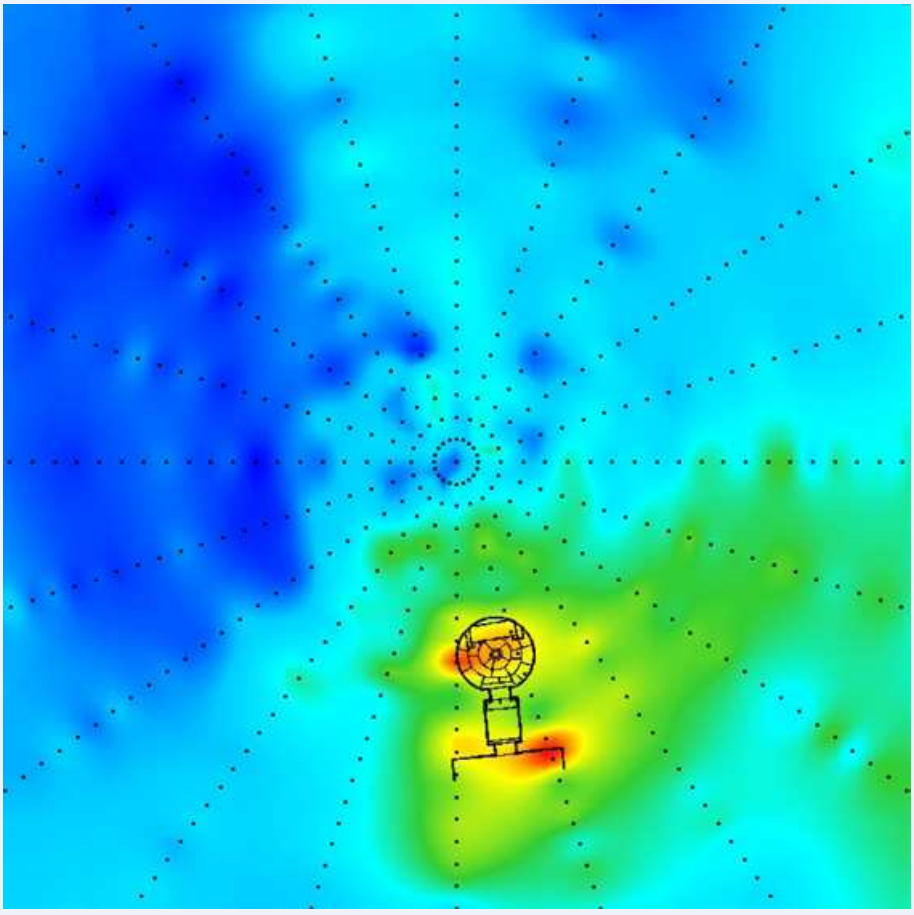
НИКОЛА ТОНКОВ

ГЕОФИЗИЧНИ МЕТОДИ В АРХЕОЛОГИЯТА

ОПТИМИЗИРАНЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА ПРОУЧВАНЕ НА НАДГРОБНИ МОГИЛИ



СОФИЯ 2013

Електронното списание и портал
на Асоциацията на Българските Археолози
http:// be-ja.org http:// fubular.org
E-journal and web-site
of the Acociation of the Bulgarian archaeologists

ISBN 978-619-90156-1-2

FREELY AVAILABLE ONLINE ON http://be-ja.org

ISBN 978-619-90156-1-2
9 786199 015612 >

Българско е-Списание за Археология

SUPPLEMENTUM 2

НИКОЛА ТОНКОВ

ГЕОФИЗИЧНИ МЕТОДИ В АРХЕОЛОГИЯТА

ОПТИМИЗИРАНЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА ПРОУЧВАНЕ НА НАДГРОБНИ МОГИЛИ

Асоциацията на българските археолози

СОФИЯ 2013

Bulgarian e-Journal of Archaeology

SUPPLEMENTUM 2

NIKOLA TONKOV

GEOPHYSICAL METHODS IN ARCHAEOLOGY

OPTIMIZATION OF TECHNIQUE FOR PROSPECTION OF BURIAL MOUNDS

Association of Bulgarian Archaeologists

SOFIA 2013

СЪДЪРЖАНИЕ

Списък на приложенията (Български) x

List of Illustrations (English) xxi

Въведение 1

I. Поява и развитие на археологическата геофизика 5
I. 1. В Европа и света, като цяло 5
I. 2. Състояние на проучванията в България 9

II. Приложение на геофизичните методи в археологията 15
II.1. Основни геофизични методи и възможностите им за приложение в археологията 16
II. 2. Методика на геомагнитните и електросъпротивителни проучвания на археологически обекти 38

III. Геофизични проучвания на селищни обекти 51
III. 1. Геофизично проучване на археологическия обект в м. Халка бунар при с. Горно Белево 51
III. 2. Обект 5, *Л*ОТ 2, АМ „Тракия" при с. Сърнево 57
III. 3. Раннонеолитно селище на АМ „Марица" при с. Ябълково 60
III. 4. Римски викус при с. Горско Абланово 62
III. 5. Обект 15, *Л*ОТ 3, АМ „Тракия" при с. Скобелево 63
III. 6. Изворът на нимфите и Афродита при с. Каснаково 64
III. 7. Античен обект в м. Киразлк при с. Баница, Струмишко, БЮР Македония 67
III. 8. Обобщение на резултатите 69

IV. Оптимизиране на методиката за проучване на надгробни могили 75
IV.1. Състояние на геофизичните проучвания на могили 75
IV.2. Описание на могилите от формална и археологическа гледна точка. Съоръжения откривани в могилите 85
IV.3. Оптимизиране на методиката за електросъпротивително и геомагнитно проучване на тракийски надгробни могили 89
IV.3.1. Електросъпротивителни проучвания 90
IV.3.2. Геомагнитни проучвания 102

V. Геофизични проучвания на тракийски надгробни могили 113
V. 1. Могили от района гр. Шипка 113
V. 2. Могили при с. Бр. Даскалови 118
V. 3. Могили при с. Кабиле 124
V. 4. Могилен некропол при с. Крушаре 126
V. 5. Могила при гр. Опака 130
V. 6. Могилен некропол при с. Ветрище 132
V. 7. Могила VI от некропола при с. Горско Абланово 134
V. 8. Обобщение на резултатите 135

Заключение 141

Библиография 147

Приложения 159–344

GEOPHYSICAL METHODS IN ARCHAEOLOGY
OPTIMIZATION OF TECHNIQUE FOR PROSPECTION OF BURIAL MOUNDS

Summary 345

АВТОРЕФЕРАТ на дисертационния труд може да се намери на страницата на Исторически факултет на СУ „Св. Кл.Охридски

CONTENTS

List of Illustrations (Bulgarian) x

List of Illustrations (English) xxi

Preface 1

I. Appearance and progress of archaeological geophysics 5
I. 1. Europe and the world, as a whole 5
I. 2. State of research in Bulgaria 9

II. Application of geophysical methods in archaeology 15
II. 1. Principal geophysical methods and their possibilities for application in archaeology 16
II. 2. Technique of geomagnetic and electroresistivity surveys of archaeological sites 38

III. Geophysical survey of settlement sites 51
III. 1. Geophysical survey of the archaeological site in Halka bunar locality at the village of Gorno Belevo 51
III. 2. Site 5, at the village of Sarnevo, motorway "Trakia" 57
III. 3. Early Neolithic settlement at the village of Yabalkovo 60
III. 4. Roman vicus at the village of Gorsko Ablanovo 62
III. 5. Site 15 at the village of Skobelevo, motorway "Trakia" 63
III. 6. The spring of Nymphs and Aphrodite at Kasnakovo 64
III. 7. Ancient site in Kirazlk locality at the village of Banica, Strumica municipality, FYR of Macedonia 67
III. 8. Summary of the results 69

IV. Optimization of technique for prospection of burial mounds 75
IV. 1. State of the geophysical surveys of burial mounds 75
IV. 2. Description of the Thracian mounds from formal and archaeological point of view. Structures occurring in the mounds 85
IV. 3. Optimization of technique for electroresistivity and geomagnetic prospection of Thracian burial mounds 89
IV. 3.1. Electroresistivity surveys 90
IV. 3.2. Geomagnetic surveys 102

V. Geophysical survey of Thracian burial mounds 113
V. 1. Mounds from the region of the town of Shipka 113
V. 2. Mounds at the village of Bratia Daskalovi 118
V. 3. Mounds at the village of Kabile 124
V. 4. Tumulus necropolis at the village of Krushare 126
V. 5. Mound at the town of Opaka 130
V. 6. Tumulus necropolis at the village of Vetrishte 132
V. 7. Tumulus VI at the village of Gorsko Ablanovo 134
V. 8. Summary of the results 135

Conclusions 141

References 147

Appendix 159–344

GEOPHYSICAL METHODS IN ARCHAEOLOGY
OPTIMIZATION OF TECHNIQUE FOR PROSPECTION OF BURIAL MOUNDS

Summary 345

СПИСЪК НА ПРИЛОЖЕНИЯТА

СПИСЪК НА ПРИЛОЖЕНИЯТА КЪМ ГЛАВА III

III.0. Карта на разположението на коментираните в текста археологически обекти. стр. 159

III.1.1а. Карта на района на обекта при Халка бунар. стр. 160

III.1.1б. Халка бунар. Аерофотоснимка на района на обекта от 1952 г. стр. 160

III.1.2а. Халка бунар. Аерофотоснимка на района на обекта от 1952 г. стр. 161

III.1.2б. Халка бунар. Аерофотоснимка на района на обекта от 1995 г. стр. 161

III.1.3а. Халка бунар. Спътникова снимка на обекта при Халка бунар с нанесена план квадратната мрежа и първия заложен сондаж (сондаж 1). стр. 162

III.1.3б. Халка бунар. Резултати от двумерното електросъпротивително инверсионно моделиране по профили 50/20 и 50/7. стр. 162

III.1.4а. Халка бунар. Карта на привидното електрическо съпротивление измерено с диполна схема. стр. 163

III.1.4б. Халка бунар. Карта на привидното електрическо съпротивление измерено със схема Венер-Шлюмберже. стр. 163

III.1.4в. Халка бунар. Криви на измереното привидно електрическо съпротивление над пепелната яма с координати 57/30. стр. 163

III.1.5а. Халка бунар. Карта на първата хоризонтална производна на привидното електрическо съпротивление измерено с диполна схема. стр. 164

III.1.5б. Халка бунар. Криви на привидно съпротивление над пещ за керамика. стр. 164

III.1.5в. Халка бунар. Разкритата пещ за керамика. стр. 164

III.1.6а. Халка бунар. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле. стр. 165

III.1.6б. Халка бунар. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле и електрическото съпротивление в секторите измерени с двуелектродна схема. стр. 165

III.1.7а. Халка бунар. Разкритата сграда в сектор I. стр. 166

III.1.7б. Халка бунар. Разкрития на коренни скали. стр. 166

III.1.7в. Халка бунар. Яма с депонирани съдове. стр. 166

III.1.8. Халка бунар. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле с нанесени местата на проучваните с разкопки сектори. стр. 167

III.1.9. Халка бунар. Интерпретация на резултатите от геомагнитното проучване. стр. 168

III.1.10. Халка бунар. Интерпретация на резултатите от геомагнитното проучване. стр. 169

III.1.11а. Халка бунар. Крива на магнитното поле над вероятна пещ за керамика в кв. 60/40. стр. 170

III.1.11б. Халка бунар. Крива на магнитното поле над вероятна пещ за керамика в кв. 40/140. стр. 170

III.1.12а. Халка бунар. Сравнение между регистрираните магнитни аномалии и резултатите от археологическите разкопки в сектор I. стр. 171

III.1.12б. Халка бунар. Сравнение между регистрираните магнитни аномалии и резултатите от археологическите разкопки в сектор IV. стр. 171

III.1.13а. Халка бунар. Сравнение между регистрираните магнитни аномалии и резултатите от археологическите разкопки в сектори VI и VII. стр. 172

III.1.13б. Халка бунар. Сравнение между регистрираните магнитни аномалии и резултатите от археологическите разкопки в сектор IX. стр. 172

III.1.14. Халка бунар. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над елинистическата сграда в сектор I. стр. 173

III.1.15. Халка бунар. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над неолитна сграда в сектор IV. стр. 174

III.1.16. Халка бунар. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над неолитна сграда в сектор VI. стр. 175

III.1.17. Халка бунар. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над елинистическата сграда в сектор VII. стр. 176

III.1.18. Халка бунар. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над елинистическата сграда в сектор IX. стр. 177

III.1.19. Халка бунар. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над елинистически пещи за керамика. стр. 178

III.1.20. Халка бунар. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над късножелезни ями. стр. 179

III.2.1а. Сърнево. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле от измерванията в рамките на сервитута на магистралата (сектор 1). стр. 180

III.2.1б. Сърнево. Сравнение между магнитните аномалии и разкритите археологически структури. стр. 180

III.2.2. Сърнево. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над някои от разкритите археологически структури. стр. 181

III.2.3. Сърнево. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над някои от разкритите археологически структури. стр. 182

III.2.4. Сърнево. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над някои от разкритите археологически структури. стр. 183

III.2.5а. Сърнево. Спътникова снимка на района на обекта при с. Сърнево с покритите с геомагнитни измервания площи. стр. 184

III.2.5б. Сърнево. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле. Сектор Север. стр. 184

III.2.6а. Сърнево. Разкритият римски ров в сектор 1 и предполагаемото му продължение в сектор Север. стр. 185

III.2.6б. Сърнево. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле. Сектор Юг. стр. 185

III.2.7. Сърнево. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над рововете в сектор Юг. стр. 186

III.2.8а. Сърнево. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле. Сектор 3. стр. 187

III.2.8б. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над неолитното (?) селище в сектор 3. стр. 187

III.3.1а. Ябълково. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле в рамките на сервитута. стр. 188

III.3.1б. Ябълково. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле на неолитните ровове. стр. 188

III.3.2а. Ябълково. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле. стр. 189

III.3.2б. Ябълково. Двумерен инверсионен модел на електрическото съпротивление по профил ВЕС 1. стр. 189

III.3.2в. Ябълково. Опит за възстановка на рововете въз основа на геомагнитното проучване. стр. 189

III.3.3. Ябълково. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле по профили 10, 15 и 20, -61 и -80. стр. 190

III.3.4. Рововете разкрити на обекта при с. Ябълково. стр. 191

III.4.1а. Горско Абланово. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле. стр. 192

III.4.1б. .Горско Абланово. Сградния комплекс, според данните от геомагнитното проучване. стр. 192

III.4.2а. .Горско Абланово. Крива на вертикалния градиент на магнитното поле над основи на стени от варовик. стр. 193

III.4.2б. Горско Абланово. Крива на вертикалния градиент на магнитното поле над пещ за строителна керамика. стр. 193

III.4.3а. Горско Абланово. Разкритите при археологическите разкопки основи на стени. стр. 194

III.4.3б. Горско Абланово. Пещта за строителна керамика. стр. 194

III.5.1а. Скобелево. Спътникова снимка на обекта с нанесена мрежата на измерване на двата участъка в рамките на сервитута. стр. 195

III.5.1б. Скобелево. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле в рамките на сервитута, западен участък. стр. 195

III.5.2. Скобелево. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над сградния комплекс в западния участък. стр. 196

III.5.3а. Скобелево. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле в рамките на сервитута, източен участък. стр. 197

III.5.3б. Скобелево. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над постройка в западния участък. стр. 197

III.5.3в. Скобелево. Постройката разкрита в източния участък. стр. 197

III.5.4. Скобелево. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле, западен участък. стр. 198

III.5.5. Скобелево. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле, източен участък. стр. 199

III.5.6. Скобелево. Резултатите от геомагнитното проучване наложени върху спътникова снимка на района. стр. 200

III.6.1а. Каснаково. Карта на привидното електрическо съпротивление измерено с двуелектродна схема. стр. 201

III.6.1б. Каснаково. Двумерни инверсионни модели на електрическото съпротивление. стр. 201

III.6.2а. Каснаково. План на архитектурния комплекс изработен с помощта на данните от електросъпротивителното проучване. стр. 202

III.6.2б. Каснаково. Общ план на архитектурния комплекс. стр. 202

III.6.3а. Каснаково. Карта на привидното електрическо съпротивление измерено с двуелектродна схема. стр. 203

III.6.3б. Каснаково. Двумерни инверсионни модели на електрическото съпротивление. стр. 203

III.7.1а. Баница. Топографска карта на района около гр. Струмица. стр. 204

III.7.1б. Баница. Разкритите останки от римската епоха. стр. 204

III.7.2а. Баница. Спътникова снимка на района на обекта при с. Баница. стр. 205

III.7.2б. Баница. План на проучената площ и карта на привидното електрическо съпротивление измерено с двуелектродна схема. стр. 205

III.7.3. Баница. Двумерни инверсионни модели на електрическото съпротивление по профили 0-5. стр. 206

III.7.4. Баница. Двумерни инверсионни модели на електрическото съпротивление по профили 6-11. стр. 207

III.7.5. Двумерни инверсионни модели на електрическото съпротивление по профили 12-15. стр. 208

III.7.6. Баница. Двумерни инверсионни модели на електрическото съпротивление по профили по пк. 3-20. стр. 209

III.7.7а. Баница. Хоризонтални разрези от тримерния инверсионния модел на електрическото съпротивление. стр. 210

III.7.7б. Баница. Стойности на съпротивлението от инверсионния модел за дълбочина 1.08-1.74 м. стр. 210

III.7.8а. Баница. Стойности на съпротивлението от инверсионния модел за дълбочина 1.74-2.5 м. стр. 211

III.7.8б. Баница. Стойности на съпротивлението от инверсионния модел за дълбочина 2.5-3.37 м. стр. 211

III.7.9а. Баница. Хоризонтални разрези на съпротивлението за дълбочини от 0.5 до 2 м. стр. 212

III.7.9б. Баница. Хоризонтални разрези на съпротивлението за дълбочини от 2.5 до 4 м. стр. 212

III.7.10а. Баница. Хоризонтален разрез на съпротивлението за дълбочини от 4.5 м. стр. 213

III.7.10б. Баница. Хоризонтален разрез на съпротивлението за дълбочина 3 м и вертикални разрези през регистрираните аномалии. стр. 213

СПИСЪК НА ПРИЛОЖЕНИЯТА КЪМ ГЛАВА IV

IV.3.1.1.1. Модел на високосъпротивителен блок. стр. 214

IV.3.1.1.2. Резултати от моделните изчисления за високосъпротивителен блок за различните електродни схеми. стр. 215

IV.3.1.1.3. Инверсионни модели въз основа на моделните изчисления за високосъпротивителен блок. стр. 216

IV.3.1.1.4. Резултати от инверсионното моделиране на моделните изчисления за високосъпротивителен блок при внесена грешка. стр. 217

IV.3.1.1.5. Модел на гробница с размери 5x3x3 разположена на различна дълбочина от повърхността. стр. 218

IV.3.1.1.6. Резултати от моделните изчисления за модел на гробница. стр. 219

IV.3.1.1.7. Резултати от инверсионното моделиране на моделните изчисления за гробница разположена на 1 м от повърхността. стр. 220

IV.3.1.1.8. Резултати от инверсионното моделиране на моделните изчисления за гробница разположена на 2 м от повърхността. стр. 221

IV.3.1.1.9. Резултати от инверсионното моделиране на моделните изчисления за гробница разположена на 3 м от повърхността. стр. 222

IV.3.1.1.10. Модел на реална гробница (по данни от гробницата в могилата Голяма Арсеналка при Шипка). стр. 223

IV.3.1.1.11. Резултати от моделните изчисления при надлъжни профили. стр. 224

IV.3.1.1.12. Резултати от моделните изчисления при напречни профили. стр. 225

IV.3.1.1.13. Резултати от инверсионното моделиране по профил през средата на гробницата. стр. 226

IV.3.1.1.14. Модел на зидан гроб. стр. 227

IV.3.1.1.15. Резултати от моделните изчисления за зидан гроб при надлъжни профили. стр. 228

IV.3.1.1.16. Резултати от моделните изчисления за зидан гроб при напречни профили. стр. 229

IV.3.1.1.17. Резултати от двумерното инверсионно моделиране по профил през средата на гроба. стр. 230

IV.3.1.1.18. Резултати от тримерното инверсионно моделиране за модел на гроб. стр. 231

СПИСЪК НА ПРИЛОЖЕНИЯТА КЪМ ГЛАВА V

V.0. Карта на разположението на коментираните в текста могили. стр. 232

V.1.1.1. Малката могила при Шипка. стр. 233

V.1.1.2. Малката могила. Карти на измереното привидно съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б). Радиални профили. стр. 234

V.1.1.3. Малката могила. Тримерно изображение на измереното привидно съпротивление при n=3. Радиални профили. стр. 235

V.1.1.4. Малката могила. Карти на измереното привидно съпротивление при n=1 (а) и n=2 (б). Кръгови профили. стр. 236

V.1.1.5. Малката могила. Криви на измереното привидно електрическо съпротивление по детайлизационните профили запад-изток (а) и юг-север (б) през средата на аномалията. стр. 237

V.1.1.6. Гробът и част от находките от Малката могила. стр. 238

V.1.2.1. Зарева могила. Карта и тримерни изображения на привидното електрическо съпротивление n=1 (а), n=2 (б) и n=3 (в). стр. 239

V.1.2.2. Гробът от Зарева могила. стр. 240

V.1.3.1. Могилата Голяма Арсеналка при Шипка. стр. 241

V.1.3.2. Могилата Голяма Арсеналка. Карти на привидното съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б) с нанесена детайлизационната мрежа. стр. 242

V.1.3.3. Могилата Голяма Арсеналка. Карта на привидното съпротивление при n=5. стр. 243

V.1.3.4. Могилата Голяма Арсеналка. Криви на съпротивлението по профили -6 и -5 от детайлизационната мрежа. стр. 244

V.1.3.5. Могилата Голяма Арсеналка. Криви на съпротивлението по профили -4 и -3 от детайлизационната мрежа. стр. 245

V.1.3.6. Могилата Голяма Арсеналка. Криви на съпротивлението по профили -2 и -1 от детайлизационната мрежа. стр. 246

V.1.3.7. Могилата Голяма Арсеналка. Криви на съпротивлението по профили 0 и 1 от детайлизационната мрежа. стр. 247

V.1.3.8. Могилата Голяма Арсеналка. Криви на съпротивлението по профили 2 и 3 от детайлизационната мрежа. стр. 248

V.1.3.9. Могилата Голяма Арсеналка. Криви на съпротивлението по напречни профили 16 и 14 от детайлизационната мрежа.V.1.3.10. Могилата Голяма Арсеналка. Криви на съпротивлението по напречни профили 13 и 12 от детайлизационната мрежа. стр. 249

V.1.3.10. Могилата Голяма Арсеналка. Криви на съпротивлението по напречни профили 13 и 12 от детайлизационната мрежа. стр. 250

V.1.3.11. Могилата Голяма Арсеналка. Криви на съпротивлението по напречни профили 11 и 9 от детайлизационната мрежа. стр. 251

V.1.3.12. Гробницата в могилата Голяма Арсеналка. стр. 252

V.1.4.1. Атьова могила при Шипка. Тримерно изображение на измереното съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б). стр. 253

V.1.4.2. Крепидата в Атьова могила. стр. 254

V.1.5.1. Могилата Светица при Шипка. стр. 255

V.1.5.2. Могилата Светица. Карти на привидното съпротивление при n=1 (а), n=3 (б) и n=5 (в). стр. 256

V.1.5.3. Могилата Светица. Криви на измереното съпротивление по профил 200g, редови измервания (а) и НВЕС (б). стр. 257

