕ СКВАЖИНЫ ГК-5  
(КАРЫМШИНСКАЯ ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ СИСТЕМА)

*Мельникова А.В.<sup>1</sup>, Шульженкова В.Н.,<sup>1</sup> Берсенева Н.Ю.<sup>1</sup>, Рылов Е.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга

<sup>2</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

*Научный руководитель к.т.н. В.А. Рашидов*

Проведены комплексные геофизические исследования в районе скважины ГК-5 (Карымшинская геотермальная система). Комплекс исследований включал в себя: магниторазведку, электроразведку, сейсморазведку, термометрию, радиометрию и георадиолокацию. Сделан вывод о возможности эффективного применения данного комплекса методов для исследования геотермальных площадей.

*Ключевые слова: комплексные геофизические исследования, геотермальная система.*

## ВВЕДЕНИЕ

Использование геофизических методов для разведки месторождений термальных вод началось на Камчатке в конце 50-ых годов XX века на Паужетском и Налычевском геотермальных полях [6]. В последующие годы объем геофизических работ увеличивался, вырабатывалась рациональная методика и комплексирование методов. Итогом работ сотрудников Института вулканологии ДВНЦ АН СССР по изучению Паужетского, Кошелевского, Больше-Банного, Паратунского, Верхнепаратунского, Налычевского, Апачинского, Малкинского, Эссовского, Анавгайского и Пущинского месторождений термальных вод Камчатки явилась монография [6].

К сожалению, в последующие 20 лет, после выхода монографии, объем работ по изучению геотермальных районов полуострова существенно уменьшился. В последнее время наблюдается возобновление интереса к геофизическому изучению геотермальных районов Камчатки [2, 4, 8-12, 15].

В частности, в последние годы сотрудниками Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН были проведены комплексные геофизические работы в геотермальных районах Камчатки:

- исследования в районе кальдеры Узон [4];
- изучение Паужетско-Камбально-Кошелёвского геотермального района [2, 10];
- работы в природном парке Налычево [9, 11-12, 15].

В 2010 г. в Налычево на термальных площадках «Котел» и «Грифон Иванова» была отработана методика детального комплексного геофизического изучения локальных объектов. Комплекс исследований включал в себя магнитометрию, радиометрию.

Исследования, выполненные в 2011 г. явились продолжением апробации и совершенствования разработанной методики. Причем в комплекс исследований были добавлены сейсморазведка, электроразведка, терморазведка и георадиолокация.

В сентябре 2011 г. в долине р. Карымшина (Юго-Восточная Камчатка) в районе скважины ГК-5, которая является объектом режимных наблюдений Камчатского филиала Геофизической службы (КФ ГС) РАН, на полигоне «Теплые земли» были выполнены комплексные геофизические исследования.

Целью работ являлось апробирование и дальнейшее совершенствование проведения комплексной детальной геофизической съемки локальных объектов путем интеграции академической и вузовской науки и привлечения студентов к выполнению научных исследований.

В соответствии с этой целью в процессе работ решались следующие задачи:

- апробация и дальнейшее совершенствование методики комплексных геофизических исследований на территории локального объекта;

– обработка и интерпретация полученных данных.

В полевых исследованиях непосредственное участие принимали студенты-геофизики 5 курса Мельникова А.В., Шульженкова В.Н. и аспирант Рылов Е.С., обработка данных сейсморазведки проведена студенткой 4 курса Берсеновой Н.Ю.

### ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ

С 1977 г. на Камчатке КФ ГС РАН проводятся непрерывные наблюдения за режимом подземных вод и газов, организованные специально в связи с задачей поиска и изучения гидрогеологических (гидрогеохимических) предвестников землетрясений [1, 13]. С 1987 г. такие наблюдения осуществляются на Карымшинском участке Верхне-Паратунского геотермального месторождения. В настоящий момент наблюдательная сеть в этом районе состоит из 5 самоизливающихся скважин: ГК-5; ГК-15; ГК-44; К-44 и ГК-17. Комплекс режимных наблюдений производится каждые 6 дней и включает в себя измерения атмосферного давления и температуры воздуха, измерения температуры и расхода воды самоизливающихся скважин, отбор проб воды и газа для последующего их анализа в лабораторных условиях на базе аналитического центра ИВиС ДВО РАН. В пробах воды определяются: рН, концентрация основных растворенных в воде ионов и кислот, концентрация растворенных в воде газов. Всего 22 параметра [7, 13].

Скважина ГК-5 входит в число 4-х самоизливающихся скважин станций «Верхняя Паратунка». Бурение скважины проводилось с 4 ноября 1966 г. по 17 февраля 1967 г. По окончании бурения глубина скважины составила 900 м, температура в устье 74°C, химический состав воды – гидрокарбонатно-сульфатный, кальциево-натриевый [1].

Апробация и дальнейшее совершенствование методики комплексных геофизических исследований были проведены на термальной площадке «Теп-

лые земли» размером 50×190 м (рис. 1). В ЮЗ части, которой располагается скважина ГК-5.

Для проведения работ этот полигон был выбран по тому, что есть возможность привязки результатов измерений к разрезу по скважине ГК-5, полученному в результате бурения. Близкое расположение полигона к городу Петропавловску-Камчатскому дает возможность приезжать на короткие промежутки времени для выполнения работ.

Площадка «Теплые земли» сложена валунно-галечными отложениями, частично перекрытыми почвенным слоем и располагается с обеих сторон р. Карымшина. В этом году был исследован участок берега реки, на котором находится скважина ГК-5.

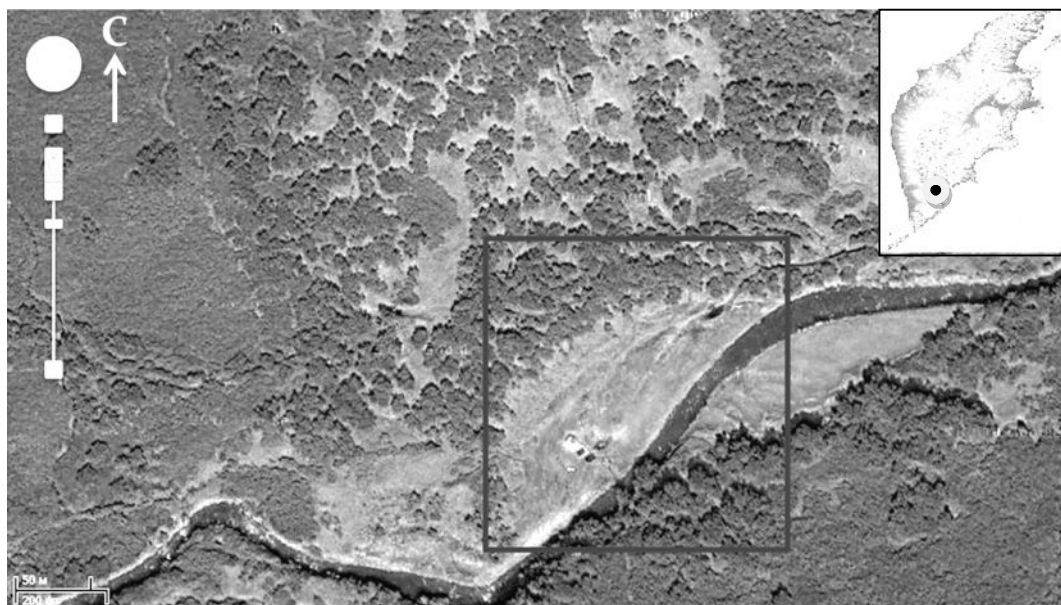


Рис. 1. Территория района работ (выделена прямоугольником)

## АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

Комплекс выполненных геофизических исследований включал в себя: магниторазведку, электроразведку, сейсморазведку, термометрию, радиометрию и георадиолокацию.

Работы были произведены в два этапа. В ходе первого этапа была разбита и привязана с помощью GPS Garming C62 регулярная сеть. Площадные измерения были выполнены в 102 точках, в узлах регулярной сети 10×10 м. В каждой точке последовательно измерялись полный вектор магнитной индукции, магнитная восприимчивость, интенсивность гамма-излучения, температура и разность потенциалов. В дальнейшем на ряде выбранных профилей в пределах этой сети выполнялись сейсморазведка и электроразведка методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) (рис. 2).

На втором этапе регулярная сеть была дополнена и произведены измерения в 27 точках. К сожалению, сейсморазведка и электроразведка при этом не выполнялись.

Особенностью выполненной работы является то, что она произведена в короткий промежуток времени с использованием многочисленных методов при частичной взаимозаменяемости членов отряда.

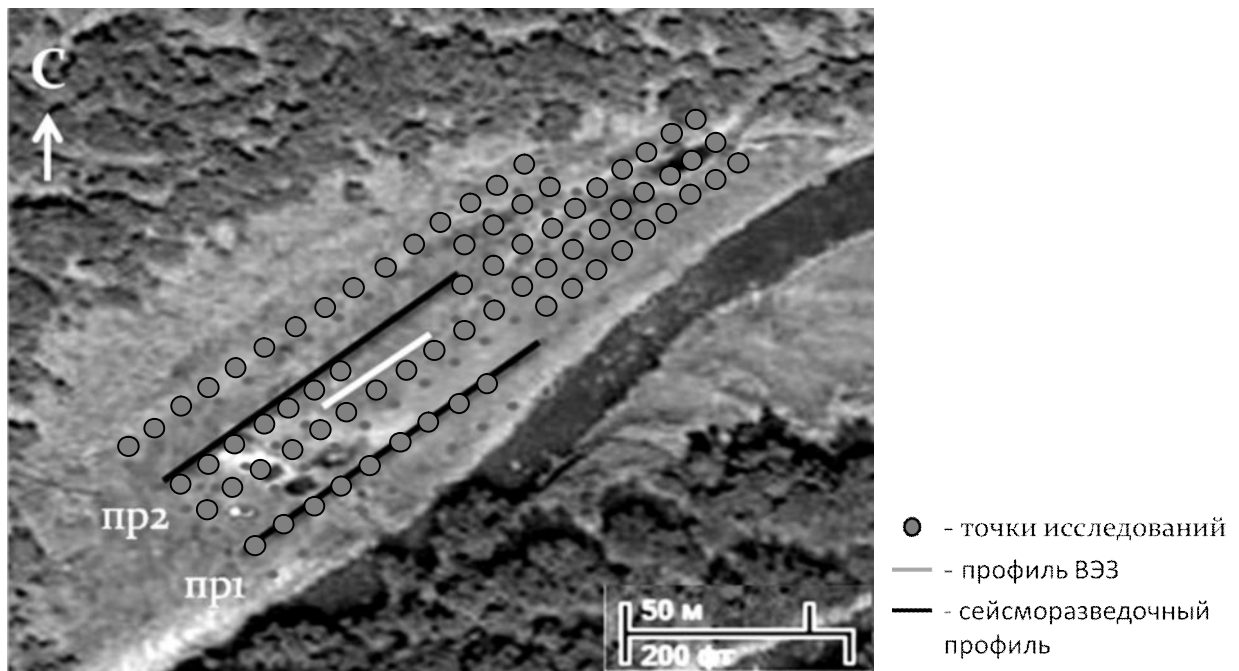


Рис. 2. Расположение точек исследований и профилей.