V.1.5.4. Могилата Светица. Двумерен инверсионен модел на електрическото съпротивление по профил 200g. стр. 258

V.1.5.5. Гробът и златната маска от могилата Светица. стр. 259

V.2.1.1. Момина могила при с. Братя Даскалови. стр. 260

V.2.1.2. Момина могила. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б). стр. 261

V.2.1.3. Момина могила. Карта на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5. стр. 262

V.2.1.4. Момина могила. Двумерен инверсионен модел на съпротивлението по профил 208-8g. стр. 263

V.2.1.5. Момина могила. Двумерни инверсионни модели по профили 200+1, 200 и 192g. стр. 264

V.2.1.6. Момина могила. Двумерни инверсионни модели по напречни профили през метри 15, 14 и 11. стр. 265

V.2.1.7. Момина могила. Двумерни инверсионни модели по профили 264-64g и 248-48g. стр. 266

V.2.1.8. Гробницата в Момина могила. стр. 267

V.2.2.1. Читашката могила при с. Братя Даскалови. стр. 268

V.2.2.2. Читашката могила. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б). стр. 269

V.2.2.3. Читашката могила. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5. стр. 270

V.2.2.4. Читашката могила. Инверсионни модели на съпротивлението по профили 290-90g и 250-50g. стр. 271

V.2.2.5. Читашката могила. Инверсионен модел по профил 200g. стр. 272

V.2.2.6. Читашката могила. Инверсионни модели по напречни профили З-И през метри 10, 8 и 6. стр. 273

V.2.2.7. Графична документация на резултатите от разкопките на Читашката могила. стр. 274

V.2.3.1. Каракочова могила при с. Братя Даскалови. стр. 275

V.2.3.2. Каракочова могила. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление n=1 (а), n=3 (б) и n=5 (в). стр. 276

V.2.3.3. Каракочова могила. Инверсионни модели на съпротивлението по профили 15 и 12. стр. 277

V.2.3.4. Кладата и могилката над нея в Каракочова могила. стр. 278

V.2.4.1. Могила 1 при с. Гранит (а) и каменното струпване достигнато от иманярите (б). стр. 279

V.2.4.2. Могила 1 при с. Гранит. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление n=1 (а), n=3 (б). стр. 280

V.2.4.3. Могила 1 при с. Гранит. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление n=5 (а) и вертикалния магнитен градиент (б). стр. 281

V.2.4.4. Могила 1 при с. Гранит. Инверсионни модели на съпротивлението по профили 160-360g и 200-0g. стр. 282

V.2.4.5. Могила 1 при с. Гранит. Инверсионни модели на съпротивлението по профили 300-100g, 275-75g и 250-50g. стр. 283

V.2.4.6. Могила 1 при с. Гранит. Криви на вертикалния градиент на магнитното по профили 0 (а) и -5 (б). стр. 284

V.2.5.1. Могила 2 при с. Гранит. стр. 285

V.2.5.2. Могила 2 при с. Гранит. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление n=1 (а), n=3 (б). стр. 286

V.2.5.3. Могила 2 при с. Гранит. Могила 2 при с. Гранит. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление n=5 (а) и вертикалния магнитен градиент (б). стр. 287

V.2.5.4. Могила 2 при с. Гранит. Инверсионни модели на съпротивлението по профили 320-120g, 300-100g, 270-70g и 200-0g. стр. 288

V.2.4.6. Могила 2 при с. Гранит. Криви на вертикалния градиент на магнитното по профили 200-0g и 300-100g. стр. 289

V.3.1.1. Могила 1 при с. Кабиле. стр. 290

V.3.1.2. Могила 1 при с. Кабиле. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б). стр. 291

V.3.1.3. Могила 1 при с. Кабиле. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5 (а) и вертикалния магнитен градиент (б). стр. 292

V.3.1.4. Могила 1 при с. Кабиле. Инверсионни модели на съпротивлението по профили 200-0g и 150-350g. стр. 293

V.3.1.5. Могила 1 при с. Кабиле. Криви на измерения магнитен градиент, полиномът от 4-та степен и остатъчното поле по профил 0. стр. 294

V.3.1.6. Могила 1 при с. Кабиле. Криви на измерения магнитен градиент, полиномът от 4-та степен и остатъчното поле по профили -3 и 1. стр. 295

V.3.1.7. Могила 1 при с. Кабиле. Криви на измерения магнитен градиент, полиномът от 4-та степен и остатъчното поле по профил 5 през магнитната аномалия в югоизточната част на могилата. стр. 296

V.3.1.8. Могила 1 при с. Кабиле. План на археологическите структури разкрити при разкопките. стр. 297

V.3.1.9. Могила 1 при с. Кабиле. Карти на резултатите от полиномната регресия по всички данни от измерванията (а) и на остатъчното магнитно поле (б). стр. 298

V.3.2.1. Могила 2 при с. Кабиле. стр. 299

V.3.2.2. Могила 2 при с. Кабиле. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б). стр. 300

V.3.2.3. Могила 2. Карта на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5. стр. 301

V.3.2.4. Могила 2. Инверсионни модели на съпротивлението по профили 340-140g, 280-80g и 200-0g. стр. 302

V.4.1.1. Могила 1 при с. Крушаре и гробът открит в нея. стр. 303

V.4.1.2. Могила 1 при с. Крушаре. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б). стр. 304

V.4.1.3. Могила 1. Карта на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5. стр. 305

V.4.1.4. Могила 1. Инверсионни модели на съпротивлението по профили 200-0g и 152-352g. стр. 306

V.4.2.1. Могила 2 при с. Крушаре. стр. 307

V.4.2.2. Могила 2 при с. Крушаре. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б). стр. 308

V.4.2.3. Могила 2. Карта на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5. стр. 309

V.4.2.4. Могила 2. Инверсионни модели на съпротивлението по профили 188g и 184g през аномалията в южната периферия на могилата (а и в – схема Шлюмберже, б –триелектродна схема). стр. 310

V.4.2.5. Могила 2. Инверсионни модели на съпротивлението по профили 2, 0 и -2 перпендикулярни на пр. 188g. стр. 311

V.4.3.1. Могила 3 при с. Крушаре. стр. 312

V.4.3.2. Могила 3. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б). стр. 313

V.4.3.3. Могила 3. Карта на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5. стр. 314

V.4.3.4. Могила 3. Инверсионни модели на съпротивлението по профили 200-0g, 300-100g и 320-120g. стр. 315

V.5.1.1. Могилата при с. Опака – изглед (а) и план (б) преди разкопките. стр. 316

V.5.1.2. Могилата при с. Опака. Планът на могилата (а) и карта на измереното привидно съпротивление при n=1 (б). стр. 317

V.5.1.3. Могилата при с. Опака. Карти на измереното привидно съпротивление при n=2 (а) и n=3 (б). стр. 318

V.5.1.4. Могилата при с. Опака. Карти на измереното привидно съпротивление при n=4 (а) и n=5 (б). стр. 319

V.5.1.5. Могилата при с. Опака. Карти на измереното привидно съпротивление при n=6 (а) и n=7 (б). стр. 320

V.5.1.6. Могилата при с. Опака. Резултати от двумерното инверсионно моделиране по профили 0-3. стр. 321

V.5.1.7. Могилата при с. Опака. Резултати от двумерното инверсионно моделиране по профили 4-7. стр. 322

V.5.1.8. Могилата при с. Опака. Резултати от двумерното инверсионно моделиране по профили 8-11. стр. 323

V.5.1.9. Могилата при с. Опака. Резултати от двумерното инверсионно моделиране по профили 12-15. стр. 324

V.5.1.10. Могилата при с. Опака. Резултати от двумерното инверсионно моделиране по профили 16-19. стр. 325

V.5.1.11. Могилата при с. Опака. Резултати от двумерното инверсионно моделиране по профили 20-23. стр. 326

V.5.1.12. Могилата при с. Опака. Резултати от двумерното инверсионно моделиране по профили 24-26. стр. 327

V.5.1.13. Могилата при с. Опака. Хоризонтални разрези на съпротивлението за различни дълбочини получени въз основа на тримерното инверсионно моделиране. стр. 328

V.5.1.14. Могилата при с. Опака. Вертикални разрези на съпротивлението получени въз основа на тримерното инверсионно моделиране. стр. 329

V.5.1.15. Могилата при с. Опака. Вертикални разрези на съпротивлението получени въз основа на тримерното инверсионно моделиране. стр. 330

V.5.1.16. Могилата при с. Опака. Тримерни модели на съпротивлението по тример ното инверсионно моделиране. стр. 331

V.5.1.17. Могилата при с. Опака. Тримерни модели на съпротивлението по тримерното инверсионно моделиране. стр. 332

V.5.1.18. Могилата при с. Опака. Разкритата археологическа ситуация в могилата при Опака (а) и гроб №1 с могилката над него (б). стр. 333

V.6.1.1. Могила 1 при с. Ветрище. стр. 334

V.6.1.2. Могила 1 при с. Ветрище. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б). стр. 335

V.6.1.3. Могила 1 при с. Ветрище. Карта на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5. стр. 336

V.6.1.4. Могила 1 при с. Ветрище. Инверсионни модели на съпротивлението по профили 250-50g, 200-0g и 180-380g. стр. 337

V.6.2.1. Могила 2 при с. Ветрище. стр. 338

V.6.1.2. Могила 2 при с. Ветрище. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б). стр. 339

V.6.1.3. Могила 2 при с. Ветрище.. Карта на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5. стр. 340

V.6.1.4. Могила 2 при с. Ветрище.. Инверсионни модели на съпротивлението по профили 100-300g, 80-280g, 40-240g и 30-230g. стр. 341

V.7.1а. Могила VI при с. Горско Абланово. стр. 342

V.7.1б. Гробните съоръжения в могила VI при с. Горско Абланово. стр. 342

V.7.2. Могила VI при с. Горско Абланово. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле. стр. 343

V.7.3. Могила VI при с. Горско Абланово. Криви на стойностите на измерения вертикален градиент на магнитното и полиноми от първа и втора степен на тези стойности по профили 20 и 19. стр. 344

LIST OF ILLUSTRATIONS

Chapter III

III.0. Map of the location of the archaeological sites discussed in the text. p. 159

III.1.1a. Map of the region of the site at Halka bunar. p. 160

III.1.1б. Halka bunar. Aerial photo of the region of the site from 1952. p. 160

III.1.2a. Halka bunar. Aerial photo of the region of the site from 1952. p. 161

III.1.2б. Halka bunar. Aerial photo of the region of the site from 1995. p. 161

III.1.3a. Халка бунар. Satellite image of the site at Halka bunar with the geodetic grid and the first exploration trench (trench 1).. p. 162

III.1.3б. Halka bunar. Results of the two dimensional resistivity inverse modeling along the traverses 50/20 and 50/7. p. 162

III.1.4a. Halka bunar. Map of apparent electrical resistivity measured with dipole-dipole electrode array. p. 163

III.1.4б. Halka bunar. Map of apparent electrical resistivity measured with Wenner-Schlumberger electrode array. p. 163

III.1.4в. Halka bunar. Apparent resistivity curves above a pit with coordinates 57/30. p. 163

III.1.5a. Halka bunar. Map of the first horizontal derivative of the resistivity measured with dipole-dipole array. p. 164

III.1.5б. Halka bunar. Apparent resistivity curves above a pottery kiln.. p. 164

III.1.5в. Halka bunar. The excavated pottery kiln. p. 164

III.1.6a. Halka bunar. Map of the vertical gradient of the earth's magnetic field. p. 165

III.1.6б. Halka bunar. Map of the vertical gradient of the magnetic field and of the resistivity in the sectors measured with twin-probe array. p. 165

III.1.7a. Halka bunar. The excavated dwelling in sector I. p. 166

III.1.7б. Halka bunar. Occurrence of the bedrock. p. 166

III.1.7в. Halka bunar. The pit with depot of pottery. p. 166

III.1.8. Halka bunar. Magnetic map with marked the location of the sectors studied with archaeological excavations. p. 167

III.1.9. Halka bunar. Qualitative interpretation of magnetic data. p. 168

III.1.10. Halka bunar. Qualitative interpretation of magnetic data. p. 169

III.1.11a. Halka bunar. Magnetic field curve above probable pottery kiln in sq. -60/40. p. 170

III.1.11б. Halka bunar. Magnetic field curve above probable pottery kiln in sq. 40/140. p. 170

III.1.12a. Halka bunar. Comparison between the registered magnetic anomalies and the result of the archaeological excavations in sector I. p. 171

III.1.12б. Halka bunar. Comparison between the registered magnetic anomalies and the result of the archaeological excavations in sector IV. p. 171

III.1.13a. Halka bunar. Comparison between the registered magnetic anomalies and the result of the archaeological excavations in sector VI and VII. p. 172

III.1.13б. Halka bunar. Comparison between the registered magnetic anomalies and the result of the archaeological excavations in sector IX. p. 172

III.1.14. Halka bunar. Magnetic gradient curves above a dwelling of the Hellenistic period in sector I. p. 173

III.1.15. Halka bunar. Magnetic gradient curves above a dwelling of the Neolithic Age in sector IV. p. 174

III.1.16. Halka bunar. Magnetic gradient curves above a dwelling of the Neolithic Age in sector VI. p. 175

III.1.17. Halka bunar. Magnetic gradient curves above a dwelling of the Hellenistic period in sector VII. p. 176

III.1.18. Halka bunar. Magnetic gradient curves above a dwelling of the Hellenistic period in sector IX. p. 177

III.1.19. Halka bunar. Curves of the magnetic field above Hellenistic pottery kilns. p. 178

III.1.20. Halka bunar. Curves of the magnetic field above pits of the Late Iron Age. p. 179

III.2.1a. The site at Sarnevo. Map of the vertical gradient of the magnetic field measured within the limits of the motorway (sector 1). p. 180

III.2.1б. Sarnevo. Comparison between the magnetic anomalies and the excavated archaeological features. p. 180

III.2.2. Sarnevo. Curves of the magnetic gradient above some of the excavated archaeological features. p. 181

III.2.3. Sarnevo. Curves of the magnetic gradient above some of the excavated archaeological features. p. 182

III.2.4. Sarnevo. Curves of the magnetic gradient above some of the excavated archaeological features. p. 183

III.2.5a. Sarnevo. Satellite image of the region of the site at Sarnevo with the lands covered by geomagnetic measurements. p. 184

III.2.5б. Sarnevo. Map of the magnetic field. Sector North. p. 184

III.2.6a. Sarnevo. The excavated ditch of the Roman period in sector 1 and its presumable extension in sector North. p. 185

III.2.6б. Sarnevo. Map of the magnetic field. Sector South. p. 185

III.2.7. Sarnevo. Magnetic curves above the supposed ditches in sector South. p. 186

III.2.8a. Sarnevo. Map of the magnetic field. Sector 3. p. 187

III.2.8б. Sarnevo. Magnetic curves along traverses above the Neolithic (?) settlement discovered in sector 3. p. 187

III.3.1a. Yabalkovo. Map of the vertical gradient of the magnetic field measured within the limits of the motorway. p. 188

III.3.1б. Yabalkovo. Magnetic field vertical gradient curves along traverses above the Neolithic ditches. p. 188

III.3.2a. Yabalkovo. Map of the magnetic field. p. 189

III.3.2б. Yabalkovo. Two dimensional inverse models of electrical resistivity along the traverse VES 1. p. 189

III.3.2в. Yabalkovo. Attempt to reconstruct the ditches based of the results of the geomagnetic survey. p. 189

III.3.3. Yabalkovo. Magnetic field vertical gradient curves along traverses 10, 15 and 20, -61 and -80. p. 190

III.3.4. Yabalkovo. The ditches revealed by the archaeological excavations. p. 191

III.4.1a. Gorsko Ablanovo. Map of the measured magnetic field. p. 192

III.4.1б. . Gorsko Ablanovo. The building complex according the results of the magnetic survey. p. 192

III.4.2a. Gorsko Ablanovo. Magnetic field curve above wall foundations of limestone. p. 193

III.4.2б. Gorsko Ablanovo. Magnetic field curve above a kiln for building ceramics. p. 193

III.4.3a. Gorsko Ablanovo. Wall foundations revealed by the excavations. p. 194

III.4.3б. Gorsko Ablanovo. The kiln for building ceramics. p. 194

III.5.1a. Skobelevo. Satellite image of the site with marked the surveying grid of the two sections within the limits of the motorway. p. 195

III.5.1б. Skobelevo. Magnetic map of the terrain within the limits of the motorway, Western section. p. 195

III.5.2. Skobelevo. Curves of the vertical gradient of the magnetic field along traverses above the building complex in the western section. p. 196

III.5.3a. Skobelevo. Magnetic map of the terrain within the limits of the motorway, Eastern section. p. 197

III.5.3б. Skobelevo. Curves of the vertical gradient of the magnetic field along traverses above a building in the eastern section. p. 197

III.5.3в. Skobelevo. The building excavated in the eastern section. p. 197

III.5.4. Skobelevo. Magnetic gradient map, western section. p. 198

III.5.5. Skobelevo. Magnetic gradient map, eastern section. p. 199

III.5.6. Skobelevo. The results of the geomagnetic survey superimposed on the satellite image of the area. p. 200

III.6.1a. Kasnakovo. Map of the apparent electrical resistivity measured with twin-probe array. p. 201

III.6.1б. Kasnakovo. Two dimensional inverse models of electrical resistivity. p. 201

III.6.2a. Kasnakovo. Plan of the architectural complex designed on the base of the resistivity survey. p. 202

III.6.2б. Kasnakovo. General plan of the architectural complex. p. 202

III.6.3a. Kasnakovo. Map of the apparent electrical resistivity measured with twin-probe array. p. 203

III.6.3б. Kasnakovo. Two dimensional inverse models of electrical resistivity. p. 203

III.7.1a. Banica. Topographic map of the region around the town of Strumica. p. 204

III.7.1б. Banica. The excavated remains of the Roman period. p. 204

III.7.2a. Banica. Satellite image of the region of the site at Banica. p. 205

III.7.2б. Banica. Plan of the surveyed terrain and map of apparent resistivity measured with twin-probe array. p. 205

III.7.3. Banica. Two dimensional inverse models of electrical resistivity along traverses 0-5. p. 206

III.7.4. Banica. Two dimensional inverse models of electrical resistivity along traverses 6-11. p. 207

III.7.5. Banica. Two dimensional inverse models of electrical resistivity along traverses 12-15. p. 208

III.7.6. Banica. Two dimensional inverse models of electrical resistivity along traverses on points 3-20. p. 209

III.7.7a. Banica. Horizontal slices of the three dimensional inverse modelling of electrical resistivity. p. 210

III.7.7б. Banica. Resistivity values by the inverse model for depths 1.08-1.74 m. p. 210

III.7.8a. Banica. Resistivity values by the inverse model for depths 1.74-2.5 m. p. 211

III.7.8б. Banica. Resistivity values by the inverse model for depths 2.5-3.37 m. p. 211

III.7.9a. Banica. Horizontal slices of resistivity for depths from 0.5 to 2 m. p. 212

III.7.9б. Banica. Horizontal slices of resistivity for depths from 2.5 to 4 m. p. 212

III.7.10a. Banica. Horizontal slices of resistivity for depth of 4.5 m. p. 213

III.7.10б. Banica. Horizontal slices of resistivity for depth of 3 m and vertical sections through the registered anomalies. p. 213

Chapter IV

IV.3.1.1.1. Model of highly resistive block. p. 214

IV.3.1.1.2. Results of the model calculations for highly resistive block for the different electrode arrays. p. 215

IV.3.1.1.3. Inverse models based on the model calculations for highly resistive block. p. 216

IV.3.1.1.4. Results of the inverse modelling of the forward calculations with introduced error. p. 217

IV.3.1.1.5. Model of a tomb with dimensions 5x3x3 m located at different depth from the surface. p. 218

IV.3.1.1.6. Results of the forward calculations for tomb model. p. 219

IV.3.1.1.7. Results of the inverse modelling of the forward calculations for a tomb located 1 m from the surface. p. 220

IV.3.1.1.8. Results of the inverse modelling of the forward calculations for a tomb located 2 m from the surface. p. 221

IV.3.1.1.9. Results of the inverse modelling of the forward calculations for a tomb located 3 m from the surface. p. 222

IV.3.1.1.10. Model of a real tomb (according to the tomb in Golyama Arsenalka mound at the town of Shipka). p. 223

IV.3.1.1.11. Results of the forward calculations in case of longitudinal traverses. p. 224

IV.3.1.1.12. Results of the forward calculations in case of cross traverses. p. 225

IV.3.1.1.13. Results of inverse modelling along a traverse through the middle of the tomb. p. 226

IV.3.1.1.14. Model of a built grave. p. 227

IV.3.1.1.15. Forward calculations for a built grave in case of longitudinal traverses. p. 228

IV.3.1.1.16. Forward calculations for a built grave in case of cross traverses. p. 229

IV.3.1.1.17. Results of the two dimensional inverse modelling along a traverse through the centre of the grave. p. 230

IV.3.1.1.18. Results of the three dimensional inverse modelling for a model of a grave. p. 231

Chapter V

V.0. Map of the location of the mounds discussed in the text. p. 232

V.1.1.1. Malkata tumulus at the town of Shipka. p. 233

V.1.1.2. Malkata tumulus. Apparent electrical resistivity maps at n=1 (a) and n=3 (б). Radial traverses. p. 234

V.1.1.3. Malkata tumulus. 3D representation of the measured resistivity at n=3. Radial traverses. p. 235

V.1.1.4. Malkata tumulus. Apparent electrical resistivity maps at n=1 (a) and n=2 (б). Circular traverses. p. 236

V.1.1.5. Malkata tumulus. Curves of the measured apparent electrical resistivity along detailization traverses west-east (a) and south-north (б) through the centre of anomaly. p. 237

V.1.1.6. The grave and part of the finds from Malkata mound. p. 238

V.1.2.1. Zareva mound. Карта Apparent electrical resistivity maps at n=1 (а), n=2 (б) and n=3 (в). p. 239

V.1.2.2. The grave from Zareva mound. p. 240

V.1.3.1. Golyama Arsenalka mound at Shipka. p. 241

V.1.3.2. Golyama Arsenalka mound. Apparent electrical resistivity maps at n=1 (a) and n=3 (б) and the location of the detaization grid. p. 242

V.1.3.3. Golyama Arsenalka mound. Apparent electrical resistivity map at n=5. p. 243

V.1.3.4. Golyama Arsenalka mound. Resistivity curves along traverses -6 and -5 of the detailization grid. p. 244

V.1.3.5. Golyama Arsenalka mound. Resistivity curves along traverses -4 and -3 of the detailization grid. p. 245

V.1.3.6. Golyama Arsenalka mound. Resistivity curves along traverses -2 and -1 of the detailization grid. p. 246

V.1.3.7. Golyama Arsenalka mound. Resistivity curves along traverses 0 and 1 of the detailization grid. p. 247

V.1.3.8. Golyama Arsenalka mound. Resistivity curves along traverses 2 and 3 of the detailization grid. p. 248

V.1.3.9. Golyama Arsenalka mound. Resistivity curves along cross traverses 16 and 14 of the detailization grid. p. 249

V.1.3.10. Golyama Arsenalka mound. Resistivity curves along cross traverses 13 and 12 of the detailization grid. p. 250

V.1.3.11. Golyama Arsenalka mound. Resistivity curves along cross traverses 11 and 9 of the detailization grid. p. 251

V.1.3.12. The tomb in Golyama Arsenalka mound. p. 252

V.1.4.1. Atyova mound at Shipka. 3D representation of apparent electrical resistivity at n=1 (a) and n=3 (б). p. 253