**Электроразведочные работы** проводились методами ВЭЗ и естественного поля (ЕП).

Метод ВЭЗ – модификация метода сопротивлений на постоянном или низкочастотном (до 20 Гц) токе. В процессе работы расстояние между питающими электродами постепенно увеличивают, т.е. используют дистанционный (геометрический) принцип изменения глубинности. Чем больше разнос, тем больше глубина проникновения тока, а график зависимости кажущегося сопротивления от разноса или кривая зондирования характеризует изменение удельных электрических сопротивлений с глубиной. Поэтому в результате интерпретации разрез расчленяют по вертикали. ВЭЗ применяется для разведки на небольших глубинах (до 300-500 м). Метод позволяет судить о распределении кажущегося сопротивления  $\rho_k$  от поверхности земли на глубину. [14]. В связи с особенностями рельефа термальной площадки (располагается с обеих сторон р. Карымшина, и окружена сопками) глубинность метода при проведении исследований составила 35 м.

Метод ЕП основан на измерении локальных естественных электрических полей электрокинетической и электрохимической природы. При съемке способом потенциала измеряются разности потенциалов между одной неподвижной точкой N и всеми точками M изучаемого участка. Точка, где устанавливается неподвижный электрод N, принимается за нуль потенциала. Чтобы это условие было реальным, вблизи точки N не должно быть рудных объектов, металлических труб или иных источников аномалий ЕП. Выполнение данного условия на исследуемой территории было осложнено наличием скважины, вследствие чего электрод N находился на расстоянии порядка 70 м от нее. Для выбора места для N в поле часто проводят пробные измерения в 5-10 точках, чтобы убедиться в отсутствии аномалий [14].

Электроразведочные работы выполнялись портативной цифровой электроразведочной аппаратурой «ЭРП-1» (для метода ВЭЗ) и мультиметром (для метода ЕП). Работы и обработка полученных данных производились н.с. ИВиС ДВО РАН, ст. преподавателем кафедры «географии, геологии, геофизики» И.А. Федорченко.

**Геомагнитные** исследования включали в себя измерение модуля полного вектора магнитной индукции и каппаметрию.

Для измерения полного вектора магнитной индукции использовался протонный магнитометр Geometrics G-856AX. Принцип действия магнитометра основан на измерении частоты свободной ядерной прецессии протонов в земном магнитном поле [5]. Использовалась вертикальная ориентация датчика, т.к. съёмки проводились в высоких широтах. Для учета вариаций магнитного поля были использованы данные геомагнитной обсерватории «Паратунка», которые были любезно предоставлены Институтом космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН.

Каппаметрия, т.е. измерение магнитной восприимчивости горных пород в естественном залегании, производилась каппаметром КТ-6. Этот прибор предназначен для быстрого измерения магнитной восприимчивости горных пород, буровых кернов и крупных кусков горных пород в полевых условиях.

**Для радиометрических** наблюдений использовался прибор СРП-68-01 позволяющий измерять экспозиционную дозу  $\gamma$ -излучения ( $I$ ). Фоновые значения  $\gamma$ -поля, измеренные на дневной поверхности, зависят от содержания радионуклидов в горных породах, что позволяет оценивать площадную неоднородность радионуклидов поверхностного слоя в несколько метров.

Изучение грунтов исследуемой площадки выполнялось методами **многоволновой сейсмической разведки**. Она базируется на регистрации про-

дольных, поперечных и обменных волн с различной поляризацией. На изучаемой площадке применялся вариант продольного профилирования на преломленных и отраженных волнах с регистрацией *zz*- (вертикальная) компоненты сейсмического поля по системе встречных и нагоняющих годографов [14].

В качестве излучателя упругих колебаний применялся «тампер» (падающий груз) весом 50 кг. Использовалась цифровая сейсмическая станция «Лакколит – 24М», которая позволяет вести регистрацию сейсмических волн на жесткий диск персонального компьютера, что обеспечивает синхронное накопление регистрируемых колебаний сейсмических волн в одном и том же пункте излучения для четкого выделения полезного сигнала на фоне помех. Шаг между приемными каналами был принят равным 2.5 м.

**Измерение температур** на территории исследуемого полигона осуществлялась термометром *Yokogawa*. В начале измерения производились на глубине около 70 см, впоследствии в связи с нехваткой времени – на глубине 10 см. Измерения и обработка данных по методу Федорова были выполнены в.н.с. ИВиС ДВО РАН, доцентом кафедры «географии, геологии, геофизики» к.г.-м.н. И.Ф. Делеменем.

**Для георадиолокационных исследований** использовался георадар «ОКО», разработанный в НИИ приборостроения им. В.В. Тихомирова с антенным блоком АБ 250 с центральной частотой 250 МГц (разрешающая способность 0.25 м). Метод георадиолокации привлекателен своим визуальным отображением и кажущейся простотой интерпретации [3]. Однако, как и любой геофизический метод, при сложных физико-геологических условиях требует комплексирования с другими методами и буровыми работами. К сожалению, данные исследований находятся в стадии обработки и в статье не представлены.



## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате последующей камеральной обработки полученных данных, для изученного полигона были построены карты: распределения температуры (рис. 3), изолиний потенциала по методу ЕП (рис. 4), аномального магнитного поля ( $\Delta T$ )а (рис. 5), магнитной восприимчивости (рис. 6), карта интенсивности  $\Delta \gamma$  (рис. 7). Кроме того, были построены вертикальный разрез электрического поля по данным ВЭЗ (рис. 8) и два разреза по сейсмическим профилям (рис. 9).

На каждой из построенных карт выделяются аномалии СВ простирания. По нашему мнению, это может быть связано с зоной трещиноватости и разгрузкой воды в верхней части разреза.

Также заметны повышенные значения магнитной восприимчивости и интенсивности  $\gamma$ -поля вдоль берега реки.

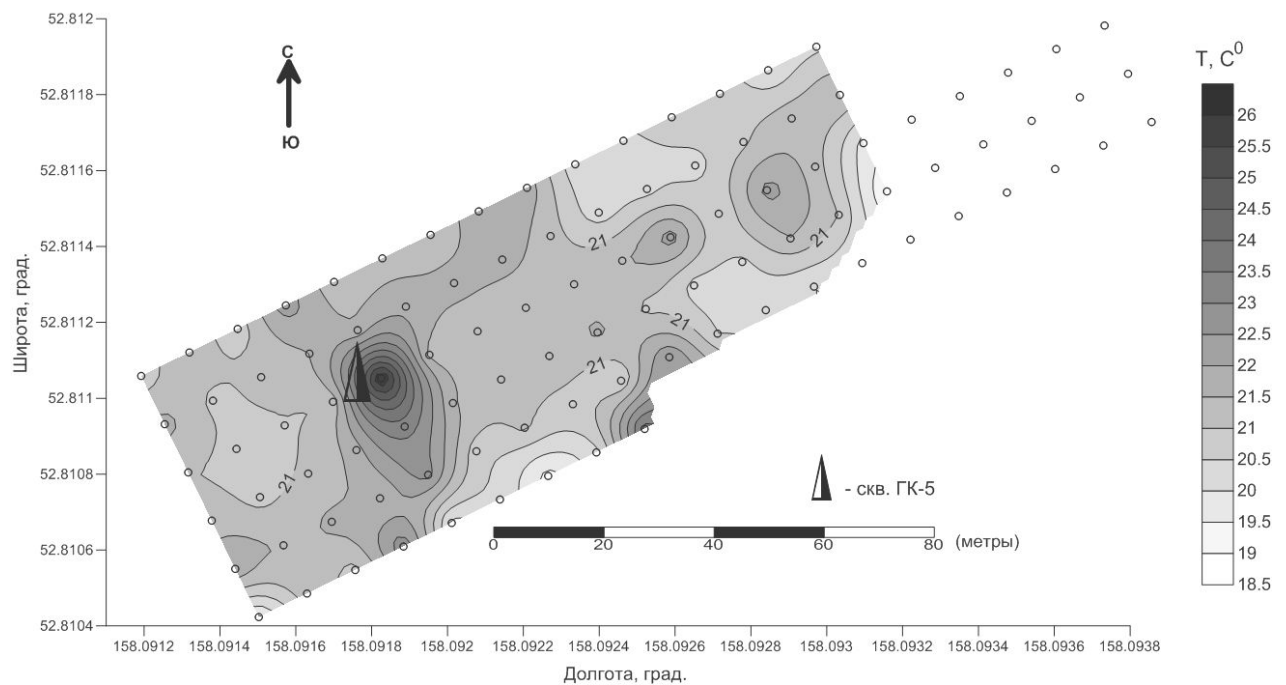


Рис. 3. Карта изолиний распределения температур. Построил И.Ф. Делемень.