V.1.4.2. The krepis in Atyova mound. p. 254

V.1.5.1. Svetitsa mound at Shipka. p. 255

V.1.5.2. Svetitsa mound. Measured apparent electrical resistivity maps at n=1 (a), n=3 (б) and n=5 (в). p. 256

V.1.5.3. Svetitsa mound. Apparent resistivity curves along traverse 200^{g}, regular measurements (a) and CVES (б). p. 257

V.1.5.4. Svetitsa mound. Two dimensional inverse model of electrical resistivity along traverse 200^{g}. p. 258

V.1.5.5. The grave and the gold mask from Svetitsa mound. p. 259

V.2.1.1. Momina mound at the village of Bratia Daskalovi. p. 260

V.2.1.2. Momina mound. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=1 (a) and n=3 (б). p. 261

V.2.1.3. Momina mound. Map of the measured apparent electrical resistivity at n=5. p. 262

V.2.1.4. Momina mound. Two dimensional inverse model of electrical resistivity along traverse 208-8^{g}. p. 263

V.2.1.5. Momina mound. 2D inverse models along traverses 200+1, 200 and 192^{g}. p. 264

V.2.1.6. Momina mound. 2D inverse models along cross traverses at meters 15, 14 and 11. p. 265

V.2.1.7. Momina mound. 2D inverse models along traverses 264-64^{g} and 248-48^{g}. p. 266

V.2.1.8. The tomb in Momina mound. p. 267

V.2.2.1. Chitashkata mound at the village of Bratia Daskalovi. p. 268

V.2.2.2. Chitashkata mound. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=1 (a) and n=3 (б). p. 269

V.2.2.3. Chitashkata mound. Map of the measured apparent electrical resistivity at n=5. p. 270

V.2.2.4. Chitashkata mound. 2D inverse models of resistivity along traverses 290-90^{g} and 250-50^{g}. p. 271

V.2.2.5. Chitashkata mound. Inverse model along traverse 200^{g}. p. 272

V.2.2.6. Chitashkata mound. 2D Inverse models along cross traverses W-E at meters 10, 8 and 6. p. 273

V.2.2.7. Graphic documentation of the excavations' results of Chitashkata mound. p. 274

V.2.3.1. Karakochova mound at the village of Bratia Daskalovi. p. 275

V.2.3.2. Karakochova mound. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=1 (a), n=3 (б) and n=5 (в). p. 276

V.2.3.3. Karakochova mound. 2D inverse models of resistivity along traverses 15 and 12. p. 277

V.2.3.4. Karakochova mound. The primary mound and the pyre beneath it. p. 278

V.2.4.1. Mound 1 at the village of Granit (a) and the stone heap reached by the grave robbers (б). p. 279

V.2.4.2. Mound 1 at the village of Granit. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=1 (a) and n=3 (б). p. 280

V.2.4.3. Mound 1 at the village of Granit. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=5 (a) and of the vertical magnetic gradient (б). p. 281

V.2.4.4. Mound 1 at the village of Granit. Inverse models of resistivity along traverses 160-360^g and 200-0^g. p. 282

V.2.4.5. Mound 1 at the village of Granit. Inverse models of resistivity along traverses 300-100^g, 275-75^g and 250-50^g. p. 283

V.2.4.6. Mound 1 at the village of Granit. Curves of the magnetic field vertical gradient along traverses 0 (a) and -5 (б). p. 284

V.2.5.1. Mound 2 at the village of Granit. p. 285

V.2.5.2. Mound 2 at the village of Granit. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=1 (a) and n=3 (б). p. 286

V.2.5.3. Mound 2 at the village of Granit. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=5 (a) and of the vertical magnetic gradient (б). p. 287

V.2.5.4. Mound 2 at the village of Granit. Inverse models of resistivity along traverses 320-120^g, 300-100^g, 270-70^g and 200-0^g. p. 288

V.2.4.6. Mound 2 at the village of Granit. Curves of the magnetic field vertical gradient along traverses 200-0^g and 300-100^g. p. 289

V.3.1.1. Mound 1 at the village of Kabile. p. 290

V.3.1.2. Mound 1 at the village of Kabile. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=1 (a) and n=3 (б). p. 291

V.3.1.3. Mound 1 at the village of Kabile. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=5 (a) and of the vertical magnetic gradient (б). p. 292

V.3.1.4. Mound 1 at the village of Kabile. Inverse models of resistivity along traverses 200-0^{g} and 150-350^{g}. p. 293

V.3.1.5. Mound 1 at the village of Kabile. Curves of the measured magnetic gradient, polynomial of 4-th degree and residual field along traverse 0. p. 294

V.3.1.6. Mound 1 at the village of Kabile. Curves of the measured magnetic gradient, polynomial of 4-th degree and residual field along traverse -3 and 1. p. 295

V.3.1.7. Mound 1 at the village of Kabile. Curves of the measured magnetic gradient, polynomial of 4-th degree and residual field along traverse 5 through the magnetic anomaly in the southeast part of the tumulus. p. 296

V.3.1.8. Mound 1 at the village of Kabile. Plan of the archaeological structures revealed by the excavations. p. 297

V.3.1.9. Mound 1 at the village of Kabile. Maps of the results of the polynomial fit of the whole measured magnetic data available (a) and of the residual magnetic field (б). p. 298

V.3.2.1. Mound 2 at the village of Kabile. p. 299

V.3.2.2. Mound 2 at the village of Kabile. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=1 (a) and n=3 (б). p. 300

V.3.2.3. Mound 2 at the village of Kabile. Map of the measured apparent electrical resistivity at n=5. p. 301

V.3.2.4. Mound 2 at the village of Kabile. Inverse models of resistivity along traverses 340-140^{g}, 280-80^{g} and 200-0^{g}. p. 302

V.4.1.1. Mound 1 at the village of Krushare and the grave discovered in it. p. 303

V.4.1.2. Mound 1 at the village of Krushare. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=1 (a) and n=3 (б). p. 304

V.4.1.3. Mound 1 at the village of Krushare. Map of the measured apparent electrical resistivity at n=5. p. 305

V.4.1.4. Mound 1 at the village of Krushare. Inverse models of resistivity along traverses 200-0^{g} and 152-352^{g}. p. 306

V.4.2.1. Mound 2 at the village of Krushare. p. 307

V.4.2.2. Mound 2 at the village of Krushare. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=1 (a) and n=3 (б). p. 308

V.4.2.3. Mound 2 at the village of Krushare. Map of the measured apparent electrical resistivity at n=5. p. 309

V.4.2.4. Mound 2 at the village of Krushare. Inverse models of resistivity along traverses 188^{g} and 184^{g} through the anomaly in the south periphery of the mound (а and в – Schlumberger array, б – three electrode array). p. 310

V.4.2.5. Mound 2 at the village of Krushare. Inverse models of resistivity along traverses 2, 0 and -2 perpendicular to traverse 188^g. p. 311

V.4.3.1. Mound 3 at the village of Krushare. p. 312

V.4.3.2. Mound 3 at the village of Krushare. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=1 (a) and n=3 (б). p. 313

V.4.3.3. Mound 3 at the village of Krushare. Map of the measured apparent electrical resistivity at n=5. p. 314

V.4.3.4. Mound 3 at the village of Krushare. Inverse models of resistivity along traverses 200-0^g, 300-100^g and 320-120^g. p. 315

V.5.1.1. Mound at the village of Opaka – view (a) and plan (б) before the excavations. p. 316

V.5.1.2. Mound at the village of Opaka. Plan of the mound (a) and map of the measured apparent electrical resistivity at n=1 (б). p. 317

V.5.1.3. Mound at the village of Opaka. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=2 (a) and n=3 (б). p. 318

V.5.1.4. Mound at the village of Opaka. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=4 (a) and n=5 (б). p. 319

V.5.1.5. Mound at the village of Opaka. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=6 (a) and n=7 (б). p. 320

V.5.1.6. Mound at the village of Opaka. Results of the two dimensional inverse modelling along traverses 0-3. p. 321

V.5.1.7. Mound at the village of Opaka. Results of the two dimensional inverse modelling along traverses 4-7. p. 322

V.5.1.8. Mound at the village of Opaka. Results of the two dimensional inverse modelling along traverses 8-11. p. 323

V.5.1.9. Mound at the village of Opaka. Results of the two dimensional inverse modelling along traverses 12-15. p. 324

V.5.1.10. Mound at the village of Opaka. Results of the two dimensional inverse modelling along traverses 16-19. p. 325

V.5.1.11. Mound at the village of Opaka. Results of the two dimensional inverse modelling along traverses 20-23. p. 326

V.5.1.12. Mound at the village of Opaka. Results of the two dimensional inverse modelling along traverses 24-26. p. 327

V.5.1.13. Mound at the village of Opaka. Horizontal slices of resistivity for different depths based on the results of the three dimensional inverse modelling. p. 328

V.5.1.14. Mound at the village of Opaka. Vertical sections of resistivity based on the results of the three dimensional inverse modelling. p. 329

V.5.1.15. Mound at the village of Opaka. Vertical sections of resistivity based on the results of the three dimensional inverse modelling. p. 330

V.5.1.16. Mound at the village of Opaka. 3D representation of resistivity based on the results of the three dimensional inverse modelling. p. 331

V.5.1.17. Mound at the village of Opaka. 3D representation of resistivity based on the results of the three dimensional inverse modelling. p. 332

V.5.1.18. Mound at the village of Opaka. The archaeological situation revealed in the mound at Opaka (a) and grave no. 1 with the primary mound above it (б). p. 333

V.6.1.1. Mound 1 at the village of Vetrishte. p. 334

V.4.1.2. Mound 1 at the village of Vetrishte. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=1 (a) and n=3 (б). p. 335

V.4.1.3. Mound 1 at the village of Vetrishte. Map of the measured apparent electrical resistivity at n=5. p. 336

V.4.1.4. Mound 1 at the village of Vetrishte. Inverse models of resistivity along traverses 250-50^{g}, 200-0^{g} and 180-380^{g}. p. 337

V.6.1.1. Mound 2 at the village of Vetrishte. p. 338

V.6.1.2. Mound 2 at the village of Vetrishte. Maps of the measured apparent electrical resistivity at n=1 (a) and n=3 (б). p. 339

V.6.1.3. Mound 2 at the village of Vetrishte. Map of the measured apparent electrical resistivity at n=5. p. 340

V.6.1.4. Mound 2 at the village of Vetrishte. Inverse models of resistivity along traverses 100-300^{g}, 80-280^{g}, 40-240^{g} and 30-230^{g}. p. 341

V.7.1a. Mound VI at the village of Gorsko Ablanovo. p. 342

V.7.1б. Grave constructions in the mound VI at the village of Gorsko Ablanovo. p. 342

V.7.2. Mound VI at the village of Gorsko Ablanovo. Map of the vertical gradient of magnetic field. p. 343

V.7.3. Mound VI at the village of Gorsko Ablanovo. Curves of the measured vertical gradient of magnetic field and polynomial fit of 1-st and 2-nd degree of these values along traverses 20 and19. p. 344

ВЪВЕДЕНИЕ

Бързото развитие на човечеството в резултат на научно-техническия прогрес дава своето отражение в неизбежното нарушаване на околната среда. В същото време, вследствие на естествени процеси, почвеният слой нараства постепенно и голяма част от археологическите останки, все още запазени от плуговете на тежките селскостопански машини, „потъват" все по-дълбоко в земята. Тези явления логично изискват разработването на ефективни методи за документиране и опазване на културно-историческото наследство преди то безвъзвратно да бъде унищожено или загубено, което поставя с нарастваща сила нови предизвикателства пред археологическите изследвания. В това отношение, едно от научните направления, което вече няколко десетилетия се използва в помощ на археологията, е приложната геофизика. Предварителното геофизично проучване бързо и с малко средства може да покрие обширни площи и да даде ценна информация за цели обекти или части от тях. При това, то може успешно да прогнозира характеристиките на погребаните паметници, така че археолозите да планират предварително разкопките си, както финансово, така и методически, с оглед на тяхното най-ефективно провеждане. И докато, по напълно обективни причини, археологическата методика е консервативна, геофизичната методика и техника в последните години бележат неимоверно развитие, свързано с иновациите в областта на електрониката и компютърната техника.

Същността на геофизичните изследвания се състои в регистриране на погребани структури въз основа на направени на земната повърхност измервания на естествени или изкуствено създадени физични полета[1]. Произходът и промените във времето и пространството на естествените земни физични полета са предмет на глобалната геофизика. Приложната геофизика се занимава с изучаване строежа на земята и търсенето на полезни изкопаеми. Повечето геофизични методи използвани днес за археологически цели са разработени първоначално за нуждите на проучвателната и инженерната геология. И докато базовите физически принципи са едни и същи, малката дълбочина, съчетана с относително малките размери на археологическите структури са един тест за законите на физиката до граници, с които "нормалните" геофизици рядко се налага да се съобразяват. Изследването на тези конкретни проблеми е довело до развитието на една под-дисциплина наричана днес "**археологическа геофизика**". Всъщност, като смисъл, терминът съвпада с английското словосъчетание широко възприето в Европа за прилагането на геофизиката в археологията – "archaeological prospection" (археологическа проспекция). В САЩ и Канада обикновено се използва

1 Физичното поле е такава част от пространството, всяка точка от която може да се характеризира със стойността на някаква физична величина (Gribbin 1998, 138). Типични примери в това отношение са гравитационното, магнитното и топлинното поле на земята. Една добре позната и известна на всички илюстрация за изкуствено създадено физично поле са електромагнитните вълни излъчвани от радио и телевизионните предаватели или мобилните телефони.

терминът "remote sensing" (дистанционни методи), включващ, както наземната геофизика, така и въздушната и спътниковата фотография. В същото време в последните години в Европа, а и в света, терминът „дистанционни методи", съвсем логично, започна да се налага само за обозначаване на изследванията извършвани от летателни средства.

От друга страна, археологическата геофизика е част от една обширна научна дисциплина - археометрията. Последната представлява използването на точните науки за целите на археологията и се описва обикновено като дисциплината, занимаваща се с количественото характеризиране на антични предмети и процеси (Artoli 2010, 1). Археометрията има няколко големи дяла: анализ – химични и физични методи за анализ на артефакти и оттук възстановяване на технологията на производство и търсене на източниците на суровини; датиране на артефакти (радиовъглеродно, термолуминисцентно, археомагнитно и т. н.); математически методи на анализ; приложна геофизика. За разлика от първите три вида изследвания, геофизичните са единствените, които предхождат археологическите разкопки, а не се занимават с артефактите, и въобще с информацията, добити при провеждането им. Ето защо, в началото на 90-те години на XX в. археологическата геофизика се отдели като напълно самостоятелна дисциплина. Красноречив знак за това отделяне е провеждането през 1995 г. на Първата международна конференция по археологическа геофизика, последвана през две години от вече още осем, както и започналото да излиза през 1996 г. списание Archaeological Prospection (Aspinal, Gaffney, Conyers 2008).

Широкото навлизане на геофизичните изследвания в археологията се дължи на няколко обективни причини:

Те са абсолютно недеструктивни. За разлика от археологическите разкопки, които много често разрушават безвъзвратно обекта на своето изследване, геофизичното проучване по никакъв начин не нарушава целостта на археологическите паметници.

Не винаги е възможно, а понякога е и нецелесъобразно, един археологически обект да бъде напълно проучен с археологически разкопки. Например в градски паркове и други обществени места, или при спасителни разкопки по инфраструктурни проекти. В тези случаи геофизичните проучвания не само могат, но дори е препоръчително, да обхванат по-големи от предвидените за разкопки участъци.

Геофизичните методи са изключително ефективни. За кратко време и с малко средства могат да бъдат проучени много големи площи.

Резултатите могат да бъдат ползвани в течение на години, като археолозите имат възможността предварително да планират разкопките си.

Коректността на направените геофизични прогнози винаги може да бъде проверена чрез рутинните археологически методи – археологически разкопки (сондажи).

Особено видимо е развитието на археологическата геофизика през последните две-три десетилетия, когато тя се наложи в световен мащаб като неделима част от процеса на полевите археологически изследвания. Общите трудове по темата, обаче, все още са единици, като обикновено отразяват нивото, което е достигнато в Западна Европа. Мястото на археологическата геофизика в българската археология също може да се счита за утвърдено. Докладвани са вече редица примери от проучвания на отделни обекти в България. Сред тях най-многобройни и приносни са проучванията на надгробни могили. В същото време, общите изследвания, дискутиращи приложението на геофизиката и особеностите при проучване на различни видове обекти в

България липсват. Всъщност, има публикувани само две кратки статии, като последната е от преди 28 години (Радков 1966, Янев и др. 1983)[2]. Те обаче, освен че са безкрайно остарели, разглеждат по-скоро теоретичните възможности за използването на някои от геофизичните методи, като отделят място и на проблеми от организационен и технически характер. В същото време натрупаната база данни от проучванията на надгробни могили позволява да се направи едно обобщение върху методиката на тяхното проучване. Още повече, че публикациите за подобни проучвания в световен мащаб са оскъдни, като в обобщителните трудове върху археологическата геофизика могилите отсъстват като потенциален обект на изследване.

Целите поставени пред настоящото изследване са няколко:

1. Да се направи преглед на историята и състоянието на геофизичните изследвания на археологически обекти в България и да се съпостави с тяхното развитие в Европа и света.

2. Да се направи критична оценка за възможностите на различните видове геофизични методи при прилагането им в археологията и с примери да се демонстрират преимуществата на комплекса от геомагнитно и електросъпротивително картиране и двумерна и тримерна електросъпротивителна томография при проучването на различни типове археологически обекти.

3. Да се обоснове ефективна методика за най-пълноценно проучване на едни от най-атрактивните паметници по нашите земи от древността – тракийските надгробни могили и с примери да се демонстрират резултатите от прилагането ѝ.

За постигане на поставените цели беше необходимо да се решат няколко задачи:

1. Да се съберат наличните публикувани примери за геофизични проучвания в България, както и основните такива от водещите в това отношение страни.

2. Да се разгледат теоретичните възможности и примерите от приложението на различните геофизични методи при проучване на археологически обекти.

3. Да се анализират проучванията с основните геофизични методи – геомагнитния и електросъпротивителния на различни обекти от България като резултатите се сравнят с тези от проведените археологически разкопки и, по този начин, да се направи оценка на ефективността им.

4. Да се разгледат и анализират възможно най-голям брой публикувани и непубликувани примери за геофизични проучвания на тракийски надгробни могили от България, както и на такива от проучванията на надгробни могили от други краища на света.

5. Да се направи преглед на тракийските могили от формална гледна точка, както и на видовете гробни и други конструкции, които се срещат под могилните насипи.

6. Чрез моделни изчисления (решаване на правата задача на геофизиката) да се оценят теоретичните възможности и ограничения на основните геофизични методи – електросъпротивителния и геомагнитния при регистрирането на различни гробни

---

2 Статията на Августин Петков „Археометрия – още една археологическа интердисциплинарна наука" (Петков 1994) е прекалено кратка и недобре структурирана, за да може да обхване пълноценно темата, на която е посветена.

съоръжения.

7. Да се предложи комплексна методика за провеждане на проучванията на тракийски могили.

8. Да се анализират проучванията на възможно най-голям брой могили, като резултатите се сравнят с тези от извършените археологически разкопки и по този начин да се направи оценка за ефективността на предложената методика.

Териториалните и времеви рамки на проучваните обекти са оставени отворени. Това се дължи основно на факта, че геофизикът не може лично да избира, къде и кои обекти да изследва, а това се прави въз основа на личната преценка на съответните водещи археолози. От друга страна, през последните години основните обекти предмет на геофизично проучване са във връзка със спасителните разкопки по инфраструктурните проекти. Т. е., те са съсредоточени там, където в момента държавата или частни инвеститори имат намерение да строят, при което вероятността да се засегне обект от ранния неолит, например, или от късната античност е една и съща.

Археологическата геофизика има вече над 60 годишна история. В България тази научна дисциплина е все още в началото на своето развитие, но постиженията в определени области са значими и новаторски. Настоящото изследване привежда българските достижения в унисон със световните практики и предлага една нова оригинална методика в сфера, която не е разработена от световната археологическа геофизика – проучванията на надгробни могили. Това определя актуалността на предлагания дисертационен труд.

I. ПОЯВА И РАЗВИТИЕ НА АРХЕОЛОГИЧЕСКАТА ГЕОФИЗИКА

I. 1. В ЕВРОПА И СВЕТА, КАТО ЦЯЛО

Първото документирано геофизично проучване на археологически обект е извършено на 3 ноември 1938 в Уилямсберг, Вирджиния (САЩ) от канадския геофизик Марк Маламфи. Той прилага една „интересна" модификация на електросъпротивителния метод с цел търсене на останки от свода на предполагаема затрупана църква. В проучения участък Маламфи регистрира една зона с повишени съпротивления, за която предполага, че е предизвикана от търсения свод, но е доста внимателен в изводите си, като отбелязва, че аномалията може да е резултат и от естествени изменения в средата. Последвалите разкопки не откриват никакви останки, които да обяснят регистрираната аномалия. Петдесет години по-късно Бивън, използвайки много по-модерна техника, регистрира на същото място подобна съпротивителна аномалия, която се оказва предизвикана от малък геоложки смутител („джоб", запълнен с фосили на раковини), разположен на дълбочина 4 м (Bevan 2000).

И докато изследванията на Марк Маламфи в Уилямсбърг могат да се считат за първите систематични проучвания, то без съмнение, онези, които оставят своя отпечатък върху приложението на геофизичните методи в археологията, са електросъпротивителните проучвания на Ричард Аткисън на Дорчестър на Темза от 1946 г. С взет на заем от компания за пътно строителство електросъпротивителен уред (Megger Earth Tester) и използвайки електродна схема Венер, той успява да очертае рова около едно неолитно селище (Gaffney, Gather 2003, 16). Всъщност, това е и първият пример за използването на геофизиката за спасителни археологически проучвания, тъй като прекият повод за този експеримент е планираната кариера за добив на инертни материали в района.

Успешният опит на Аткисън изкушава много археолози в Европа да пробват електросъпротивителни проучвания като начин за провеждане на успешни разкопки.

Следващият тласък в развитието на геофизичните проучвания е използването в 1958 г. на един току що конструиран уред, протонният магнитометър, за търсене на керамични пещи в околностите на римския град Durobrivae във връзка с разширението на магистралата А1, отново в Англия (Clark 1990, 16). В резултат на самото проучване Мартин Ейткен регистрира множество аномалии на магнитното поле. За негово учудване само една от аномалиите е предизвикана от пещ за керамика. Голяма част от останалите аномалии се оказват предизвикани от обикновени боклучни ями. Всъщност, аномалиите предизвикани от тези ями намират своето обяснение с един процес на повишаване на магнитните свойства на почвите, описан буквално няколко години преди това от Le Borgne (1955).

Резултатите постигнати с новия магнитометър веднага поставят метода като водещ при изследването на археологически обекти. Бърз и лесен за използване, тъй като не изисква контакт със земната повърхност, магнитометърът регистрира голяма

част от структурите, които са резултат от човешката дейност в древността.