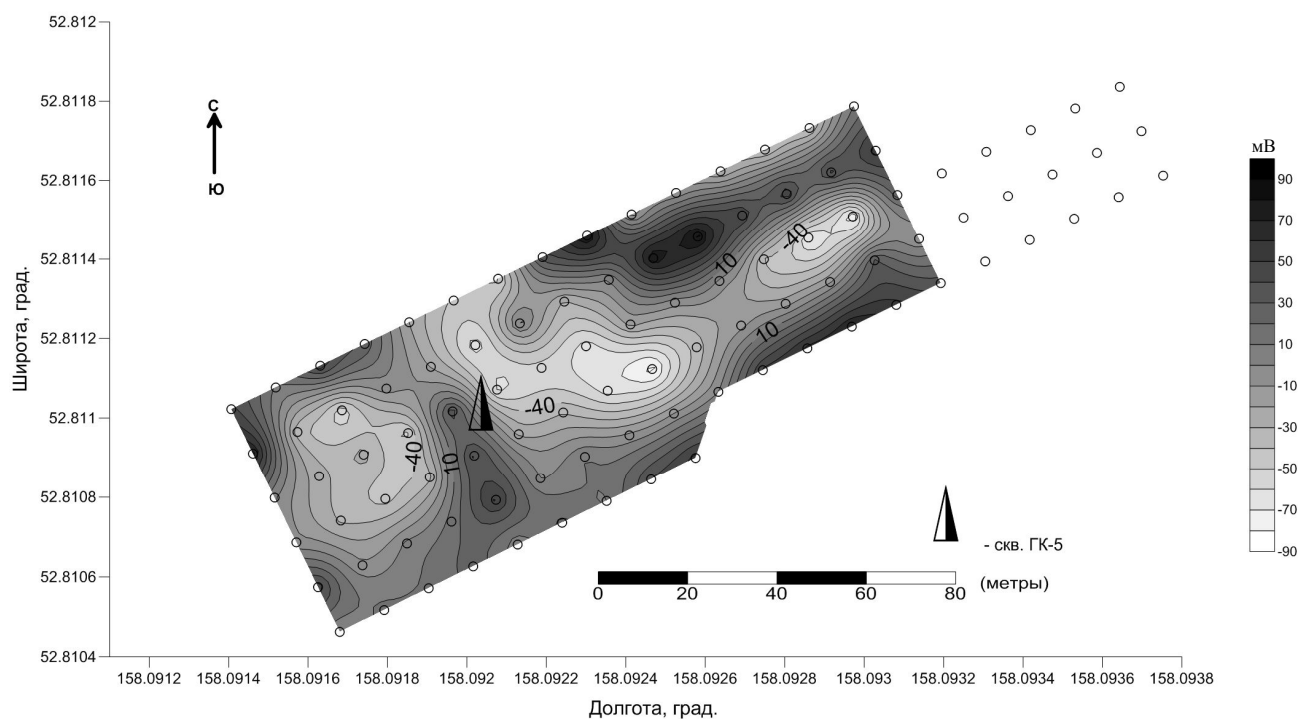
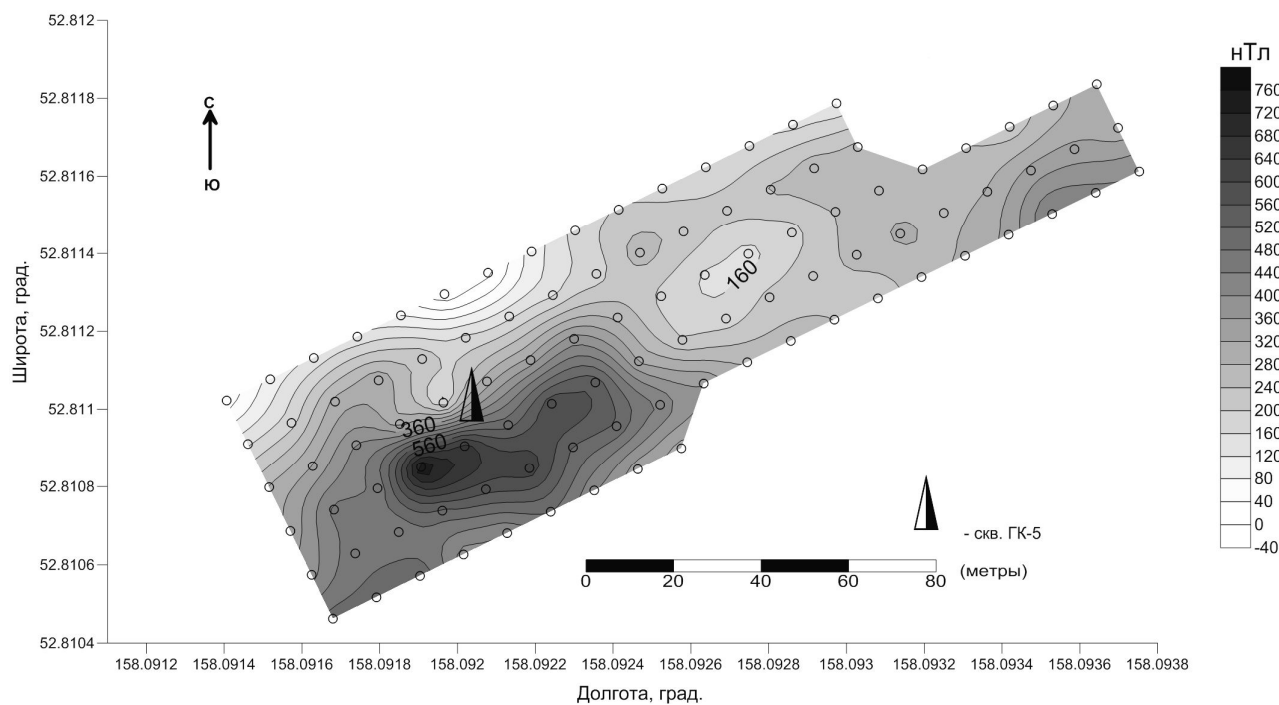


Рис. 4. Карта изолиний естественного потенциала. Построил И.А. Федорченко.

Рис. 5. Карта аномального магнитного поля ( $\Delta T$ )а.