В Италия в това време, също се случват важни събития, които ще окажат своето влияние върху развитието на геофизичните проучвания в археологията. В 1954 г. се основава секцията по археологическа проспекция (Sezione Prospezioni Archologiche) към фондация Леричи на Миланската политехника. В началото инж. Леричи се занимава основно с аерофотографиране и електросъпротивителни изследвания с цел търсене на неограбени етруски гробници от районите на Черветери и Тарквиния, които в това време са обект на засилена иманярска дейност (Lerici 1955; Lerici 1958; Lerici 1961). Леричи и Карабели извършват и изследвания за търсене на такива гробници с прилагане на сеизмичния метод (Франтов, Пинкевич 1966). В последствие, под ръководството на Ричард Линигтън, фондация Леричи се превръща във водещ център на археологическата геофизика, занимаващ се с проучвания и оказване на методическа помощ в много страни от източна и западна Европа. През 1964 г. фондацията стартира курс по обучение на специалисти в тази област, а от 1966 г. започва и издаването на специализираното списание Prospezioni Archeologiche.

Началото на прилагането на геофизичните методи в археологията в Западна Германия е поставено от Ървин Сколар в 1959 г. Той започва разработването на автоматизирани системи за електросъпротивителни измервания и е пионер в използването на компютрите за съхранение и математическа обработка на измерванията. Сколар разработва и собствен протонен градиометър с цел елиминиране на дневните и други естествени вариации на земното магнитно поле (Zikgraf 1999, 71).

Шейсетте години на 20-ти век са времето, когато се появяват някои много важни технически нововъведения. Бет Ралф от Центъра за приложна наука към Пенсилванския университет разработва и за пръв път прилага оптично-абсорбционен магнитометър при проучванията на древногръцкия град Сибарис в Италия. По същото време започва и използването на първите флуксгейт градиометри разработени от Джон Алдред и Франк Филпот. По-високата скорост на измерване и по-високата им точност ги правят първостепенни уреди за приложение в археологията, изместващи бързо наложилите се вече протонни магнитометри (Clark 1990, 19-20).

По същото време в Гарши, Франция се създава Центърът за геофизични изследвания (Centre de Recherches Géophysiques de Garchy) към Френската академия на науките (CNRS). Основните действащи лица в него са Албер Ес (Albert Hesse) и Ален Таба (Alain Tabbagh), които се насочват основно към развитието и приложението на електромагнитните методи за изследване на археологически обекти. Освен това, с цел бързото покриване на големи площи, те разработват механизирани електросъпротивителни измервателни системи монтирани на малки трактори, които по своята същност са напълно противоположни на английския стремеж към лекота и портативност (Clark 1990, 26; Zikgraf 1999, 74-75).

В страните от Източна Европа геофизичните методи също навлизат в археологията. За бившия Съветски съюз задължително трябва да се отбележи работата на Григорий Франтов и Албърт Пинкевич, които прилагат геофизичните методи още от края на 50-те години. Те за пръв път успешно използват метода на предизвиканата поляризация за откриване на огнища и струпвания на дървени въглища (Франтов, Пинкевич 1966, 84-91). Специално внимание заслужава да се отдели на групата към Института за история на материалната култура (ИИМК), понастоящем Институт по археология и етнология (ИАЕ), на Полската академия на науките. Още от началото на 60-те години екипът в състав Кшищоф Дабровски, Войчех Стопински и Ева Ступ-

ницка извършва електросъпротивителни и геомагнитни проучвания на множество обекти, както в Полша, така и зад граница, включително и в България. По-това време дейността им е в тясна връзка с фондация Леричи, като много често проучванията (особено геомагнитните) са под прякото методическо ръководство на Ричард Линингтон. Активната работа на полските геофизици продължава и през 70-те и 80-те години вече под ръководството на добрия приятел на България Яцек Пршеньосло (Misievicz 2002). Особено силно впечатление правят широкомащабните електросъпротивителни и геомагнитни проучвания на редица обекти в Египет, които стартират в началото на 80-те години на миналия век и продължават и до днес (Herbich 2003).

Развитието на археологическата геофизика през 70-те и началото на 80-те години на 20-ти век е белязано от известен застой. Този застой е особено видим на фона на бурното развитие на методите за датиране и анализ на артефакти (Gafney, Gater 2003, 19). Особено показателен в това отношение е разпадът на групата на Леричи и Линигтон в Италия и спирането през 1974 г. на списанието Prospezioni Archeologiche. Едно от обясненията на това явление е в достигнатото професионално и техническо ниво, което се нуждае от нови стимули и постижения, за да може да се развие в ново качество. От друга страна, всъщност, първият етап (до края на 60-те години) в развитието на археологическата геофизика е свързан не толкова с осмислените нужди, а оттам и действия, на практикуващите археолози, колко с усилията на малък брой ентусиазирани пионери. Не на последно място, причина за този застой е, че наличните уреди, а оттам и самите проучвания, са все още много скъпи и бавни и не могат да отговорят на нуждите на археолозите от картирането на големи площи за кратко време. Освен това, поради липсата на все още достатъчно натрупан опит, често се прилагат неподходящи за конкретните условия техники и, оттам, се получават лоши или трудни за интерпретация резултати. В същото време, 70-те години са периодът, когато започват опитите за приложение на геофизиката в нови страни, преимуществено в източно Европа, като например, България (виж I.2 по-долу), Унгария (Pattantyus 1986) и бившите вече Чехословакия (Tirpak 1983), ГДР (Бекер 1980) и Югославия (Music 1999).

След средата на 80-те години на 20-ти век археологическата геофизика отново се възражда. Това, от една страна, е свързано с нововъведенията в областта на електрониката и микрокомпютърната техника. Началото на този етап по един много естествен начин е маркирано с едно специално издание на списанието Geophysics (51, 3, 1986) посветено изцяло на археологическата проспекция. Това е времето, когато се появяват първите, предназначени за масова употреба, фабрични уреди. В Англия, например, започва работа фирмата Geoscan Research, която произвежда резистивиметри и флуксгейт градиометри, предназначени специално за приложение в археологията. Започват опитите за прилагане на последното техническо нововъведение в инженерната геология – георадарът. От друга страна, археолозите осъзнават, че геофизиката може да се използва не само за търсене на отделни пещи или проследяване на стени, но може да даде незаменима информация за развитието в древността на цели селища, градове или агломерации в обширни райони, които, така или иначе, никога няма да могат да бъдат цялостно проучени с археологически разкопки. Особено показателно в това отношение е публикуването през 1992 г. на сборника „Geoprospection and the Archaeological Landscape" (Spoerry 1992), в което са разгледани възможностите на съвременната геофизика за решаването на най-разнообразни археологически задачи. През 1996 г. започва и издаването на специализираното списание „Archaeological Prospection", посветено единствено на развитието и приложението на геофизичните

методи в археологията. Въобще, 90-те години на 20-ти век са белязани с безпрецедентното количество проучени обекти (Gaffney, Gather 2003, 23). Наистина, повечето от тях са във връзка със спасителни археологически разкопки по инфраструктурни проекти. Те изискват от геофизичните изследвания да са бързи, евтини и информативни. Това налага усъвършенстването най-вече на методите за бързо картиране на площи – геомагнитния и електросъпротивителния. Използваните уреди вече имат директна връзка с портативни компютри, използват се мобилни и мултисензорни системи и GPS навигация, неимоверно развитие бележат и програмите за компютърна обработка и представяне на резултатите от измерванията.

Това бурно развитие продължава и в началото на 21-и век. Понастоящем в развитите европейски държави и в другите части на света, където работят техни експедиции, археологическите разкопки, като правило, не започват без предварително геофизично проучване. В много страни геофизичните изследвания са интегрална част от теренните археологическите проучвания, като представляват една рутинна и дори изисквана от съответните правилници процедура (Schmidt 2001; Jones 2008).

Едно нагледно доказателство за нарастналата роля на археологическата геофизика е създаването към редица водещи университети и научни институции на мощни научни звена с голям изследователски състав като лабораторията по „Archaeological Prospection - Shallow Geophysics" [3] към университета в Брадфорд, ръководена от Крис Гафни и с участието на други водещи английски учени (Армин Шмит, Арнолд Аспинал, Джон Гейтър и Роджър Уолкър); ръководеният от Волфганг Ньобауер „Ludwig Boltzmann Institute for Archaeological Prospection and Virtual Archaeology" в Австрия[4] или ръководената от Стефано Кампана „Laboratory of landscape archaeology and remote sensing" към университета в Сиена, Италия[5]. Разширява се и географията на археологическата геофизика. Подобно на тези в Западна Европа са създадени и лаборатории в Гърция – ръководената от Апостолос Сарис „Laboratory of Geophysical - Satellite Remote Sensing and Archaeo-environment"[6] към Института за средиземноморски изследвания на остров Крит, както и към университета в Измир, Турция – „Center For Near Surface Geophysics and Archaeological Prospection"[7], ръководен от Мустафа Дрaхор.

Развитието на археологическата геофизика през последните няколко десетилетия наложиха тази дисциплина като една интегрална част от археологическите проучвания. Прецизността на използваната апаратура, методиката на провеждане на полевите измервания, както и програмните продукти за обработка на данните са на ниво, отговарящо напълно на нуждите на археолозите за получаване на бърза и евтина предварителна информация за изследваните обекти. Водещата роля, в това отношение, на геомагнитния и електросъпротивителния метод може да се счита за общоприета. Бързото развитие на системите за глобално позициониране (GPS) и интегрирането им към геофизичните системи, може да доведе до още по-голямо ускорение на процеса на полевите измервания, тъй като отпада необходимостта от полагане на геодезична мрежа. Използването на последните новости в техниката като многока-

3 http://www.bradford.ac.uk/archenvi/

4 http://archpro.lbg.ac.at/

5 http://www.lapetlab.it/

6 http://www.ims.forth.gr/

7 http://www.deu.edu.tr/

налните резистивиметри и георадарите с мултичестотни антени и най-вече на многосензорните флуксгейт, оптично-абсорбционни и SQUID магнитометри, позволява още по-бързото картиране на много големи площи – от порядъка на стотици и дори хиляди декари От своя страна, това неизбежно води до възможността за дефиниране на принципно нови задачи, както пред геофизиците, така и пред археолозите, а именно – преминаването от регистрирането на аномалии или проучването на отделни селища към установяване на пространствената и времева връзка между различните компоненти на цели агломерации населени в древността, както и възстановяване на елементите на палеосредата, в която те са се развивали (Campana, Piro 2009).

I. 2. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОУЧВАНИЯТА В БЪЛГАРИЯ

Първите геофизични проучвания на археологически обекти в България са извършени от полския геофизик Войчех Стопински. Между 1962 и 1965 г. той извършва електросъпротивителни и геомагнитни измервания на средновековния обект при с. Стърмен, Русенско и на останките от римския град Нове край Свищов. За съжаление резултатите от проучванията не са публикувани. В публикуваните археологически отчети от разкопките също не е дадена никаква информация за тези проучвания (Hensel 1970; Majewski 1970). Единствено по косвени данни може да се съди, че за електросъпротивителните измервания е използвана електродна схема Венер, а геомагнитните измервания са извършени с протонен магнитометър (Lenkiewicz, Stopinski 1969).

През 1963 г. екип на италианската фондация Леричи извършва опитно-методични електросъпротивителни и геомагнитни проучвания на няколко могили в Казанлъшко (Fondazione Lerici 1963). Една година по-късно Ради Радков, преподавател в катедра Приложна геофизика на бившия вече Висш минно-геоложкия институт (днес Минно-геоложки университет – МГУ) в София, специализира във фондация Леричи в Милано. В резултат в България излиза първата обзорна статия посветена на възможностите на геофизичните методи в археологията (Радков 1966).

През 1971 г. са извършени и първите геофизични проучвания от български специалисти. Веселин Янев и Илиян Катевски провеждат опитно-методични електросъпротивителни изследвания по метода на комбинираното профилиране за регистриране на останки от стени във Велики Преслав (Янев, Катевски 1972). Същият екип през 1974 извършва по-обширни съпротивителни изследвания на първата българска столица Плиска (Янев и др. 1976). През 1972 г. екип от МГУ под ръководството на Вера Иванова и Стайко Пищалов извършва опитни електрични и магнитни изследвания в м. Текето край с. Свещари (Пищалов и др. 1972). През следваща година един голям екип от МГУ ръководен от Ради Радков извършва съпротивителни и магнитни измервания на шест могили от некропола при Свещари. Благодарение на резултатите от геофизичните изследвания през 1982 г. е открита вече световноизвестната гробница в Гинина могила при с. Свещари. През 70-те години на миналия век Иван Джаков от Геофизичния институт на БАН извършва геомагнитни проучвания на могили в района на Стрелча (Джаков 1978). Изброените по-горе имена са всъщност пионерите поставили основите на геофизичните проучвания в археологията у нас. Както и в много други държави в Европа, тези първи стъпки не са резултат от осъзната необходимост от такива изследвания на големи професионални групи, а са плод на амбицията на една шепа ентусиасти. Ето защо и тези първи стъпки в началото остават без последо-

вателя.

Едва през 1981 г., във връзка с честването на 1300 годишнината от създаването на българската държава, се забелязва някаква промяна в отношението на държавата и обществото към проучването на неговото историческо наследство. Един от изразите на тази промяна е проведеният същата година Първи национален симпозиум „Физични методи за откриване, изследване и опазване на паметниците на културата". Единият от пленарните доклади е със заглавие „Геофизични методи в археологията" (Янев и др. 1983). В него са очертани основните проблеми и насоки за приложението на геофизичните методи в археологията в България, като са предложени някои стъпки за разрешаването им. В секцията „Откриване и датиране на паметници на културата" са представени още общо седем геофизични доклада, но само два от тях са наистина стойностни (Катевски и др. 1983; Авдев и др. 1983). Този факт отразява изключителното изоставане на българската археология и геофизика от достигнатото ниво в развитите страни в Европа, включително от голяма част от бившите социалистически страни. Всъщност, в началото на 80-те години на миналия век въобще не може да се говори за такова понятие като „българска археологическа геофизика".

През същата 1981 г. към Лабораторията по геотехника на БАН е създадена Лабораторията за инструментални методи в геотехниката и археологията (ЛИМГА). За ръководител на лабораторията е назначен покойният вече Никола Илев, един от първите специалисти по геофизика и геотехника в България, а за завеждащ „археологическото" направление – Илиян Катевски, пионер и ентусиаст в прилагането на геофизичните методи в археологията. По-късно към лабораторията са назначени току що завършилите магистри по приложна геофизика Васил Константинов и Никола Тонков. За пръв път геофизици могат да насочат основната част от усилията си за разработване и усъвършенстване на методиката и техниката на проучване на археологически обекти. И резултатите не закъсняват. Постепенно, за много от практикуващите археолози геофизичните методи стават неделима част от самата технология на археологическите разкопки. През следващите десетина години са извършени проучвания из всички краища на България, включващи над 50 тракийски надгробни могили и над 20 други археологически обекти - градове, селища, светилища, некрополи. На някои от тях геофизичните проучвания се извършват в продължение на години. Така например в археологическия резерват Сборяново при село Свещари те се провеждат с малки прекъсвания от 1983 г. насам. На емпорион Пистирос край Септември се провеждат в продължение на близо 10 години.

В резултат на ефективното използване на новите инструментални методи са открити някои емблематични паметници на българската археология: гробниците в могили № 12 и 13 от резервата Сборяново (Katevski 1986; Katevski 1992; Katevski 1996), гробниците в Малката могила и Оструша от некропола при Шипка-Шейново (Тонков, Катевски 1996; Tonkov 1996) и др. Резултатите от дейността на ЛИМГА са представени на много научи форуми в страната и чужбина, като например Първата и Втора Южноевропейска конференция по археометрия (Гърция, 1984 и 1991 г.), международната конференция „Geoarchaeology of Tumuli in Ancient Europe" (Италия, 1993 г.) и др. През тези години ЛИМГА осъществява и ползотворно международно сътрудничество. В продължение на 10 години се извършват съвместни изследвания с Лабораторията за приложни технологии в културното наследство (Laboratorio per le Technologie Applicate ai Beni Culturali) към Италианската академия на науките по проект на тема „Геофизика и геоархеология - Апенино-балканика". Проучват се ар-

хеологически обекти в Италия и България, сред които са електросъпротивителни и геомагнитни изследвания на могилата Коцо Ротондо (Turco, Rizzo 1987) и нейните околности до град Козенца и на други обекти в Южна Италия и Сицилия, както и на могили от некропола при Свещари. Много ползотворно е и сътрудничеството с геофизичния екип на Яцек Пршеньосло към Института по археология и етнология на Полската академия на науките. На могили от некропола при Свещари са изпробвани нови модели на резистивиметри и магнитометри произведени в Полша. Съвместни изследвания са извършвани и с международните археологически експедиции на емпорион Писторос. Доказателство за международното признание на дейността на ЛИМГА е включването й през 1992 г. в Каталога на европейската мрежа за научно-техническо кооперирание - „Науката и техниката прилагани в културното наследство" към Съвета на Европа.

През 1984 г. се създава и Лабораторията по археометрия към Института по тракология на БАН. Ръководена от покойния вече Августин Петков, дейността на лабораторията се насочва основно към малко разработвани теми като морската геофизика и въздушната фотография. С подкрепата на доайена на българската тракология проф. Александър Фол, лабораторията за кратко време е оборудвана с модерна техника и екипировка, предимно за подводни проучвания и аерофотография (Ненов, Петков 1995). Скоро след създаването си лабораторията стартира аероархеологически наблюдения и фотографиране на различни участъци по черноморското ни крайбрежие. През следващите години са използвани и различни мотоделтапланери, които се оказват много удобни и икономически изгодни за подобни дейности (Петков 1988). През тези години се извършват подводни геофизични проучвания по българското черноморско крайбрежие - батиметрични изследвания в района на Дуранкулак, около Маслен нос, Арапя, Ахтопол, комплексни изследвания на заливите на Созопол и Китен, както и залива на р. Ропотамо (Petkov, Nenov 1988; Petkov et al. 1988, Georgiev et al. 1991, 1994). За съжаление, след преждевременната кончина на Августин Петков и на неговия съратник Михаил Георгиев, Лабораторията по археометрия към вече Центъра по тракология, всъщност, престава да съществува.

През 1994 г. Лабораторията по геотехника към БАН е ликвидирана. Част от щатния й състав е съкратен, а останалият персонал е пренасочен към други институти на академията. Илиян Катевски и Никола Тонков от Лабораторията за инструментални методи в геотехниката и археологията (ЛГСЗОТ) са прехвърлени към секция Интердисциплинарни изследвания на Националния археологически институт с музей (НАИМ) при БАН. Останалите просто са съкратени.

Периодът между 1994 и 2005 г. може да се определи като време на известен застой в развитието на археологическата геофизика в България. Той се изразява най-вече в пълната липса на средства за внедряването на нова техника. Този застой е особено отчетлив на фона на бурното развитие на археологическата геофизика в Европа, а и в света като цяло, базирано на използването на последните модели флуксгейт и оптично-абсорбционни магнитометри, резистивиметри и георадари. Точно поради липсата на подходяща апаратура проучванията на селищни и други равнинни археологически обекти са ограничени. Все пак са постигнати някои добри резултати при трасирането на крепостните стени на емпорион Пистирос (Katevski 1996; Katevski 2002), при проучванията на археологическия обект при с. Копривлен (Tonkov 2002), за определяне дебелината на културния пласт на тракийското селище в Сборяново (Тонков, Катевски 2007). Независимо от изоставането в техническо отношение броят

на проучените надгробни могили не намалява особено. Макар и с използването на вече морално остаряла техника, за този период са проучени над 50 могили. Особено впечатляващи са резултатите от проучванията в Казанлъшко. Благодарение на предварителните електросъпротивителни изследвания е открита гробницата в могилата Голяма Арсеналка (Tonkov 1996b), богатите гробове в могилата Светица (Тонков 2007) и Зарева могила (Тонков 2001) и др. За първи път през този период са направени опити за използването на диполната електродна схема и за прилагането на една от последните новости в електропроучването - двумерната електросъпротивителна томография, за проучването както на селища (Tonkov 2002, Tonkov 2008b), така и на могили (Тонков 2003, Tonkov, Loke 2006).

През 2005 г. НАИМ-БАН закупи чисто нова геофизична апаратура. Това са един флуксгейт градиометър GRAD 601 на фирмата Bartington, Англия и един резистивиметър 4PLHP на фирмата L. G. M. Lippmann, Германия. Поради много по-високата скорост на извършване на самите измервания, за периода 2006-2010 г. броят на проучваните годишно обекти се увеличи между над два пъти, като все повече археолози можаха да се убедят във възможностите на геофизичните изследвания. Особено показателна за нарасналия интерес от такива проучвания е общата площ, която годишно се покрива с геомагнитни проучвания. Ако за четирите години между 2006 и 2008 г. тази площ е общо 70 дка, то само за 2009 и 2010 г. тя е близо 300 дка. Новата техника позволява при проучването на могили, а и на други обекти, вече масово да се прилага електросъпротивителната томография (Тонков 2008а; Тонков 2008б). В тази връзка, бяха изработени нови многожилни кабели, електроди и електродни комутатори. Освен това, за да могат да се използват най-пълноценно възможностите на новия резистивиметър, беше изработена и въведена в употреба окомплектовка за работа с двуелектродна схема, една от най-предпочитаните за съпротивително проучване на археологически обекти (Тонков 2007; Инкова, Тонков 2009). През последните години катедра Археология на СУ също закупи модерен флуксгейт магнитометър, а НБУ – оптично абсорбционен, което позволи и на тези две научни институции да извършват геомагнитни изследвания на археологически обекти (Янков Д., Р. Колева, Ч. Кирилов 2008; Ганецовски, Зидаров 2010).

Правейки този обзор на геофизичните проучвания на археологически обекти в България е нужно да се отбележат и тези извършени от чуждестранни екипи по международни проекти. Такива проучвания са правени на Драма, Пистирос, Нове, Ятрус, Никополис ад Иструм, Плиска (Schleifer 2007), Силистра (Шлайфер et al. 2006), а вероятно, и на други места. Както беше споменато по-горе, резултатите от първите геофизичните проучвания в България – на римския град Нове край Свищов, не са публикувани. Това се отнася и за изследванията на английския екип на Пистирос, където през 1996 г. са извършени електросъпротивителни измервания в рамките на селището и измервания на магнитната възприемчивост извън него.

В резултат на геомагнитните изследвания на словашки екип от град Нитра, в околностите на с. Кривина са открити пещи за вар от римската епоха (Vagalinski 2011).

Най-мащабните геофизични проучвания са извършени във връзка с българо-английските проучвания на Никополис ад Иструм. В средата на осемдесетте години на миналия век са извършени електросъпротивителни измервания в рамките на града (Strange 1995). В средата на деветдесетте години, те са разширени с изследвания на още три обекта при селата Дичин, Лесичери и Раданово (Poulter 1999). В периода 1999-2002

г. електросъпротивителни проучвания са направени на още 18 обекта в района, като е покрита обща площ от почти 15 ха (Boyd 2007). Използвана е двуелектродна схема с разстояние между електродите от 0.5 м и гъстота на измерване от 1 точка на кв. м. В резултат от проучванията на осем от обектите са регистриране останки от каменни градежи.

В заключение може кажем, че през последните пет години с набавянето на последните модели флуксгейт градиометри и резистивиметри и окомплектоването им с подходящи периферни устройства и програмно обезпечение, нивото на извършваните геофизични проучвания на археологически обекти в България вече до голяма степен съответства на световното. Нещо повече, прилаганата вече от няколко години у нас двумерна и тримерна електросъпротивителна томография (2D и 3D ECT) е извън възможностите и компетенциите на голяма част от екипите, занимаващи се с изследвания на археологически обекти в чужбина.

За съжаление възможностите и преимуществата на геофизичните изследвания все още са недостатъчно познати за голяма част от българските археолози. Така например, от проучваните с разкопки през 2010 г. над 220 обекта на не повече от 20 е било извършвано предварително геофизично проучване. Разбира се, на някои от тези обекти поради напълно обективни причини такова не може да бъде направено. Въпреки всичко процентът е неприемливо нисък. Особено показателен в това отношение е и фактът, че от проучените чрез спасителни археологически разкопки над 40 обекта по трасето на АМ „Тракия" между Стара Загора и Карнобат на не повече от ¼ е извършено предварително геофизично проучване.