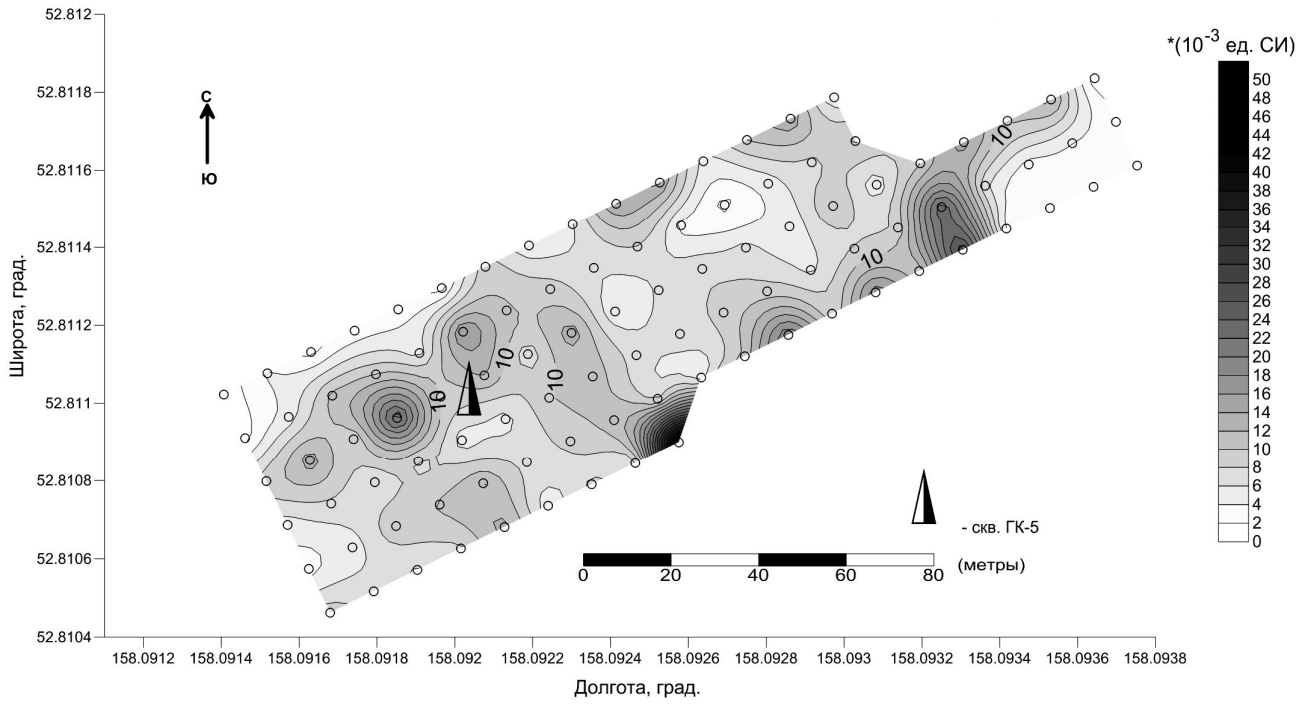
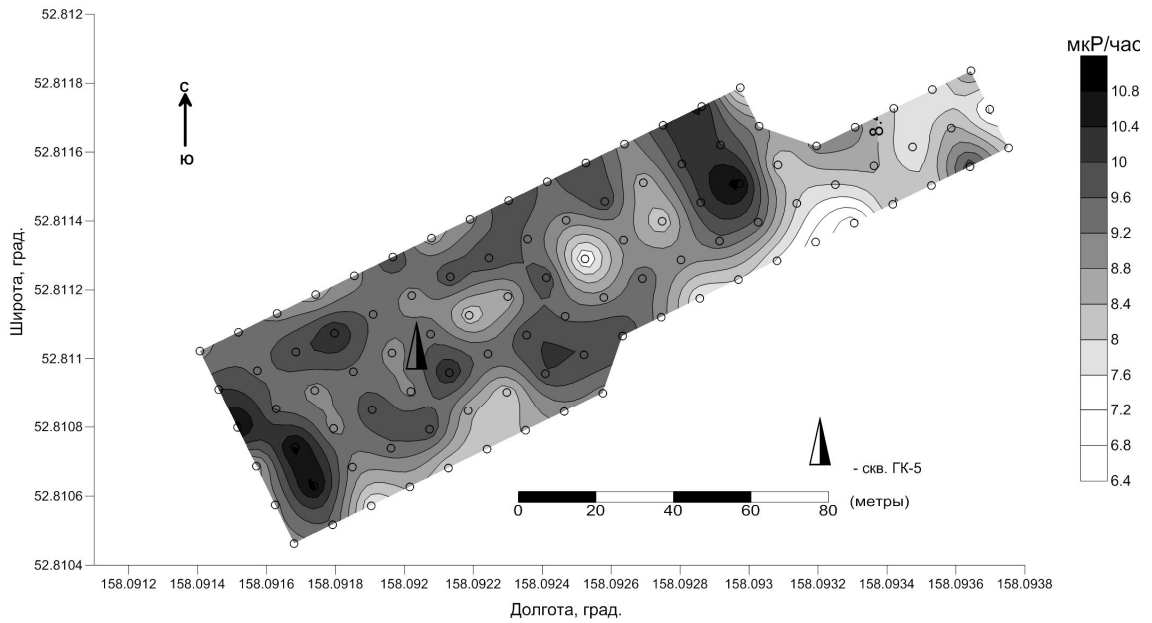


Рис. 6. Карта изолиний магнитной восприимчивости.