II. ПРИЛОЖЕНИЕ НА ГЕОФИЗИЧНИТЕ МЕТОДИ В АРХЕОЛОГИЯТА

В първата част на изложението, по-долу, са разгледани практически всички геофизични методи, които са прилагани при проучването на археологически обекти. Малко по-голямо място е отделено на използването на георадарните изследвания поради факта, че те са последната новост в археологическата геофизика и поради това са сравнително непознати, като често в България са обект на спекулации (наистина, предимно медийни)[8] за неограничените им възможности. Във втората част подробно е разгледана методиката на прилагане на двата водещи метода при проучването на археологически обекти – геомагнитният и електросъпротивителният.

Полезната информация получавана при геофизичните проучвания е резултат на съществуващите разлики във физичните свойства на археологическите структури и вместващата среда (най-често това е повърхностният почвен слой), които могат да бъдат отчетени в процеса на самото измерване. Така например, каменните основи от стени могат да се окажат с по-ниска магнитна възприемчивост или с по-високо електрическо съпротивление от съдържащата ги почва. В резултат се регистрират аномални отклонения, които, ако са достатъчно интензивни и, особено, ако в план очертават правилни геометрични форми, логично могат да бъдат интерпретирани като индикатор за останки от човешка дейност. Малко вероятно е правите линии, правоъгълници, кръгове или елипси да са резултат от природни процеси. В същото време, като правило, аномалиите предизвикани от археологически обекти са много слаби. За щастие, съвременните геофизични уреди са достатъчно прецизни, за да могат да ги регистрират.

Вероятността дадена археологическа структура да бъде отчетливо регистрирана зависи от няколко взаимосвързани фактора: 1) изборът на подходящ геофизичен метод, съответстващ на съществуващите разлики във физичните свойства на търсените обекти и вместващата среда; 2) използване на апаратура, която е достатъчно чувствителна, за да отчете тези разлики; 3) размерите на погребаните обекти; 4) дълбочината на залягане; 5) наличието на „шумове" (естествени смущения) и интензитетът им спрямо този на „полезния" сигнал, предизвикан от археологическите структури; 6) наличието на линейни характеристики на обектите.

Като правило, за да бъде въобще регистриран един археологически обект, раз-

---

8 http://www.monitor.bg/article?id=168802 (Георадар на НАСА показа неразкопана и неограбена кръгла камера с предполагаемата сензационна находка в Голямата Косматка. Китов пред поредното си откритие – бронзова статуя на Север III).

http://dariknews.bg/view_article.php?article_id=259232 (Кой от кого открадна откритието на храм на Дионис в Голямата Косматка?)

http://temanews.com/index.php?p=tema&iid=359&aid=8770 (Георадар видя гробница в Дебелт. Руският екип, който локализира погребението, ще работи и в имението на Достоевски)

стоянието между две отделни точки на измерване не трябва да е по-голямо от половината от хоризонталните му размери. Така структурата може да бъде регистрирана в минимум две точки. Обекти по-малки от „стъпката" на измерване може въобще да бъдат пропуснати, или, ако са регистрирани само с една аномална стойност, да бъдат интерпретирани като резултат на грешка или на естествени смущения.

II.1. ОСНОВНИ ГЕОФИЗИЧНИ МЕТОДИ И ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ИМ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ В АРХЕОЛОГИЯТА

Геофизичните методи на проучване могат да бъдат разделени най-общо в две категории - **активни и пасивни**:

Активните методи се базират на излъчването на импулси в почвата (например електрически ток или електромагнитна вълна) и регистрирането на отразения сигнал на земната повърхност:

– електрични
– електромагнитни
– георадари (уреди, работещи с високочестотни електромагнитни вълни)
– сеизмични
– акустични (сонари)

Пасивните разчитат на естествените физични полета, които биха могли да съществуват даже и при липсата на измерителен уред (например магнитното поле на погребана керамична пещ).

– геомагнитен
– гравиметричен
– геотермични
– радиометрични

Практически всички изброени методи в по-голяма или по-малка степен са били прилагани за целите на археологията. В крайна сметка едни са се оказали с по-големи възможности в тази конкретна област, други все още са в процес на оценка, а трети за момента са приети за неподходящи (табл. II.1.1). Така например, сеизмичният метод, със сигурност най-широко използваният метод в проучвателната и инженерната геология, намира много малко приложение при изследването на археологически обекти.

Метод(и)	вид	степен на приложение
електрични - **електросъпротивителен** - предизвикана поляризация - естествени потенциали	 **активен** активен пасивен	 **висока** ниска ниска
геомагнитен	пасивен	висока
електромагнитни	активни	средна/ниска
георадар	активен	средна
сеизмичен	активен	ниска
гравиметричен	пасивен	ниска
геотермичен	пасивен	ниска
радиометрични	пасивни	ниска

Таблица II.1.1. Видове геофизични методи (или групи методи) и степента им на приложение в археологията.

II.1.1. Електрични методи.

Електричните методи се базират на факта, че повърхностните наслаги на земята могат да провеждат електрическия ток. От многото видове електрични методи (Пищалов1976, **Dobrin, Savit 1988**) три са тези, които по някакъв начин са били използвани в археологическите проучвания – електросъпротивителният метод, методът на предизвиканата поляризация и методът на естествените потенциали. Последните два метода са били спорадично тествани за изследване на археологически обекти, като процесът на самото измерване и условията, при които приложението им може да даде най-добри резултати са все още в етап на разработване и оценка (Франтов, Пинкевич 1966, 84-91; Aspinall, Lynam 1970; Drahor *et. al*. 1996; Drahor 2004; Gaffney, Gater 2003, 53-54; Schleifer *et al*. 2002; Wynn, Sherwood 1984;), поради което тук няма да им бъде отделяно по-специално внимание.

Електросъпротивителен метод.

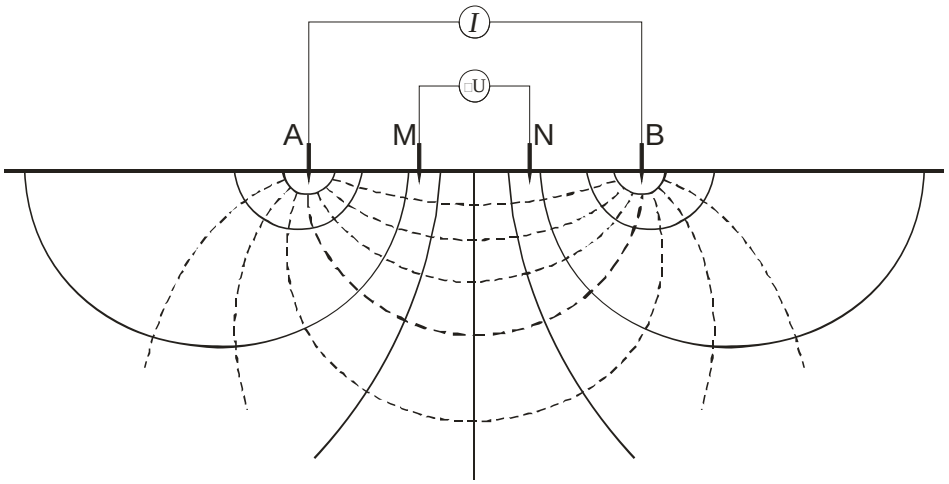
Методът се базира на пропускане в земята на прав или с много ниска честота (от порядъка на няколко херца) електрически ток и измерване на измененията на електрическото съпротивление, предизвикани от археологически структури. Уредите, използвани при електросъпротивителните измервания са известни с наименованията „резистивиметри" или „тераметри". Широкото приложение на метода в археологията се дължи на няколко факта. Преди всичко той е много подходящ за бързо картиране на плитко разположени структури. Цената на оборудването е ниска, а обичайните процедури за обработка на данните – сравнително прости. В същото време методът е много „гъвкав" – с едно и също оборудване могат да се изследват дълбочини от няколко десетки сантиметра до няколко метра.

Електросъпротивителният метод има най-дълга история в проучванията на археологически обекти (Франтов, Пинкевич 1966; Эйткин 1963; Aitken 1974; Clark 1990; Gaffney, Gater 2003; Zickgraf 1999). Неговата теория е добре изложена в обширната специализирана литература за приложението на геофизичните методи в геологията (Пищалов 1976, Dobrin, Savit 1988), откъдето всъщност е адаптиран за целите на археологията.

Целта на електропроучването е да се определи разпределението на съпротивлението в дълбочина чрез измервания направени на земната повърхност. Съпротивлението е едно от фундаменталните електрични свойства на земните наслаги. Терминът се използва, тъй като скалните материали се държат като електрически съпротивления при проникване на ток в земната повърхност. Носителите на електрическия ток са положителните и отрицателните йони на солите разтворени във водата съдържаща се в порите на земните пластове. В това отношение най-голяма роля играят разтворимите соли на натрия и калция (Clark 1990, 27-28). Следователно, колкото е по-голямо съдържанието на влага и наличието на разтворени соли, толкова по-ниско ще е съпротивлението на почвата. Към тези фактори трябва да добавим и специфичните електрически свойствата на глините. Те притежават тъй наречения двоен йонен слой в кристалната си решетка и поради това могат добре да провеждат електрическия ток дори и при липсата на влага (Wildenschild *et al*. 2000). Ето защо наслаги с високо съдържание на глина често показват много ниски стойности на електрическото съпротивление даже и след дълги периоди на сухо и горещо време.

Обичайният начин за извършване на електросъпротивителните измервания е

като се инжектира ток в земната повърхност чрез два заземени захранващи електрода A и B и, същевременно, се измерва резултантният пад на напрежението чрез други два електрода M и N (фиг. II.1.1.1).



Фиг. II.1.1.1. Условна схема при електросъпротивителните измервания с представени токовите (прекъснати) и еквипотенциалните (плътни) линии.

От силата на тока I [A (ампер)] и напрежението ΔU [V (волт)] се изчислява привидното електрическо съпротивление ($\rho_{пр}$) в омометри [ohm. m]:

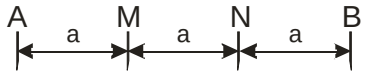
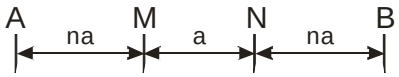
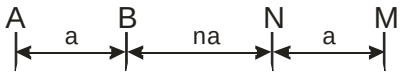
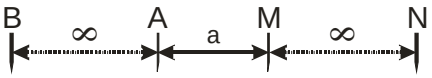
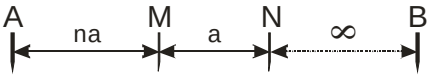
$$\rho_{пр}\,[\text{ohm. m}] = k\,.\,\frac{\Delta U}{I} \qquad \text{(II.1.1.1)}$$

където *k* е един коефициент, зависещ от геометричната конфигурация на четирите електрода (Пищалов 1976, 70):

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)} \qquad \text{(II.1.1.2)}$$

Измереното съпротивление не е истинското, а т. нар. „привидно", което означава, че то е равно на съпротивлението, което би било измерено над една хомогенна среда с такова съпротивление при използването на конкретната електродна схема[9] Съществуването на структури, отличаващи се с по-високо или по-ниско електрическо съпротивление от вместващата ги среда ще доведе, съответно, до повишаване или понижаване на измереното привидното съпротивление.

9 Връзката между привидното и истинското съпротивление на средата е сложна. За да се определи истинското съпротивление са нужни голямо количество измервания и задължителното им обработване с компютърни програми (най-често използваният термин е „инверсионни програми") за решаване на т. нар. „обратна задача на електропроучването". Като цяло процедурата е сравнително бавна и извършването ѝ не е задължително, освен при решаването на по-специализирани задачи, описани по-долу като 2-D и 3-D електросъпротивителна томография.

наименование	електродна схема	коефициент на схемата (к)
Венер (алфа)		2.π.a
Венер-Шлюмберже		π.n.(n+1).a
Диполна		π.n.(n+1).(n+2).a
Двуелектродна		2.π.a
Триелектродна		2.π.n.(n+1).a

A и B са захранващите електроди, а M и N са измерителните електроди

a - растояние между електродите в метри

n - фактор на нарастването на схемата (n е цяло число)

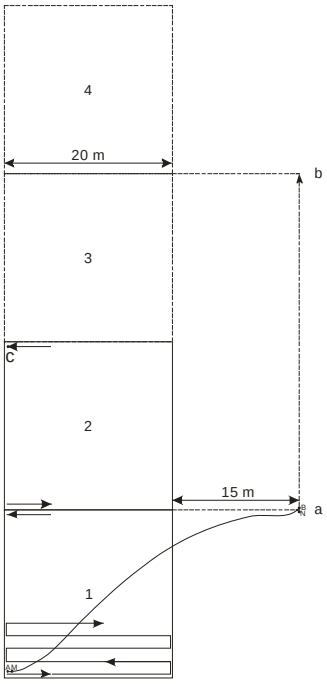
∞ - безкрайност (разстояние до отдалечен електрод)

Фиг. II.1.1.2. Схематично представяне на основните електродни схеми.

При електросъпротивителните измервания четирите електрода могат да бъдат разположени в различни геометрични конфигурации (фиг. II.1.1.2.). Практически, всички посочени в таблицата електродни схеми са били използвани за решаването на археологически задачи. Всяка една от тях има своите преимущества и недостатъци и може да даде най-добри резултати, когато прилагането ѝ е съобразено с конкретните условия и поставените цели. Така например, диполната схема е много подходяща при наличие на плитки вертикални нееднородности, като каменни стени. Двуелектродната схема, прилагана в конфигурацията известна в западната литература с термина „twin-probe array" (Clark 1990, 44), от своя страна, се използва за бързото картиране на големи площи с плитко разположени структури. При тази конфигурация едната двойка захранващ-приемен електрод е заземена във фиксирана точка, намираща се условно в безкрайността, като измерванията се извършват чрез преместване по профилните линии само на другата двойка електроди (обр. 3, 4). Скоростта на провеждане на полевите измервания и простата процедура на обработката на данните я правят може би най-предпочитана в археологията (Gaffney 2008, 317). При изследване на по-дълбоко разположени обекти е удачно използването на триелектродната схема и на схемата Венер-Шлюмберже. В някои случаи, например при сложна стратиграфия или наличие на разнообразни като характеристики структури, може да се окаже полезно прилагането на няколко различни електродни схеми.

Стандартно, електросъпротивителните измервания се извършват по прави линии с разстояние между тях и отделните точки на измерване съобразено с вида на

очакваните обекти (най-често 0.5 или 1 м). Наличието на обект се маркира от аномалните отклонения на измереното привидно съпротивление от някакви постоянни (фонови) стойности. Останките от човешка дейност в древността много често имат съпротивления, различаващи се съществено от съпротивлението на вместващата среда (обикновено почва), което предполага успешното им регистриране.



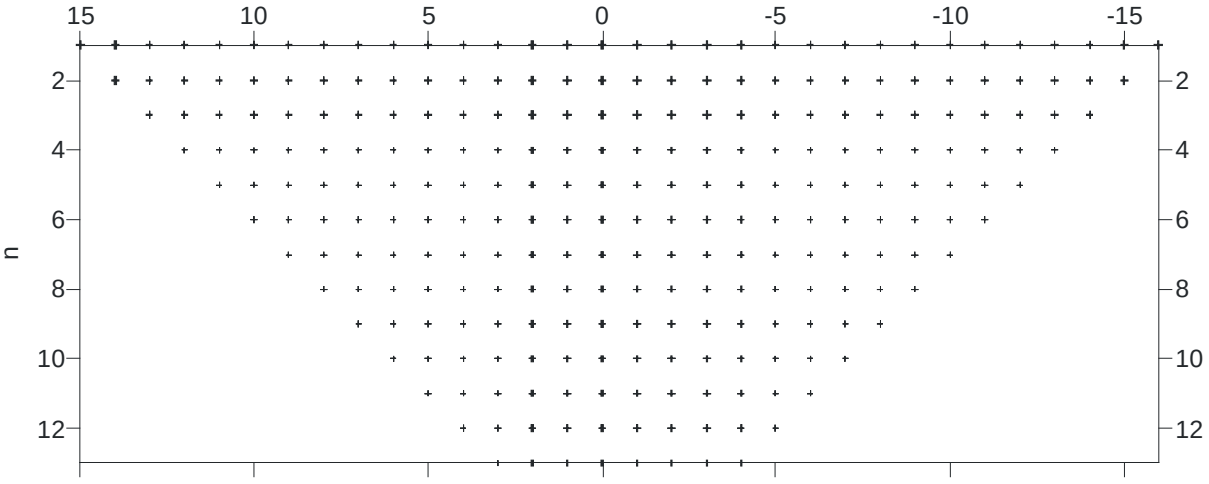
*Фиг. II.1.1.3. Процедура за провеждане на измерванията с двуелектродна схема при квадратна мрежа 20x20 м. При измерителен уред монтиран върху електродната рамка с кабел дълъг 50 м могат да се проучат квадрати 1 и 2, като фиксираните електроди са в точка **a**. Последната измерена точка е **c**. След това фиксираните електроди се преместват в точка **b** и се измерват квадрати 3 и 4 и т. н.*



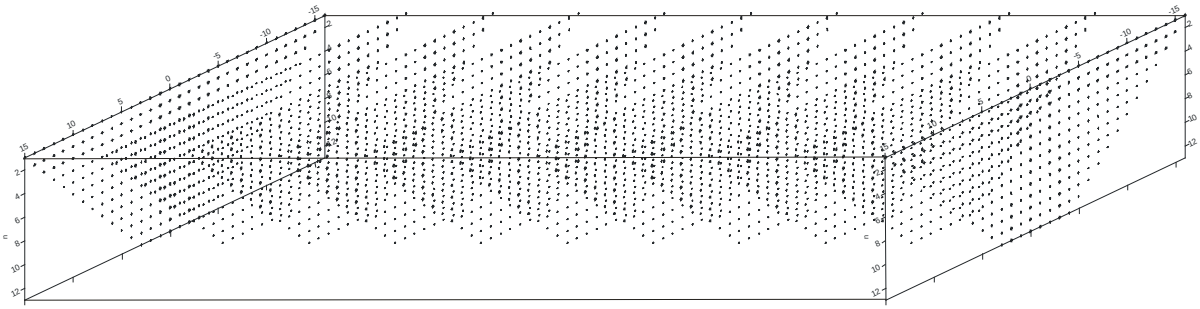
Фиг. II.1.1.4. Измерване с двуелектродна схема.

Археологическите структури, които успешно могат да бъдат регистрирани с електросъпротивителния метод са стени или останки от стени, каменни натрупвания, паважи и пътни настилки, кухини и тунели, ями и ровове, цистови гробове и саркофази.

Допълнително предимство на електросъпротивителния метод е, че с увеличаване дължината на измервателната схема се получават данни за по-големи дълбочини. Този факт е в основата на т. нар. вертикално електрическо сондиране (ВЕС). При него измерванията се извършват в една постоянна точка с прогресивно увеличаваща се дължина на схемата. Така се получава информация за хоризонталните напластявания в дълбочина. Неудобството на метода е, че той не е чувствителен към вертикални граници. Очевидно, за целите на археологията по-подходящ е методът на профилирането, както бе описано по-горе, при който се получава информация за вертикалните нееднородности. В последните години навлиза една комбинация от двата описани метода. Тя е известна с термините „непрекъснато вертикално електрическо сондиране" (НВЕС) и, най-често, двумерна и тримерна електросъпротивителна томография (2D и 3D ЕСТ) или двумерно и тримерно инверсионно моделиране. Измерванията по профилните линии се извършват с много на брой дължини на електродната схема (фиг. II.1.1.5, фиг. II.1.1.6). За ускоряване на процеса се използват многожилни кабели и превключватели, които автоматично поддържат избраната електродна конфигурация и я преместват по измервателния профил. Резултатите от подобни измервания са годни за използване само след обработка със споменатите по-горе инверсионни програми (виж бележка 9). Това нововъведение се прилага от няколко години и при проучване на археологически обекти в България (Тонков 2002; Тонков 2003; Tonkov, Loke 2006) (обр. 10-12; 14).



Фиг. II.1.1.5. Вертикален план представящ условно в дълбочина измервателните точки при двумерната електросъпротивителна томография (2D ЕСТ).



Фиг. II.1.1.6. Схема на измервателните точки при тримерната електросъпротивителна томография (3D ECT).

Факторите, които могат да възпрепятстват извършването на електросъпротивителни измервания са малко и обикновено са свързани с условията на заземяване на електродите. Много сухи или рохки повърхностни наслаги с ниско съдържание на глина, като пясъци и чакъли, могат да доведат до невъзможност за осъществяване на добър галваничен контакт. До голяма степен това важи и за прясно изорани площи. От друга страна, в условията на много висока повърхностна влага, най-вече след топенето на снеговете или в периоди на обилни дъждове, може да се получи тъй наречения екраниращ ефект, който да възпрепятства протичането на електрическия ток в дълбочина и така значително да се намали дълбочинността на проучването. В такива случаи най-приемливият вариант е да се изчака известно време, докато условията за провеждане на електросъпротивителни измервания станат по-подходящи (Gaffney *et al.* 1991, 8; Tonkov 2006, 52). Много плитко разположени коренни скали могат също да предизвикат лъжливи аномалии или да замаскират тези от археологически структури[10].

II.1.2. Геомагнитен метод.

Методът се основава на регистрирането на аномалиите на земното магнитно поле, предизвикани от разликите в магнитните свойства (магнитна възприемчивост и остатъчна намагнитеност) между погребаните структури и вместващата ги среда. Използваните уреди са известни като „магнитометри".

Магнитопроучването е със сигурност най-предпочитаният метод за изследване на археологически обекти. Методът се базира на две фундаментални дадености: съществуването на естественото магнитно поле на земята и свойството на веществата да се намагнитват под действието на външни магнитни полета[11]. Широкото приложение на геомагнитния метод се дължи на факта, че голяма част от археологическите структури демонстрират магнитни свойства, различни от тези на вместващата ги среда, което предопределя и успешното им регистриране.

Произходът на земното магнитно поле все още не е напълно изяснен, но се счита, че то е причинено от електрически токове във външните течни слоеве на земното ядро (Lowrie 2007, 315; Milsom 2003, 69). В първо приближение може да си представяме това поле като предизвикано от голям магнит разположен в центъра на земята, чийто южен полюс е насочен към нейното северно полукълбо. Това първично стабил-

10 Всъщност, пречещото влияние на плитко разположените коренни скали е в сила за абсолютно всички геофизични методи прилагани в археологията.

11 Единицата за интензитет на магнитното поле е тесла (T), но обикновено се използва нейното подразделение нанотесла, означавана често с гръцката буква γ ($1\gamma=1nT=10^{-9}T$).

но магнитно поле си взаимодейства в земната магнитосфера с потоците от заредени частици идващи от слънцето и предизвикващи промени на нормалното поле във времето, известни като вариации на земното магнитно поле.

Свойството на веществата да се намагнитват под действие на външни магнитни полета се контролира от един фактор наречен магнитна възприемчивост. Колкото е по-голяма магнитната възприемчивост на едно тяло толкова е по-голям и магнитният му момент предизвикан от външното магнитно поле. Тази намагнитеност се нарича индуктивна. Основният фактор, който влияе върху магнитната възприемчивост на веществата е наличието на по-слабо или по-силно магнитни окиси на желязото (магнетит Fe_3O_4 и магнитната разновидност на хематита γFe_2O_3). За приложението на магнитния метод в археологията от основно значение са магнитните свойства на почвите – средата, в която обикновено са разположени археологическите структури. През 50-те години на миналия век френският учен Le Borgne установява, че като правило почвите притежават по-висока магнитна възприемчивост в сравнение със скалите, от които са образувани и предлага два механизъма водещи до това явление (Le Borgne 1955; Le Borgne 1960). Направените в последствие многобройни изследвания установяват, че почвите, които са били образувани по време на обитаването на терена в древността, придобиват повишена магнитна възприемчивост, вследствие на протекли химични и биохимични процеси, при които по-слабо магнитните съединения на желязото преминават в по-силно магнитни (Clark 1990, 100; Fasbinder, Stanjek 1993; Tite, Mullins 1971)[12] По отношение на археологическите структури, може да се даде пример с ров или яма, вкопани в стерилния терен и запълнени с материали от повърхността, богати на железни окиси, които ще предизвикат характерни положителни аномалии. В същото време, например, основи на стени от варовик, който е практически немагнитен, вкопани в почви с по-високи магнитни свойства, ще предизвикат отрицателна аномалия. Друго благоприятно обстоятелство за прилагането на геомагнитния метод е свойството на глините да повишават магнитната си възприемчивост при нагряване, а когато температурата е над точката на Кюри (за магнетита точката на Кюри е 565°, а за хематита – 675°) (Эйткин 1963), да придобиват и тъй наречената термоостатъчна намагнитеност, която се запазва и след тяхното изстиване. Тази намагнитеност може да е многократно по-висока от индуктивната. Това позволява да се откриват всякакви структури подложени в древността на нагряване (пещи, огнища, останки от опожарени сгради и т. н.). Като цяло, въпреки че промените в земното магнитно поле, свързани с археологически структури, обикновено са незначителни, те успешно могат да бъдат регистрирани със съвременните магнитометри.

Ефективността на метода е най-висока при регистриране на обекти, разположени на дълбочина до 1 м. Затова пък той успешно посреща нуждите от покриване на големи площи за минимално време. С последните модели уреди, в зависимост от гъстотата на измерване, за един ден могат да бъдат проучени от 4-5 до 20-30 дка при гъстота от 8 до 16 измервания на кв. м. С геомагнитния метод могат успешно да бъдат локализирани ровове, гробни и култови ями, керамични и металургични пещи, огнища, струпвания от шлаки, битова и строителна керамика, останки от кирпичени

12 Dearing *et. al.* (1996) разглеждат общо осем процеса, водещи до повишаване на магнитната възприемчивост на почвите, като според тях влиянието им е различно в зависимост от конкретните условия на образуването им.

сгради, останки от опожарени глинобитни или каменни постройки, каменни или тухлени стени, негативи от основи на стени, железни предмети.

Първите магнитометри използвани в археологията са протонните. Те доказват своята ефективност още през 50-те и 60-те години на миналия век. Работата им се основава на магнитните свойства на атомите на водорода и веществата богати с такива атоми. Тези инструменти измерват тоталния вектор на земното магнитно поле. Точността им от порядъка на 1 nT. По-често в археологията се използват протонните градиометри, които измерват вертикалния градиент (dT) на магнитното поле чрез два разположени на различна височина сензора. По този начин, от една страна, се елиминират естествените вариации на земното магнитно поле и, от друга, се минимизира влиянието на по-дълбоко залягащите геоложки структури. През последните две десетилетия на XX век протонните магнитометри бяха напълно изместени от т. нар. „флуксгейт" или „ферозондови" магнитометри, които притежават точност до 0.1-0.05 nT. Тези инструменти не могат да измерват абсолютната стойност на земното магнитно поле и затова се използват само в градиометрична конфигурация (фиг. II.1.2.1). Освен тях много широко приложение намират магнитометрите, наричани най-често оптично-абсорбционни (други използвани термини са цезиеви, рубидиеви, калиеви, квантови, алкално-парови и т. н.). Тези магнитометри са по-скъпи от ферозондовите, но притежават по-висока чувствителност (до 0.01-0.005 nT) и скорост на измерване. Последната новост в областта са „криогенните" или SQUID (от Superconducting Quantum Interference Device) магнитометри, които са базирани на свойствата на суперпроводниците в условията на температури близки до абсолютната нула (Dobrin, Savit **1988, 668;** Linzen *et. al.* 2007). Тези уреди се отличават с много висока скорост на измерване, съчетана с много висока точност – до 10^{-6} nT.



Фиг. II.1.2.1. Измерване с флуксгейт градиометър.

Най-важните пречещи фактори, влияещи върху възможността за извършване на измерванията и качеството на получените данни е наличието на железни обекти и източници на електромагнитни вълни: железни огради, въздушни и подземни кабели, ж. п. линии за електрически влакове, превозни средства, сгради, тръбопроводи и т. н. Магнитопроучването в границите на съвременни населени места обикновено се сблъсква с непреодолими трудности. Дълбоките бразди в земеделски площи изорани с тежки трактори могат да предизвикат теренни аномалии, които да замаскират тези, представляващи археологически интерес. Повърхностните геоложки условия трябва

също задължително да бъдат вземани предвид. Значителни усложнения могат да възникнат при наличие на плитко разположени магмени или силно метаморфозирани скали. Лъжливи аномалии могат да бъдат предизвикани от особености в характеристиките на някои почви. Те, например, може да съдържат пояси с пясъци или чакъли с повишено съдържание на железни окиси, които да предизвикат линейни аномалии подобни на тези от някои археологически обекти.

II.1.3. Електромагнитни методи.

Тези методи се базират на излъчване на електромагнитна вълна чрез една предавателна антена и регистриране на отразения сигнал от друга, приемна антена. Двете антени могат да са отделени на известно разстояние една от друга, или да са монтирани в едно общо тяло. Уредите работещи на електромагнитен принцип биват два вида – нискочестотни и високочестотни

Нискочестотните електромагнитни уреди[13] работят с честоти от порядъка на няколко хиляди херца (от 3-4 до 15-20 kHZ). Чрез една предавателна намотка, през която протича променлив електрически ток се създава магнитно поле. Това магнитно поле прониква в земната повърхност. Там, действайки като един трансформатор, предизвиква протичането на електрически ток чрез проводящите йони в почвата. Колкото е по-голямо съдържанието на такива токови носители, толкова ще е по-голяма силата на тока. Този електрически ток генерира вторично магнитно поле, което се регистрира от една втора намотка на измерителния уред. При това синфазния сигнал е пропорционален на магнитната възприемчивост на средата, докато дефазирания сигнал съответства на електропроводимостта на средата. Въпреки, че изследванията показват способността на ЕМ инструментите да регистрират археологически структури, методът не е получил широко приложение. Тъй като не е нужен контакт със земната повърхност методът осигурява висока скорост на измерване с едновременното регистриране на магнитната възприемчивост и проводимостта. За разлика от повечето геофизични методи електромагнитния сигнал може да се влияе силно от промените във физичните свойства на почвата и близките геоложки пластове, поради което е нужно калибрирането на уреда, за да се получат коректни данни. Освен това ЕМ уредите се влияят силно от електрически смутители, като електрически проводници или атмосферни източници. Ефективната дълбочина на проучване зависи от разстоянието между предавателя и приемника, въпреки че ориентацията им позволява и при фиксирано разстояние да се променя дълбочинността, като при хоризонтална ориентация тя е по-малка, а при вертикална – по-голяма. Работната честота, в зависимост от характеристиките на средата, също може да влияе върху дълбочината на проучване. Някои сравнителни изследвания показват добро съответствие между измерванията с ЕМ уредите и тези с двуелектродна схема при съпротивителното проучване и флуксгейт градиометрия. В същото време, някои комбинации между характеристики на средата, ориентация на намотките и работна честота може да доведат до усложняване на сигнала, който не е пропорционален на нито една от изследваните физически величини. Скоростта на проучване е съизмерима с тази при електросъпротивителните проучвания с двуелектродна схема.

---

13 Известни са още като „slingram" (при който антените са разположени хоризонтално в една равнина) или, по-общо, кондуктивиметри и включват всички уреди работещи с електромагнитни вълни с честота по-малка от 300 kHz.

Типични представители на нискочестотните уреди са серията на Geonics Ltd. - EM15 (работна честота 16 kHz), EM31 (9.8 kHz) и EM38 (14.6 kHz) (фиг. II.1.3.1), както и тези на лабораторията в Гарши, Франция (Centre de Recherches Geophysiques, C.N.R.S. Garschy) – SH3 (8 kHZ) и CS150 (4 и 10 kHz) (Aubry *et al*. 2001; Clark 1990, 34-37; Tabbagh 1986a; Tabbagh 1986b; Tabbagh *et al*. 1988). Дълбочинността на повечето от тях е в рамките на първия метър. Нискочестотните електромагнитни апарати могат да се използват за регистриране на обекти, отличаващи се със своята по-висока електропроводимост и магнитна възприемчивост в сравнение с вместващата ги среда, като големи метални предмети, ровове, ями, металургични и керамични пещи. Поради това, че не се нуждаят от контакт с повърхността в процеса на измерването, те може да се окажат подходящи и за изследвания при наличието на много сухи повърхностни отложения, например в пустинни условия, т. е. когато е трудно използването на традиционните геоелектрични методи, които изискват добър галваничен контакт със земната повърхност. За разлика, например от георадарите, те са подходящи за използване при проводящи почви. Използването на нискочестотните електромагнитни уреди, обаче, все още се нуждае от усъвършенстване, както и от оценка на най-добрите условия за приложението им (Aubry *et al*. 2001, 621; Gaffney 2008, 326).



Фиг. II.1.3.1. Измерване с EM 38 на Geonics Ltd.

Един друг вид нискочестотни електромагнитни апарати са измерителите на магнитната възприемчивост (magnetic susceptibility meters), известни у нас с термина капаметри[14]. Всъщност, единственият предлаган на пазара полеви уред е MS2 на фирмата Bartington, Англия (фиг. II.1.3.2). Процедурата на самото измерване е проста. Полевият сензор, предавателно-приемна антена, се допира до земната повърхност и в зависимост от дефазирането на отразения сигнал се определя магнитната възприемчивост на почвата. Дълбочинността на уреда е малка, от порядъка на няколко сантиметра. В същото време, особено при неравен терен и лош контакт на антената със земната повърхност, измерването е бавно. Ето защо, за да се покрият бързо големи площи разстоянието между отделните измервателни точки е от 5 до 20 м. Капаметрите се използват за търсене на места обитавани от хората в древността и поради това придобили повишени стойности на магнитната възприемчивост. През 90-те години на 20-ти век на капаметрите се възлагаха големи надежди за получаване на информация в етапа на предварително търсене на археологически обекти в случаите, когато

14 от гръцката буква ***κ***, използвана за означаване на магнитната възприемчивост

е възпрепятствано успешното провеждане на стандартните теренни наблюдения[15]. Особено широко беше използването им в Англия и Северна Америка. В последно време ползата от тях е в процес на преоценка, като често използването им се ограничава само до терени, където основните геофизични методи по една или друга причина са неприложими (Gaffney 2008, 328).

Полевите измервания обикновено се правят стъпка от 10 м. При тези проучвания трябва да се имат предвид наличието на евентуални маскиращи наслаги, съвременното третиране на терена и условията, които затруднят контакта между антената и земната повърхност. Обикновено е нужно покриването на много големи площи за да може да се направи надеждно сравнение и да се отделят аномалиите причинени от естествената промяна на геоложки и почвени формации от тези с антропогенен произход. Даже и при идеални условия магнитната възприемчивост може само да индикира възможна човешка дейност в древността, без да бъде категорична в това отношение или да регистрира археологически структури. Така че, резултатите от изследването на магнитната възприемчивост не могат сами за себе си да бъдат параметър за оценка за човешко присъствие в древността. Много по-голямото влияние на почвените условия и маскиращи алувиални наслаги може да предизвикат както положителни, така и отрицателни аномалии и като следствие – нуждата от допълнително геомагнитно проучване.



Фиг. II.1.3.2. Измерване с капаметър MS 2 на Bartington (по Gaffney, Gater 2003, col. pl. 10).

Към групата на уредите работещи с нискочестотни електромагнитни вълни трябва да прибавим и металотърсачите. Те, обаче, могат да бъдат използвани не за търсене и проучване на археологически обекти, а за откриване на отделни артефакти. Тъй като това рядко е основната цел на археологическите проучвания, тук не е мястото да разглеждаме по-обстойно тяхното приложение. Под археологически контрол металотърсачите могат да бъдат полезни при откриване на метални предмети, особено на тези с малки размери, като монети или накити. В това отношение използването

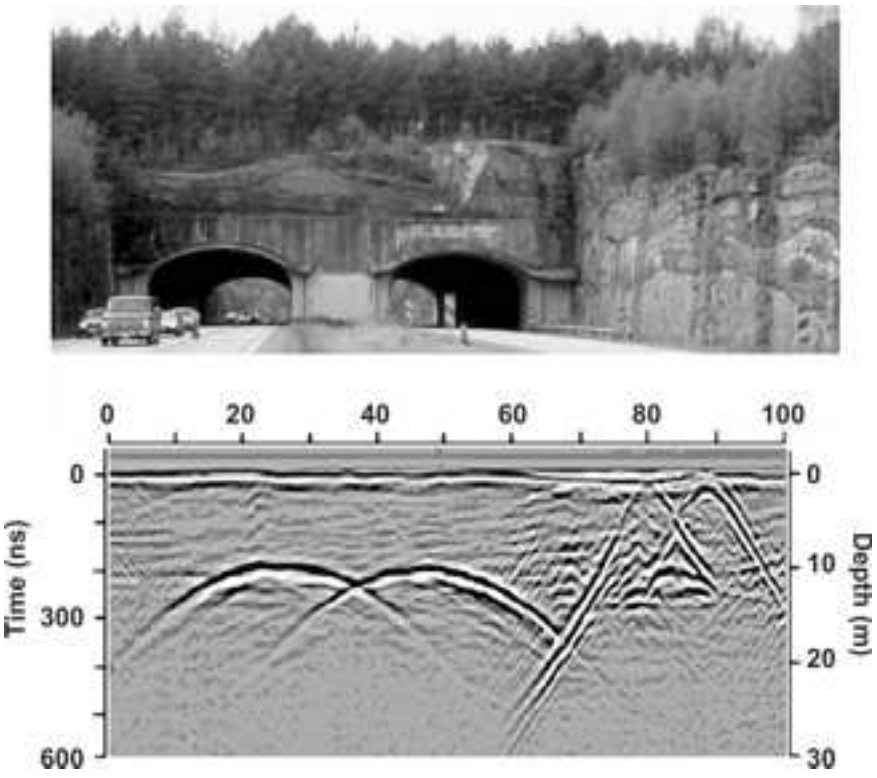
15 Например в затревени площи, които отдавна или никога не са били обработвани и вследствие на това е невъзможно откриването на терена на керамика или други следи от човешко присъствие.

им може да се окаже особено удачно при извършването на спасителни разкопки, когато археолозите са притиснати от липсата на време и средства. В миналото металотърсачите имаха своето място и при почистването от железни отпадъци на площите подлежащи на магнитопроучване, но съвременните компютърни програми позволяват пречещият им сигнал да бъде автоматично филтриран.

Високочестотни електромагнитни уреди – георадари.

Може би най-важното техническо нововъведение за проучване на археологически обекти от последните десетилетия на 20-ти век е георадарът (GPR – от ground probing radar)[16]. Използван в подходящи условия той може да демонстрира много висока разделителна способност и дълбочинност. Все още ограниченото му използване в археологията се дължи на ниската скорост на полевите измервания, особено сравнена с магнитометрията, високата цена на оборудването и сложната процедура за обработка на данните, изискваща много висока степен на специализация.

Георадарът е проучвателна система, която използва високочестотни електромагнитни вълни. Уредът изпраща чрез една предавателна антена кратковременни електромагнитни импулси в земната повърхност. Честотата на вълната е от няколко десетки до няколко стотици, и даже повече MHz. Аномалните отклонения в електрическите свойства на средата са причина част от електромагнитната енергия да бъде отразена обратно към земната повърхност, където се регистрира и усилва от една приемна антена. Полученият сигнал се записва със своята амплитуда и фазово отместване като функция на времето за отиване и връщане и като резултат се получава вертикален разрез по измерената профилна линия (фиг. II.1.3.3.).



16 Технически, терминът се прилага за всички УКВ уреди, излъчващи електромагнитни вълни с честоти от 30 MHz до 12.4 GHz, използвани за проучване в среди различни от въздуха (Jones 2008, 28). Тези уреди имат много широко поле на приложение – от геоморфологията до изследване качеството на различни материали. Тук ще разглеждаме само онези, намиращи приложение в археологията.

Фиг. II.1.3.3. Георадарен разрез получен със система работеща на 50 MHz над два пътни тунела. Амплитудата на регистрирания сигнал е представена като функция на позицията (хоризонталната ос) и времето за отиване и връщане (вертикалната ос) (по Аппап, A. 2009: 5, fig. 1.2).

Електромагнитните вълни се разпространяват във въздуха със скоростта на светлината (c = 3.10^8 m/s или 0.3 m/ns). В земята скоростта на електромагнитните вълни (ν) е различна, тъй като зависи от относителната диелектрична възприемчивост (ε_r), относителната магнитна проницаемост (μ_r), електрическата проводимост (σ) и честотата на вълната (f).

$$\nu = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r . \mu_r \frac{1+\sqrt{1+(\sigma / 2\pi . f . \varepsilon_r)^2}}{2}}} \qquad \text{(II.1.3.1)}$$

Тъй като $\sigma/2\pi.f.\mathsf{e}_r$ е приблизително равно на 0, в немагнитни среди (μ_r=1), каквито са земните наслаги (Møller 2006, 99), скоростта на електромагнитната вълна се свежда до израза:

$$\nu = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} \text{ [m/s]} \qquad \text{(II.1.3.2)}$$

Оттук, дължината на вълната е:

$$\lambda = \frac{\nu}{f} = \frac{c}{f . \sqrt{\varepsilon_r}} \text{ [m]} \qquad \text{(II.1.3.3)}$$

Тъй като ε_r във всички други среди е по-голяма от 1, уравнение (II.1.3.2) показва, че скоростта на електромагнитните вълни проникващи в земята е по-ниска от тази във въздуха. В тъй наречените среди с малки загуби на енергия, каквито са тези с високо електрическо съпротивление, максималното понижение е девет пъти, т. е. това е скоростта на електромагнитната вълна в прясна вода (0.033 m/ns).

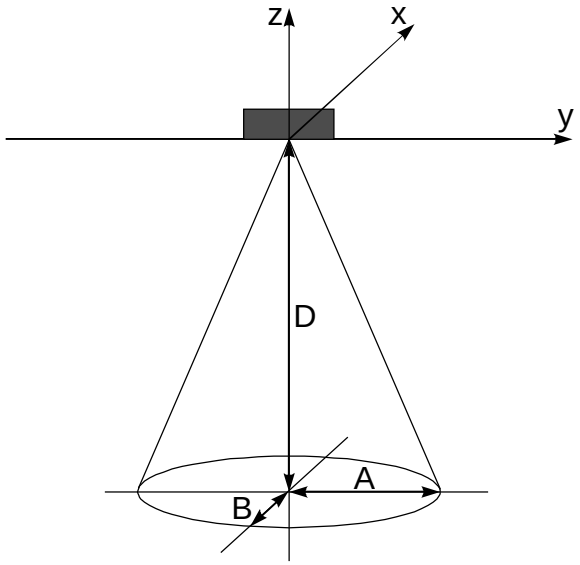
Разпространението на излъчените от антената електромагнитни вълни не е по права линия, а има формата на конус с елипсовидна основа, която се разширява в дълбочина.

Тази основа е известна с термина „следа" на георадарния сигнал (фиг. II.1.3.4).

$$A = \frac{\lambda}{4} + \frac{D}{\sqrt{\varepsilon_r + 1}} \qquad \text{(II.1.3.4)}$$

$B = A/2$ (7)

Където A е големият радиус на елипсата, B е малкият радиус, а D е дълбочината. Това е причината да се получава отразен сигнал не само от обекти, които са точно под георадара, но и от такива, които са на известно разстояние встрани от линията на проучване.



Фиг. II.1.3.4. Форма на георадарния сигнал.

Дълбочинността на проучване на георадара зависи от редица фактори, най-важните от които са разсейването и затихването на сигнала. Разсейването се дължи на отражения от нееднородности с размери от порядъка на дължината на вълната. Колкото е по-висока честота *f* (съответно, по-малка дължината на вълната λ), толкова по-голямо ще е разсейването на енергията, а оттам - по-малка дълбочинността. Затихването на електромагнитния сигнал, е функция на диелектричната възприемчивост ε_r, магнитната проницаемост μ_r и електрическата проводимост σ. Коефициентът на затихване по Annan (Annan 2009, 11) е:

$$\alpha = \frac{\sigma}{2}.\sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}} \text{ [dB/m]} \qquad \text{(II.1.3.5)}$$

Както се вижда от горната формула затихването на сигнала зависи най-вече от проводимостта на почвата. В среди с високо електрическо съпротивление затихването е бавно, докато в проводящи среди като глини или почви с високо съдържание на влага затихването е много бързо, което води до значително намаляване на дълбочинността. Така че, дълбочината на изследване с антена от 100 MHz в условията на глинести наслаги може да бъде сведена до 2-3 метра. Ако тези наслаги са и много овлажнени сигналът може да бъде погълнат още в първите няколко сантиметра, т. е. методът да е въобще неприложим (Schrott, Sass 2008, 57).

Все пак може да дадем максималните дълбочини за различните антени при едни обичайни условия (табл. II.1.3.1).

Честота на антената (MHZ)	Дълбочинност за обичайни почви (m)	Дължина на вълната (λ – в метри) в почва с $\varepsilon_r = 15$	Хоризонтална разрешаваща способност – радиус на зоната на Франел	Максимална вертикална разрешаваща способност - $\lambda/4$ (m)
1000	~1.0	0.08	0.2	0.02
500	~2.0	0.16	0.4	0.04
200	~3.0	0.39	0.8	0.10
100	~5.0	0.77	1.4	0.19
50	~7.0	1.55	2.4	0.39

Таблица II.1.3.1. Приблизителни стойности на основните величини при проучванията с георадар в обичайни почви (по Jones 2008, 31).

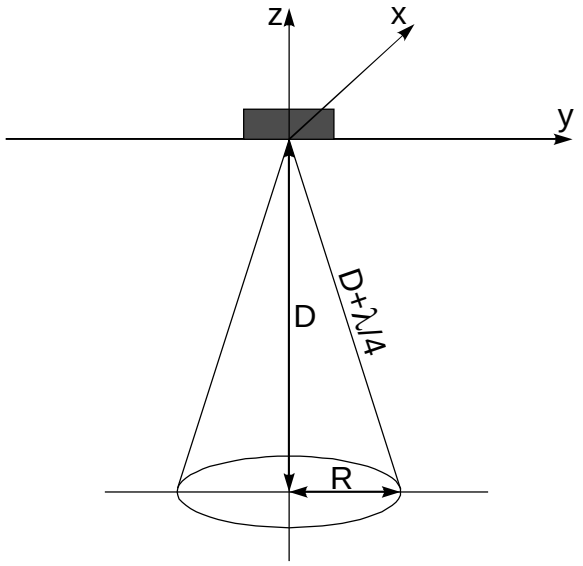
От особено значение за георадарните проучвания е дефинирането на вертикалната и хоризонталната разделителна способност. Вертикалната разделителна способност зависи от дължината на вълната (т. е. от работната честота на излъчвания сигнал от антената и скоростта на разпространение на вълната в дадената среда - $\lambda=v/f$). Това означава, че при среди с по-ниски скорости на разпространение на електромагнитите вълни вертикалната разрешаваща способност ще е по-висока. Теоретично, за да могат въобще да бъдат отделени две отразяващи граници те трябва да са на разстояние поне ¼ от дължината на вълната. Практически, обаче, това разстояние трябва да е поне ½ λ, а най-добри резултати се получават над 1λ (Gaffney, Gater 2003, 49). За да бъде, обаче, въобще регистрирана една граница, трябва да съществува разлика в относителната диелектрична възприемчивост между двете среди. Тази разлика се определя с коефициента на отражение R:

$$R = \frac{\sqrt{\varepsilon_1} - \sqrt{\varepsilon_2}}{\sqrt{\varepsilon_1} + \sqrt{\varepsilon_2}} \qquad \text{(II.1.3.6)}$$

Счита се, че за да бъде една граница отразяваща коефициентът R трябва да е поголям от 0.1 и следователно относителната диелектрична възприемчивост на втората среда ε_2 трябва да се различава поне с 50% от тази на първата ε_1 (Leckebusch 2001, 12).