Рис. 7. Карта изолиний интенсивности  $\Delta I_y$ .

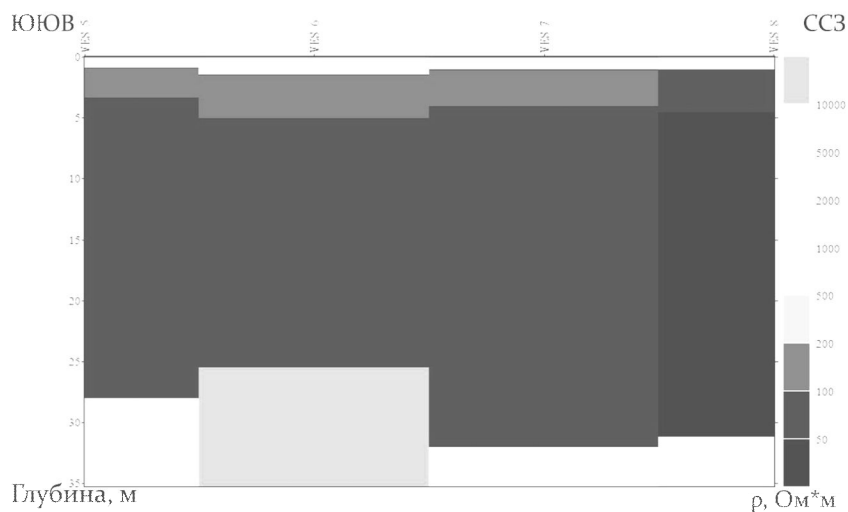


Рис. 8. Геоэлектрический разрез по данным ВЭЗ.  
Местоположение профиля показано на рис. 2.

И.А. Федорченко по данным ВЭЗ выделил 3 границы (рис. 8), различные по кажущемуся сопротивлению. Первая граница залегает на глубине около 1.5 м и, скорее всего, отслежена из-за различий кажущегося сопротивления, т.к. в диапазоне глубин 0-4.2 м по данным кернометрии залегают валунно-галечные отложения и никакой контрастной границы не обнаружено. Вторая граница залегает на глубине около 4-5 м, что по данным бурения соответствует границе между валунно-галечными отложениями и андезитами. Третья граница располагается на глубине около 30 м, и, скорее всего, отслежена из-за различий кажущегося сопротивления, т.к. в диапазоне глубин 4.2 – 42 м, что по данным кернометрии залегают андезиты и никакой контрастной границы не обнаружено.

В результате обработки сейсмограмм, полученных в ходе выполнения работ, был построены сейсмические разрезы по двум выбранным профилям. На первом профиле на глубине около 3-4 м выделена отраженная граница, на втором профиле она залегает на глубине 4-5 м, что может свидетельствовать о наклоне слоя от реки. Данная граница по данным кернометрии соответству-

ет границе между валунно-галечным отложениям и андезитами по данным кернометрии скважины (рис. 9).

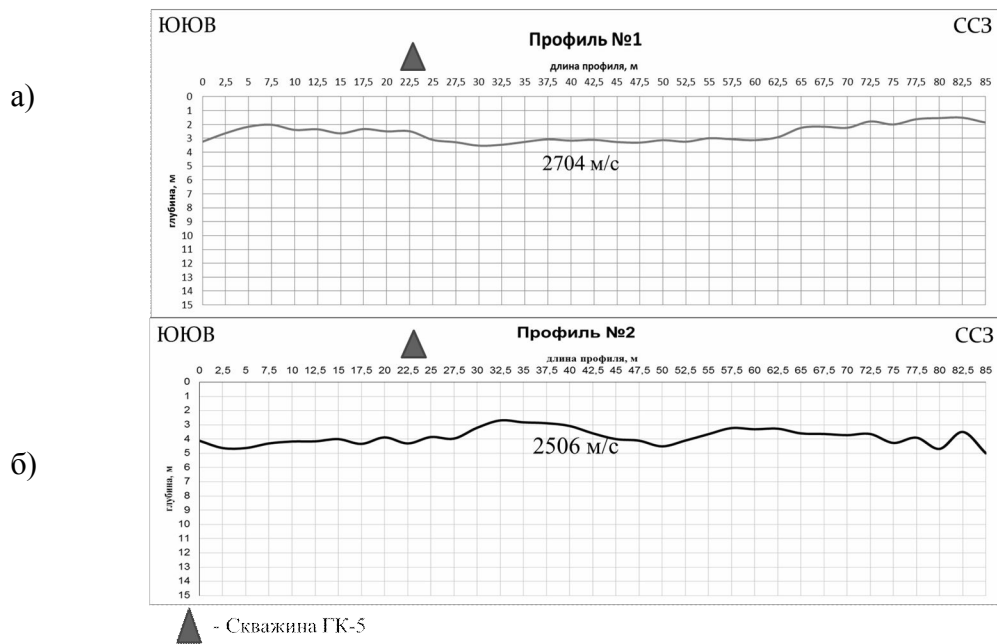


Рис. 9. Сейсмические разрезы: а) по профилю №1, б) по профилю №2. Местоположение профилей показано на рис. 2.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика комплексных геофизических исследований на локальных объектах в пределах геотермальных систем, включающая в себя 8 геофизических методов, прошла успешную апробацию.

В результате обработки полученных данных построены разрезы и детальные карты, которые в дальнейшем могут рассматриваться с различных точек зрения. Наличие на изученном полигоне буровой скважины позволило идентифицировать границы, выделяемые геофизическими методами с данными кернометрии скважины.

Отмечено, что во всех измеренных полях выделяется аномалия СВ простираения.

Полигон «Теплые земли» является легкодоступным для проведения 4D съемок. На наш взгляд, выполнение комплексных режимных геофизических

работ на данном полигоне может быть эффективным для изучения вариаций напряженно-деформированного состояния геосреды обусловленных геодинамическими процессами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Боярская И.Д., Сирица Д.В. Оценка воспроизводимости результатов измерений содержаний газов в подземных водах // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Второй региональной научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 11-17 октября 2009 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2010. С. 345-347.
2. Абкадыров И.Ф., Букатов Ю.Ю., Нуждаев И.А., Рылов Е.С., Феофилактов С.О. Комплексные геофизические исследования в районе нижнекошлевского пародоминирующего геотермального месторождения (южная камчатка) // региональная научная конференция «Вулканизм и связанные с ним процессы» Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. 2011г.
3. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. М.: изд-во МГУ, 2004. 153 с.
4. Карпов Г.П., Федорченко И.А., Яроцкий Г.П. Результаты комплексных геофизических исследований в кальдере Узон (Камчатка, 2008) // Материалы конференции посвященной Дню вулканолога. 2009 Петропавловск-Камчатский С. 141-148.
5. Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка. Л.: Недра, 1979. 351 с.
6. Комплексные геофизические исследования геологического строения месторождений термальных вод Камчатки. М.: Нука, 1985. 112 с.
7. Кузьмин Ю.Д., Рябинин Г.В. Мониторинг газового состава и гидрохимических параметров гидротермально-магматических систем // Геотермальные и минеральные ресурсы областей современного вулканизма: материалы Международного полевого Курило-Камчатского семинара, 16 июля – 6 августа. / Гл. редактор д.г.-м.н. С.Н. Рычагов. Петропавловск-Камчатский: ОТТИСК, 2005. С. 328-342.
8. Матнштейн Ю.А., Борникова С.Б. Матнштейн А.К. и др. Особенности строения проводящих каналов термальных источников вулкана Мутновский (Южная Камчатка) // ДАН. 2008. Т. 423. № 3. С. 383-388.
9. Рашидов В.А., Мельникова А.В. Геомагнитные исследования термальной площадки «Котел» (Налычевская гидротермальная система, Камчатка) // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы 38-й сессии Международного научного семинара имени Д.Г.Успенского. Пермь: ГИ УрОРАН, 2011. С. 254-256.
10. Рычагов С.Н. Исследования Южнокамчатско-Курильской экспедиции ИВиС ДВО РАН в Паужетско-Камбально-Кошелевском геотермальном районе на Камчатке // Вестник КРАУНЦ. Наука о Земле. 2008. № 2 (12). С. 203-206.

11. Фирстов П.П., Рашидов В.А., Мельникова А.В., Андреев В.И., Шульженкова В.Н. Геофизические исследования в природном парке "Налычево" (Камчатка) // *Материалы региональной конференции, «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню Вулканолога, 30 марта – 1 апреля 2011 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 112-116.*
12. Фирстов П.П., Рашидов В.А., Мельникова А.В., Андреев В.И., Шульженкова В.Н. Ядерно-геофизические исследования в Природном парке "Налычево" (Камчатка) // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2011. № 1 (17). С. 231-240.*
13. Хаткевич Ю.М., Кузьмин Ю.Д., Рябинин Г.В. Современное состояние гидрогеохимических наблюдений на Камчатке, проводящихся с целью изучения реакции подземных водно-газовых систем на геофизические воздействия // *100-летие Камчатской экспедиции Русского географического общества: материалы всероссийской научной конференции 22-27 сентября 2008 г. Петропавловск-Камчатский, 2009. С. 237-240.*
14. Хмелевской В.К., Горбачев Ю.И., Калинин А.В. и др. Геофизические методы исследований / Под редакцией Н.И. Селиверстова. Петропавловск-Камчатский: изд-во КГПУ, 2004. 232 с.
15. Firstov P.P., Rashidov V/A., Melnikova A.V., Shulzenkova V.N. Geomagnetic and nuclear-geophysical investigations of thermal travertine areas in the Nalychevo hydrothermal system, Kamchatka // *7th biennial workshop on Japan-Kamchatka-Alaska subduction processes: Mitigating risk through international volcano, earthquake, and tsunami science, JKASP-2011. Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia. August 25-30, 2011. P. 294-297.*

COMPLEX GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS  
AT THE AREA OF THE WELLS GC-5  
(KARYMSHINSKYA GEOTHERMAL SYSTEM)

***Melnikova A.V., Shulzhenkova V.N.  
Berseneva N.Y., Rylov E.S.***

*Kamchatka Bering State University  
Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS  
Petropavlovsk-Kamchatsky*

Complex geophysical investigations at the area of the well GK-5 (Karymshinskaya geothermal system) are carried out. Complex geophysical investigations included: electro-prospecting works, geomagnetic research, thermometry and radiometry, a seismic survey. It was concluded that this complex of methods are possibility using for the study of geothermal sites.

*Keywords: complex geophysical researches, geothermal system.*