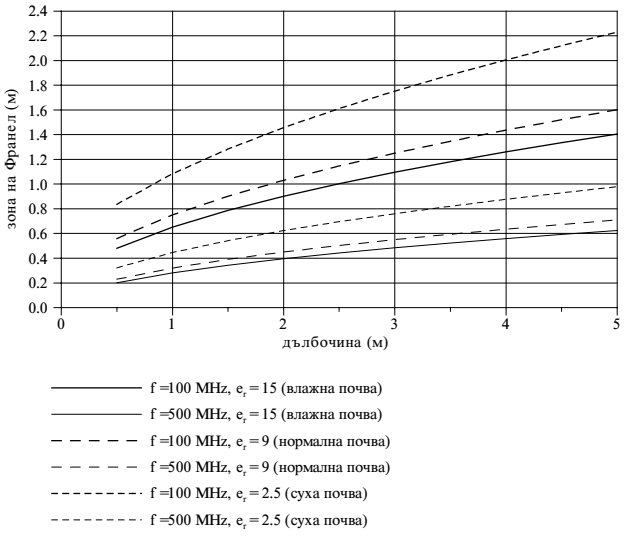
Хоризонталната разделителна способност е друга характеристика, която всъщност е определящата за възможностите на георадарния метод в археологията. Тя се дефинира с тъй-наречената зона на Франел (фиг. II.1.3.5.), която описва минималната площ на обекта, от който може да се получи отражение. Тя има формата на кръг с радиус *r*, който лесно може да се изчисли по формулата:

$$r = \sqrt{\frac{\lambda . D}{2} + \frac{\lambda^2}{16}} \ [m] \qquad \text{(II.1.3.7)}$$



Фиг. II.1.3.5. Зона на Франел (по Sheriff, R. 2002: 154)

Колкото по-голяма е зоната на Франел, толкова по-ниска е хоризонталната разделителна способност. От тук следва, че хоризонталната разделителна способност е правопропорционална на честотата на антената, т. е. колкото е по-висока честота на излъчване – толкова е по-малка зоната на Франел, а следователно е по-висока хоризонтална резолюция. В същото време, с увеличаване на дълбочината разделителната способност намалява (фиг. II.1.3.6).

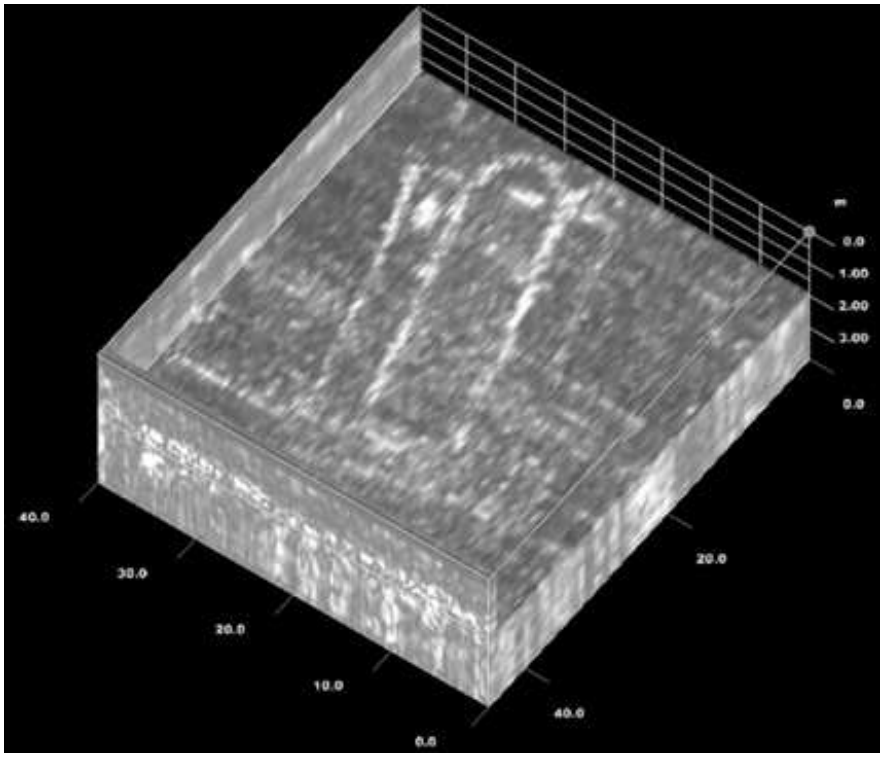


Фиг. II.1.3.6. Криви на зоната на Франел изчислени за различни работни честоти и различни характеристики на средата в зависимост от дълбочината.

Едно друго явление, влияещо върху прилагането на георадарния метод, е тъй-нареченият ефект на близкото поле. При излъчването на електромагнитната вълна антената генерира едно поле с радиус 1½ дължината на вълната, което може да се счита за част самата антена. Следователно, в тази зона технически няма проникване, т. е. от тази зона няма и информация. Ето защо, ако имаме антена с честота 300 MHz

и суха почва с ε_r около 2.5 за първият 1 м от разреза ще липсва каквато и да е информация. Ако почвата е овлажнена и ε_r е около 15 тази зона ще е само около 40 см. Но в този случай затихването ще е толкова голямо, че дълбочината на проучване може да не надхвърля 1 м (Davis, Annan 1989). Ето защо георадарът трябва да се използва в условията на наслаги с ниска електропроводимост и ниско съдържание на влага. За да се осигури висока хоризонтална и вертикална резолюция трябва да се използват антени с по-висока честота – от 200 до 500 и дори 800-900 MHz.

Първите опити с уред, който може да се нарече георадар, са направени в Австрия през 20-те години на миналия век за определяне дебелината на ледници. Тази техника е забравена за дълго време, за да бъде преоткрита през 60-те години от NASA. Само след няколко години георадарите започват да навлизат в инженерногеоложките и хидрогеоложките изследвания (Conyers 2004, 16, 17). Първите опити за използване на георадарите в археологията са от началото на 80-те години на 20-ти век (Imai *et al.* 1987). Тъй като, георадарите излъчват сигнал няколко десетки пъти в секунда, това води до получаването на много голям обем информация. В началните етапи на използването на георадарите този факт е предизвиквал трудности при съхраняването и обработката на тези данни, което, от своя страна, е водело до естествен стремеж към ограничаване обема на измерванията. За щастие развитието на компютърната техника и програмното обезпечение през последните две десетилетия до голяма степен разрешиха този проблем и направиха възможно извършването на по-широко мащабни проучвания. Тези нововъведения позволяват покриването на по-големи площи и представянето на резултатите не само като вертикални разрези, но и като хоризонтални планове за различни дълбочини и тримерни изображения (Leckebusch 2001). Въпреки че георадарните проучвания са по-скъпи от „конвенционалните" (електросъпротивителни и геомагнитни), те предоставят уникална възможност за бърза оценка на дълбочината на залягане на обектите, както и представянето в тримерен вид на погребаните останки, което в редица случаи напълно оправдава вложените средства. Георадари може да се окажат единствените уреди, които могат да се използват в някои по-сложни ситуации: например при проучвания в населени места или в рамките на съществуващи сгради. Много добри перспективи, за съжаление все още недобре изследвани, има пред георадарите и при търсенето на по-дълбоко разположени обекти, например при проучването на могили (Goodman *et al.* 2009).



Фиг. II.1.3.7.Тримерно изображение на георадарни измервания над останки от ранно християнска църква (по Misic, B. 2005: 261, fig. 13).

Всичко това дава основание на георадарите да се залагат големи очаквания, въпреки че опита показва, че те могат да се окажат превъзхождащи останалите развити методи само при подходящи условия. Към това трябва да добавим и това, че поради използването на електромагнитни вълни с много висока енергия, в много страни от Западна Европа и особено в САЩ георадарите са подложени на задължителни лицензионни и ограничителни режими.

II.1.4. Сеизмичен метод.

Методът използва регистрирането на отразените или пречупени от погребани структури изкуствено създадени сеизмични вълни. Физичните основи на сеизмичния метод се базират на различните еластични свойства (скорост на разпространение и вълново съпротивление на сеизмичните вълни) на обектите и вместващата ги среда (Радков 1966, 16).

Сеизмичният метод представлява сърцевината на проучвателната геофизика, но е относително неизползваем за археологически цели (Kvamme 2005).). Ето защо в общите трудове върху археологическата геофизика му се отделят буквално няколко абзаца (Clark 1990; Gaffney, Gater 2003), като даже някои автори го включват в графата “isoteric” (понятни само за просеветените) methods (Linford 2006, 2244).

При сеизмичните проучвания изкуствено създадени еластични вълни се пропускат в дълбочина, като времето за пристигане на отразените и пречупени от граници между среди с различни еластични свойства вълни се регистрира на повърхността. Тези времена се преобразуват в дълбочинни стойности, по които се получават вертикални разрези. Пионер в прилагането на сеизмичните проучвания в археологията е фондация Леричи, Италия, въпреки че някои разглеждат резултатите като спорни

(Clark 1990, 121). В повечето случаи, размерите на търсените археологически обекти са извън възможностите на метода. При наличието на сложни стратиграфски граници интерпретацията на получените резултати може да се окаже невъзможна. Основната пречка пред сеизмичния метод е голямата дължина на вълната генерирана при ударно или взривно възбуждане:

$$\lambda = \frac{v}{f} \qquad \text{(II.1.4.1)}$$

където
λ е дължината на вълната в метри
v е скоростта на вълната в m/s
f е честотата на вълната в Hz (s^{-1})

Като знаем, че при генериране на сеизмична вълна с взрив или удар честота й е от няколко десетки до 200-300 Hz, а максималната й скорост в обичайните повърхностни наслаги е 800-1200 m/s (Боганик, Гурвич 2006, 126, 118), можем да пресметнем, че дължината на вълната е между 4 и 24 м, т. е. това са минималните размери на обект, който може да бъде регистриран, което е далеч извън изискванията на археологията[17]. Пресмятайки по-подобен начин, за да получим отражение от обект с размери от порядъка на 1 м, честота на сеизмичната вълна трябва да е няколко хиляди Hz. Карабели (Carabelli 1955) изпробва ултразвукови вълни с честота от 30 kHz до 90 kHz, надявайки се да получи отражение от стените на етруска гробница, но резултатите са незадоволителни.

Изглежда, че методът на пречупените вълни е по-подходящ за изследване на археологически структури. Той може да се окаже полезен при изследване на малки площи и при решаване на конкретни задачи. Успешно е приложението му при отделяне на големи дълбоко залягащи структури като древни ровове и канали (Karastathis, Papamarinopoulos 1997; Karastathis *et al.* 2001). Напоследък има докладвани добри резултати с използването на ултра-плитките отразени вълни (Hildebrand *et al*. 2007).

II.1.5. Акустични методи.

Базират се на регистрирането на отразени изкуствено създадени звукови вълни с честота от порядъка на няколкостотин kHz. Уредите работещи на този принцип са известни с общия термин – сонари, или с по-конкретния –сонари със страничен обзор. Прилагат се само при подводните проучвания за изследване релефа на морското дъно или за търсене на потънали кораби или други обекти (Blake 1995 и цит. лит.; Sheriff 2002, 318). Като принцип на приложение сонарите наподобяват метода на отразените вълни в сеизмопроучването. Тъй като не е типичен геофизичен проучвателен метод, приложението му за археологически цели изисква отделно разглеждане и затова тук няма да му бъде отделено по-специално внимание.

II.1.6. Гравиметричен метод.

Методът се базира на измерването на отклоненията на гравитационното поле

17 Всъщност това е вертикалната разделителна способност. Хоризонталната може да се изчисли, подобно на георадарите, със зоната на Франел (виж формула II.1.3.7) (Боганик, Гурвич 2006, 640).

на земята предизвикани от различия в плътността на погребани структури и вместващата ги среда. Методът е бавен като процес на измерване, а в същото време е свързан с тежки и сложни процедури за обработка на данните. Освен това, като правило, гравитационните аномалии, предизвикани от археологически обекти са толкова слаби, че са на границите на възможностите даже и на най-съвременните лазерни гравиметри. Последните пък, от своя страна, са няколко пъти по-скъпи от най-скъпите от останалите геофизични уреди използвани в археологията. Първите опити за използване на гравиметричния метод за локализиране на археологически структури са извършени от екипа на Фондация Леричи (Linnington 1966) на етруския некропол при Черветъри. За съжаление, поради повреда в използвания гравиметър резултатите от това изследване се оказват неприемливи. Независимо от това, наблюденията на Линигтън относно методиката и техниката на изследване остават напълно валидни. Въпреки че приложението на гравиметричния метод в археологията е ограничено, той може да се използва в някои благоприятни случаи, като например търсенето на подземни каверни или други големи кухини (Fajklewicz *et al*. 1982; Gaffney *et al*. 1991, 6; Yuan *et al*. 2006; Panisova, Pasteka 2009; Batayneh *et al.* 2006).

II.1.7. Геотермичен метод.

Използва измерването на промени в температурата на земната повърхност, предизвикани от погребани структури.

Методът е все още в етап на разработване и оценка на ефективността в областта на археологията. Процесът на директно измерване на температурата на земната повърхността е бавен и, макар и да са докладване успешни изпитания (Bellerby *et al.* 1992), получените данни са трудни за интерпретация (Gaffney *et al.* 1991, 6). Промените в температурата много по-ефективно могат да бъдат регистрирани чрез използването на аерофотография в инфрачервената част от спектъра (обикновено 10.5-12.5 μm) (Clark 1990, 122). Това, обаче, е по-скоро в обхвата на въздушните методи и няма да бъде разглеждано тук.

II.1.8. Радиометрични методи.

Базират се на измерването на аномалии на естествената радиоактивност, предизвикани от археологически структури. Тези методи са в процес на изпитване и имат изключително ограничено използване в археологията. Публикуваните примери, по които може да се съди за възможностите им, са малко и са главно върху изследването на естественото гама излъчване на изотопите на калия, урана и тория (Chiozzi *et al.* 2000; Gautam *et. al.* 2000; Moussa 2001).

II.1.9. Аерофотография.

Към всички изброени по-горе геофизични методи задължително трябва да прибавим и **въздушната и спътниковата фотография**, която, макар и да не е дял от геофизиката, тъй като тя е органична част от процеса на предварително търсене на археологическите обекти.

Значението на аерофотографията е неоценимо. Тя е и първият интердисциплинарен метод за откриване на археологически обекти, използван успешно в Англия още началото на 20-ти век (Parcak 2009, 14). На практика използването на въздушните фотографии представлява процес на разпознаване на обекти по техните геометрични очертания. Тези очертания, скрити под повърхността, могат да бъдат регистрирани

по характера на растителността над тях (растителни индикатори), цвета на почвата (почвени индикатори) или незначителни изменения на релефа (индикатори на осветеността или на сянката). Растителните индикатори са резултат от различните условия, в които се развиват растенията. Така например, тези, които растат над затрупани каменни стени ще изпитват недостиг на влага и, най-вероятно, ще бъдат по-нарядко и с не толкова наситен цвят, отколкото тези растящи при нормални условия. В същото време, растителността над ровове с богат на органични материали пълнеж би трябвало да е много по-гъста и с по-наситен цвят. Почвените индикатори представляват изменения в цвета на почвата, предизвикани от различия в състава й, които най-често се изявяват след прясно разораване. За условията на България много характерен е цветът на заличените при селскостопанска обработка ниски надгробни могили. На въздушните снимки те се открояват много ясно като по-тъмни или по-светли петна (фиг. II.1.8.1). Индикаторите на осветеност са предизвикани от минимални повишения или понижения на терена, които могат да бъдат регистрирани само при определен наклон на слънчевата светлина, т. е. от хвърлената сянка. Съществува и един четвърти тип индикатори. Те могат да бъдат определени като индикатори на разтопяването на снега. При плитко разположени структури е възможно отразената от тях топлина получена от слънцето да предизвика разтопяване на снежната покривка над тях. От друга страна, поради големия наклон на слънчевите лъчи през зимата е възможно осветяването само на едната половина на слабо изразени позитивни релефни форми, а оттам и стопяването само на снега откъм осветената им страна.

Използването на спътниковите изображения вече също има дълга история. Първите спътници, които имат за цел изследване на земната повърхност са американските спътници от програмата LANDSAT и френските SPOT. Разделителната способност на получените изображения обаче е ниска (от порядъка на 10-20 и повече метра) и опитите за използване в археологията са по-скоро обезкуражителни (Kvamme 2005). Първите спътникови снимки с висока резолюция стават достъпни в средата на 90-те години на миналия век. Това са декласифицираните изображения от някои шпионски мисии на двете велики сили – американските Corona и Argon с разделителна способност от 5 до 15 м и от монтираните на руски спътници камери КВР-1000 и ДК-1 с разделителна способност до 1-2 м (Kvamme 2005). Изведените в орбита през 1999 и 2001 година комерсиални спътници IKONOS и QuickBird предлагат изображения с разделителна способност до 70 см, което прави абсолютно възможно използването им за регистриране на археологически обекти (Lasaponara, Masini 2007). От 2007 и 2008 година са в орбита и комерсиални спътници на Digital Globe, снабдени със сензорите WorldView-1 и WorldView-2, които предлагат свободно на пазара спектрални и монохромни изображения с разделителна способност от порядъка на 40-50 см.



Фиг. II.1.8.1. Спътникова снимка на район източно от с. Оризово, общ. Братя Даскалови. Черните кръгове са останки от малки могили заличени от селскостопанската обработка и незабележими на терена. Тъмната линия през средата на снимката най-вероятно е трасето на античния път от Филипопол за пътната станция Ранилум, който е маркиран на терена с ивица от разпръснати камъни. (източник Google Earth ™).

Последните достижения на дистанционните методи са изображенията получени от монтираните на спътници радари и лидари (RADAR - от **Ra**dio **D**etection **A**nd **R**anging и LIDAR – от **Li**ght **D**etection **A**nd **R**anging), които използват предаватели работещи в радиочестотния и светлинния диапазон и регистрират отразения сигнал. Лидарите, които имат много висока разделителна способност (до 3 см) извършват всъщност едно много точно заснемане на релефа на земната повърхност, при което могат да се регистрират и минималните изменения предизвикани от погребани обекти. За разлика от тях максималната разделителна способност на радарите е до 15 м, но те имат преимуществото, че могат да дадат изображение на земната повърхност и при наличието на гъста растителност, а при подходящи условия могат да регистрират и обекти до няколко метра под земята (Parcak 2009, 73-80).

II. 2. МЕТОДИКА НА ГЕОМАГНИТНИТЕ И ЕЛЕКТРОСЪПРОТИВИТЕЛНИ ПРОУЧВАНИЯ НА АРХЕОЛОГИЧЕСКИ ОБЕКТИ.

II. 2. 1. Геомагнитни проучвания.

Геомагнитните изследвания предлагат най-бързо проучване в сравнение с различните други техники и реагира на широк спектър структури резултат на човешката дейност в древността. Ето защо това е първата техника, която би трябвало да бъде избрана за детайлни проучвания на площта, като другите по-бавни техники обикновено се използват в последствие на по-малки площи представляващи интерес, които са определени от широките геомагнитни измервания. Геомагнитните измервания могат да регистрира структури подложени на нагряване като пещи и огнища и про-

изводствени участъци, както и ями и ровове. Освен в случаите, когато са изградени от силно магнитни материали, магнитометри по-слабо регистрират основи на стени и в този случай може да се комбинира с електросъпротивителни проучвания.

II. 2.1.1. Апаратура.

Основния уред на геомагнитното проучване е флуксгейт градиометърът. Този инструмент съчетава точност от порядъка на 0.1 nT с лека конструкция и голяма скорост на измерване. Все по популярни стават и оптично-абсорбционните магнитометри. Те притежават чувствителност до 0.05-0.01 nT и имат подобна скорост на измерване. Главната разлика между двата типа магнитометри е, че оптично-абсорбционните магнитометри измерват абсолютната стойност на земното магнитно поле, докато флуксгейт магнитометрите работят само в градиентометричен режим като измерват разликата във вертикалната компонента Z на земното магнитно поле между два разположени един над друг сензора. За да се елиминира автоматично дневните вариации и регионалния „фон" е нужно алкално-абсорбционните магнитометри също да се използват в градиометрична конфигурация. В противен случай се налага полуавтоматичното им отстраняване, което води както до ниска производителност на измерванията, така и до бавно получаване на окончателните резултати. По принцип оптично-абсорбционните магнитометри имат по-висока чувствителност, но обикновено е необходимо да се монтират на някаква платформа или количка, за да се намалят случайните грешки и така да се използват всичките им преимущества. Практически, при едни обичайни условия, разлика между двата типа инструменти в способността им да регистрират археологически структури е сравнително минимална, като принципното изискване е уредите да притежават точност от порядъка на 0.3 nT или по-добра (Jones 2008, 21). По-високата точност на оптично-абсорбционните магнитометри обикновено е ограничена от смущенията, предизвикани от самия състав на почвата. Съществуват и други магнитометри, протонни и оувърхаузър, чието използване в археологията е маргинално.

За извършване на измерванията докладвани в настоящото изследване е използван флуксгейт градиометър Grad 601-1 на английската фирма Bartington Instruments. Всъщност, в момента на световния пазар се предлагат само три флуксгейт градиометъра, които могат да бъдат използвани за археологически цели. Това са горепосоченият, FM256 на Geoscan Research, Англия и Ferex на Foerster Group, Германия. И трите уреда са с приблизително еднакви характеристики – точност, стабилност и т. н. Различават се единствено по разстоянието между вертикално разположените сензори. При Grad 601 то е 1 м, при FM256 – 0.5 м и при Ferex – 0.4, 0.65 и 1.6 м.

Максималната ефективна резолюция на Grad 601 е между 0.03 и 0.1 nT, в зависимост от избрания обхват. Уредът може да работи както в проучвателен, така и в сканиращ режим. При проучвателният режим може да се използва както ръчно, така и автоматично измерване с регулируема скорост на измерване, позволяваща взимане на отчети до осем точки на метър.

II. 2.1.2. Мрежа на измерване.

Предвидената за проучване площ се разделя на квадрати с размери 10x10, 20x20, 30x30, 40x40, 50x50 или 100x100 м, които, всъщност, са заложените от производителя на съответния уред. Обикновено най-удачно е използването на квадрати със страна

20 м. Това не изключва в гранични участъци да се измерват и площи с правоъгълна форма с различни размери. Ориентацията на измервателната мрежа обикновено е по посоките на света (каквато е нормалната ориентация на план-квадратната мрежа при археологическите разкопки) с профили юг-север, но в Grad 601 апаратурно е заложена възможността и за друга ориентация – през 45º.

Измерванията по профилите могат да се извършват по успоредни или зигзаговидни линии. Обикновено измерванията се правят по профилите по зигзаговидна схема, с която площното покриване е най-бързо. При тази схема може да се получи, обаче, разминаване на точките по профилите, особено, когато магнитометърът не се държи стабилно или при неравномерно движение по профилите. Особено често това се случва, когато измерванията се правят нагоре-надолу по склон. Това се изразява, в крайна сметка, в едно начупване перпендикулярно на линията на профилите във формата на рибена кост. Чрез компютърна обработка, този ефект може да се заглади, но при всички случаи това може да доведе до понижаване качеството на изходните данни.

II. 2.1.3. Обработка на данните.

Обработката на измерванията от геомагнитните проучвания се налага за отстраняване пречещото влияние на различни фактори, коригиране на грешки на оператора и елиминиране на апаратурния дрейф. По този начин се подобрява качеството на получените данни и се избягва възможността за пропускане на слаби аномалии, каквито са тези предизвикани от археологическите структури. За извършване на тази обработка обикновено се използват специализирани програми като ArcheoSurveyor на DW Consulting[18], която е използвана в случая, или Geoplot на Geoscan Research[19].

а) Отстраняване на пречещото влияние на близко разположени до повърхността големи съвременни железни предмети (Clipping).

Този процес се използва за отстраняване на екстремално високи измерени стойности, които могат да „замъглят" по-финитe детайли от интересуващи ни археологически структури. Тези измервания могат да се отстранят като се зададат абсолютните стойности в рамките, на които трябва да се вместят или като части от стандартното отклонение. Разбира се, при използването на тази процедура трябва да се внимава да не се зададат прекалено ниски стойности и заедно с „шумовете" да се отстрани и полезен „сигнал" от археологически структури с високи магнитни показатели.

б) Коригиране на измерванията за неточности от неравномерното движение на оператора по измервателните профили (DeStagger).

Преди започване на измерванията магнитометърът се настройва да прави отчети през определен интервал, като позицията по профилите за всеки отчет се изчислява като се предполага, че оператора се движи с постоянна скорост. Това, обаче, рядко е така, особено при движение по неравна повърхност, което води до изместване на сензора от предполагаемата му точна позиция. Резултатът е много отчетлив над линейни структури при измерване по зигзаговидна схема, при което аномалните стойности се разполагат шахматно по дължината на структурата. Този ефект се отстранява с операцията DeStagger, която всъщност представлява взаимната корелация на съседните профили, чрез изместване на измервателните точки по тях с няколко

18 http://www.dwconsulting.nl/archeosurveyor.html

19 http://www.geoscan-research.co.uk/page9.html

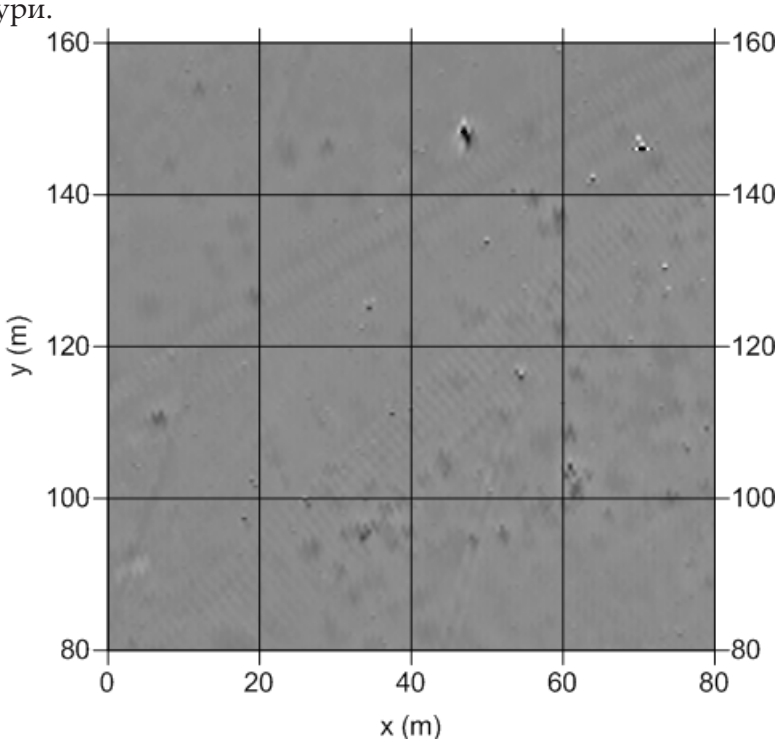
позиции.

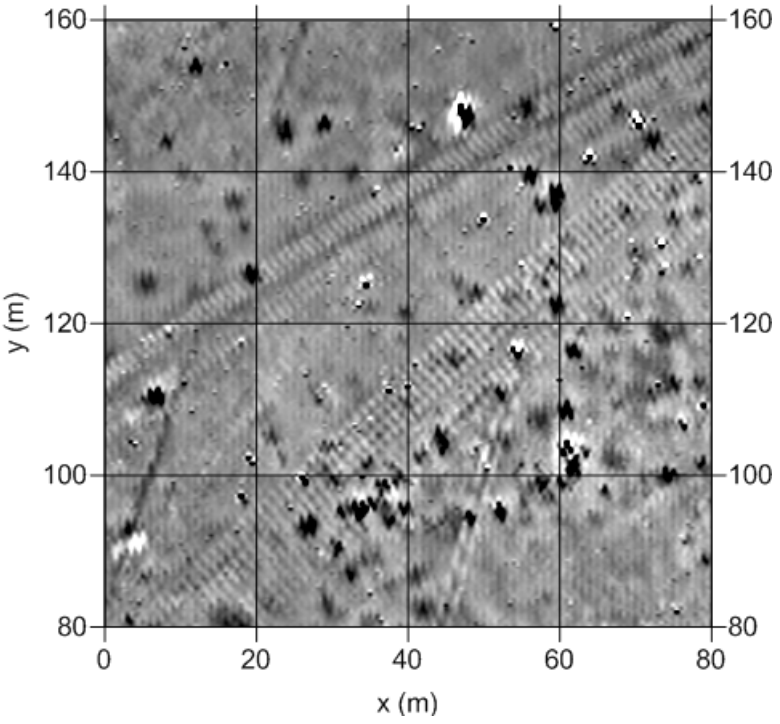
в) Коригиране на измерванията за грешки при нивелиране на уреда и за неутрализиране на теренния ефект (DeStripe).

При движението си по профилите операторът много често не може да държи уреда строго вертикално или точно ориентиран по зададената посока. Това се отразява при представянето на данните от измерванията в редуването на по-светли и по-тъмни линии съвпадащи с линията на профилите, което всъщност означава, че е внесена една постоянна грешка с положителен знак при движение в едната посока и, съответно, с отрицателен – в обратната посока. Така че процесът DeStripe представлява всъщност изваждане на една константна стойност, за да се получи средно аритметичен отчет по профила равен на нула или на друга стойност обща за всички профили. Този процес автоматично премахва и плавния температурен дрейф в течение на самото измерване, който се наблюдава при повечето магнитометри. При прилагането на този процес трябва да се внимава да не се елиминират аномалиите от линейни структури, които съвпадат с посоката на измервателните профили. Разбира се, това може да се случи единствено, ако тези аномалии са със стойности съизмерими с отклоненията, които трябва да се коригират.

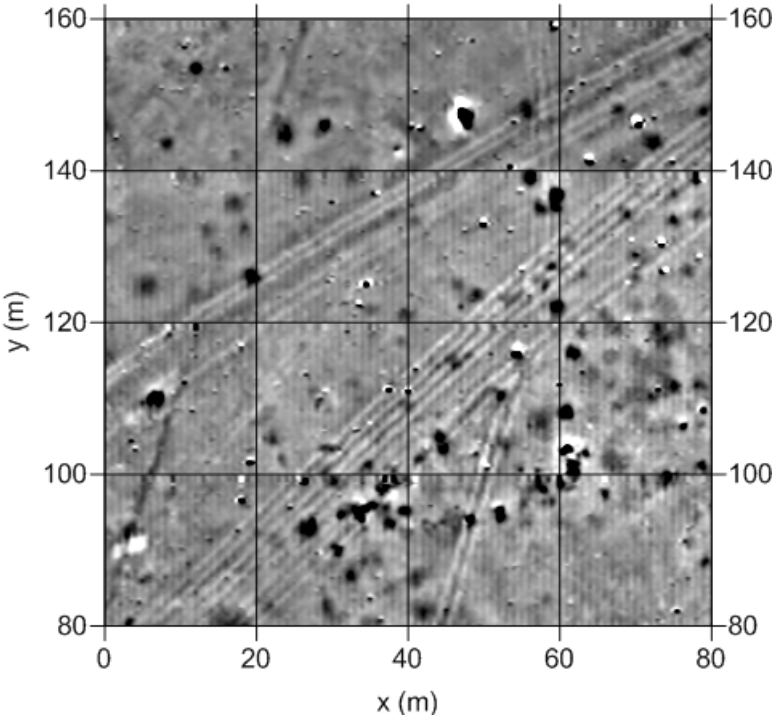
г) Елиминиране влиянието на близко разположени до повърхността малки железни предмети (Low Pass Filter, ниско честотен филтър).

Наличието на малки железни предмети в повърхностния слой е много често явление при терените, които редовно са подложени на селскостопанска обработка или са в близост с населени места. Този факт се изразява при представянето на резултатите от геомагнитните проучвания в редуването на многобройни положителни и отрицателни аномалии с малки размери. Процесът на тяхното елиминиране представлява едно осредняване на измерените стойности в кръг с предварително зададен радиус. Той също трябва да се прилага много внимателно, така че заедно с пречещите високочестотни „шумове" да не се отстрани полезния сигнал от археологически структури.

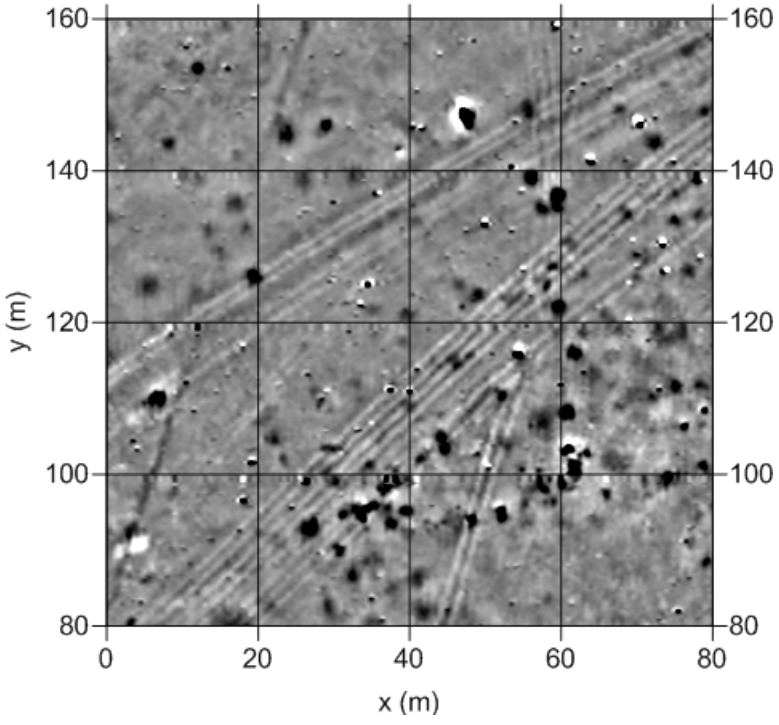



160
140
120
100
80
y (m)
0
20
40
60
80
x (m)

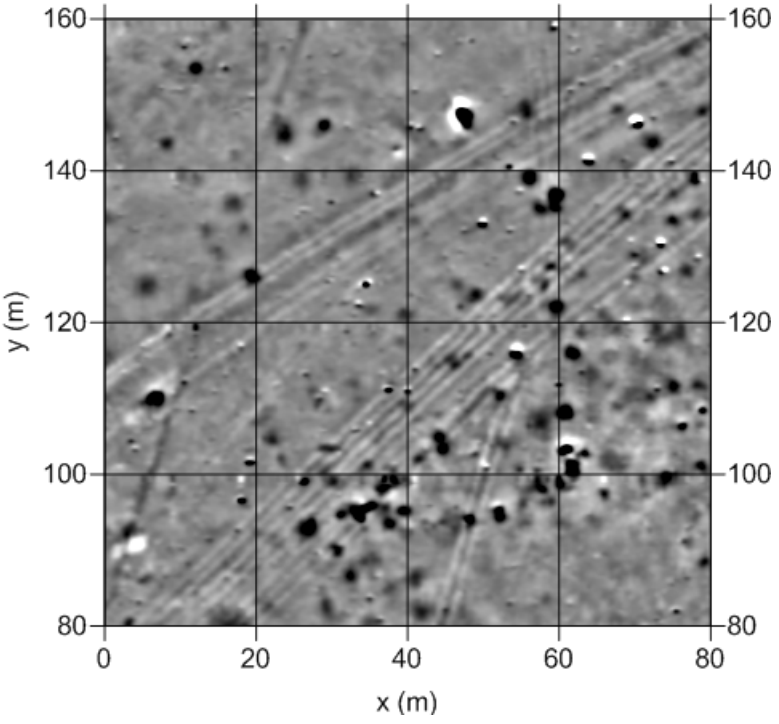
а)


160
140
120
100
80
y (m)
0
20
40
60
80
x (m)

б)



в)



г)

Фиг. II. 2.1.2.1. Халка бунар. Карти на измерения вертикален градиент на магнитното поле и след прилагане на процедурите (а) Clipping, (б) DeStagger, (в) DeStripe и (г) Low Pass Filter.

II. 2. 2. Електросъпротивителни измервания.

Степента на използване на електросъпротивителния метод е ограничена от

нуждата от галваничен контакт между електродите и земната повърхност. Някои нововъведения, като монтирането на електродите на фиксирана рамка както и автоматичното измерване и запис на данните в паметта на уреда до голяма степен ускоряват процеса. Все пак скоростта на измерване е в пъти по-ниска от тази на магнитометрите, което влияе на цената на проучването. Затова е много важно електросъпротивителните измервания да се извършват в условия, при които преимуществата на метода ще бъдат използвани най-пълно. Обикновено те се предпочитат в условия на силни магнитни смущения, когато магнитният метод е неприложим. Също така, електросъпротивителните измервания са водещи, когато се очаква наличието на основи на стени или въобще на структури изградени от материал, чиято магнитна възприемчивост се различава слабо от тази на вместващите ги наслаги.

Геомагнитните и електросъпротивителни проучвания взаимно се допълват, затова когато се проучват големи площи е добре да се направи едно пълно предварително магнитно измерване, последвано от електросъпротивително на по-малки участъци, където има данни, че съществуват останки от постройки.

II. 2. 2.1. Избор на схема.

При картиращите електросъпротивителни проучвания най-предпочитана е двуелектродната схема (twin-probe array). Използвайки тази схема, може да се регистрира голямо разнообразие от археологически структури, като формата на аномалията е сравнително слабо зависима от ориентацията й. Тъй като дълбочината до очакваните структури обикновено не се знае предварително използването на 0.5 м или 1 м между електродите е съвсем приемливо. Стъпката по профилите обикновено е 0.5 м, при разстояние между тях – 1 м. Едната от двойките електроди е разположена на фиксирано място, условно прието, че е в безкрайността, докато другата двойка е подвижна и всъщност чрез нея се извършват измерванията (виж фиг. II.1.1.3). Отдалечените електроди обикновено са на разстояние от 15 до 30 пъти по-голямо от разстоянието между двата измервателни електрода. В процеса на работата тези електроди трябва да се преместват, за да може проучването да продължи. При това трябва да се нормализират измерванията направени със старата и новата позиция на отдалечените електроди, за да няма прекъсване в измерените данни. Нуждата от нормализация може да бъде минимизирана чрез увеличаване на разстоянието между самите фиксирани електроди. Простите математически изчисления показват (виж формула (II.1.1.2), че ако разстоянието до отдалечената двойка е поне 30 пъти разстоянието между подвижните електроди, промяната на това разстояние от най-близката до най-далечната точка на измерване ще предизвика грешка по-малка от 3%, която за електросъпротивителните проучвания е съвсем приемлива. Така разделени на талкова голямо разстояние, ориентацията на електродните двойки не е от значение, а в същото време се подобрява дълбочинността, защото токът протича от захранващите електроди почти радиално. За да се постигне дълбочинност като на една обичайна конфигурация, например Венер, е нужно разстоянието да е наполовина по-малко. Така с разстояние 0.5 м между двойките електроди двуелектродната схема се е чувствителна към структури разположени толкова дълбоко, колкото е схема Венер с 1 м разстояние между електродите. При това, в този случай, двуелектродната схема е и с два пъти по-добра хоризонтална резолюция. Такава компактна схема води до използването на рамка, на която в долния край са монтирани подвижните електроди, а в горния – измерителния уред.

Недостатъците на двуелектродната схема са лесно предвидими. Разстояние между токовите електроди е толкова голямо, че може да се предполага едно голямо влияние на по-дълбоко залягащи геоложки структури. Всъщност, наистина този ефект често се отразява във високото фоново ниво на измереното съпротивление. Това отражение, обаче, може да се пренебрегне, защото неговото изменение е несравнимо по-плавно в сравнение с това от археологическите структури, защото геоложките структури лежат в плоската и нечувствителна част на потенциалния градиент, докато археологическите въздействат на най-стръмната част от градиента в близост до токовите електроди (Clark 1990, 46).

Удобството, скоростта и практическата ефективност превъзхождат повечето от недостатъците на двуелектродната схема и затова тя е станала най-предпочитания съпротивителен метод в археологията.

Както бе посочено вече, двуелектродната схема е подходяща, когато се проучват структури разположени на малка дълбочина (в рамките на първите няколко десетки сантиметра). Опитът за повишаване на дълбочинността, чрез увеличаване на разстоянието между подвижната двойка електроди, води до намаляване на хоризонталната резолюция. Затова при търсене на по-голяма дълбочинност, особено в случаите на провеждане на измервания по метода на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране е удачно използването на други стандартни схеми.

Диполна схема

Основната особеност на диполната схема е, че тя е най-чувствителна между електродите B и N, защото N прави измервания в най-стръмната част на градиента в близост до B, докато чувствителността на M е много ниска поради отдалечеността му от A. Ето защо чувствителността на тази схема се концентрира между B и N, като в резултат измерената крива е проста и ясна. Недостатъкът е, че поради това, че електродите са близко един до друг, проникването на тока е ограничено и дълбочинността е около една трета от тази на схемата Венер. В крайна сметка, диполната схема може да се използва в много специфични случаи при наличие на плитки структури. Трябва да се отбележи, че схемата е много чувствителна към грешки в разстоянието между електродите и повърхностни нееднородности (Zhou, Dahlin 2003). Освен това увеличаването на разстоянието между диполите над шест пъти в реални условия води до много ниско отношение на полезния сигнал към смущенията (Dahlin , Zhou 2004).

Венер-Шлюмберже

Класическата схема Венер-Шлюмберже е една от най-широко използваните за вертикално електрическо сондиране. Тази схема е еднакво чувствителна както към вертикални така и към хоризонтални структури. Където се среща комбинация от такива структури, схемата може да се окаже един добър компромис между стандартната схема Венер и диполната.

Триелектродна схема

Както и диполната схема, триелектродната има много добро хоризонтално покритие, но за разлика от първата има много по-добро съотношение сигнал-шум. За разлика от симетричните схеми като Венер и Венер-Шлюмберже, схемата е асиметрична и дава изместване на аномалията на съпротивлението. Основният недостатък на схемата е използването на отдалече електрод, което ограничава използването ѝ до места с наличен достъп. Това е един практически проблем, който не е за пренебрегване. Разпъването и събирането на кабела може да отнеме доста време. Освен това дългите кабели към отдалечения токов електрод са много чувствителни към външни

смущения (Dahlin , Zhou 2004). Понякога тази схема даже не се предлага за разглеждане на възможностите точно заради наличието на отдалечен електрод .

Някои автори смятат, че при оценка на възможностите на отделните схеми трябва да се залагат различни нива на естествените смущения и грешка на измерване (Dahlin, Loke 1997). Изследванията показват, че най-ниското отношение на полезния сигнал към смущенията показват диполната и триелектродната схема (Zhou , Dahlin 2003).

II. 2.2.2. Апаратура.

Както бе споменато по-горе уредите използвани при електросъпротивителните проучвания са известни като резистивиметри или тераметри. Въпросът за избор на подходящ уред, който да бъде използван за археологически цели, изглежда елементарен, но всъщност не е толкова лека задача. Единственият наличен на пазара резистивиметър предназначен специално за използване в археологията е RM15 на Geoscan Research[20]. Той поддържа само двуелектродна схема с разстояние между подвижната двойка електроди от 0.5 и 1 м. Неговата модификация RM15 Multiplexer е с повече канали и по-голямо разстояние между електродите, което увеличава декларираната му дълбочинност до около 1.5 м, но от друга страна прави конструкцията му много тежка и „неповратлива". Тук само ще спомена разработения минитрактор за електросъпротивителни измервания RATEAU-System (Zickgraf 1999, 75) на центъра за геофизични изследвания в Гарши към CNRS, работещ с квадратна електродна схема с подобна дълбочинност като тази на RM15, който обаче е прекалено „екзотичен", за да може да намери по-широко приложение даже и в самата Франция.

Едно от нововъведенията от последните години е непрекъснатото вертикално електрическо сондиране. Такива проучвания като правило се провеждат с използването на многожилни кабели, подходящи резистивиметри, притежаващи бързо действие и автоматични превключватели, чрез които могат да се изберат и поддържат подходящите електродни конфигурации. Понастоящем нужните уреди и екипировка за подобни измервания са сравнително добре развити и се предлагат от редица международни компании на цени започващи обикновено от 15 000 долара или евро. Липсата на средства кара редица институции да конструират собствени по-евтини превключватели и да използват многожилни кабели от сеизмичните проучвания (какъвто е нашият случай).

Нуждата от постигането на по-голяма дълбочинност може да бъде разрешена с резистивиметрите използвани в геоложките проучвания и предлагани от големите международни фирми за геофизична апаратура като серията SAS на ABEM, Syscal на IRIS Instruments или Sting на Andvanced Geosciences Inc. Всички те, обаче, освен с голямата си мощност, се отличават и с голямо тегло (SAS 1000 – 5 кг, MiniSting - 6.6 кг) и висока цена, което ги прави приложими в археологията само в много специални случаи.

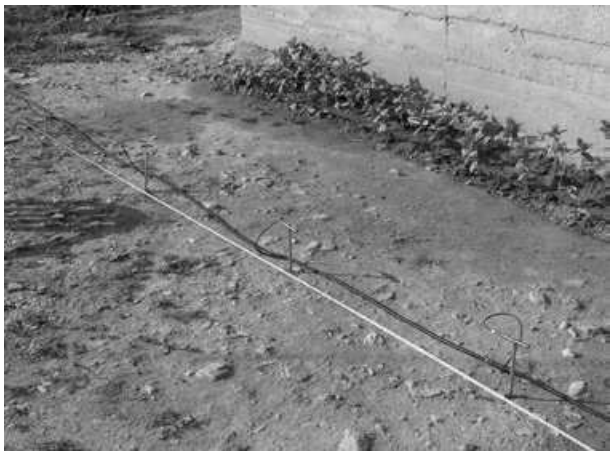
В това отношение използваният от нас 4-Point Light hp на LGM-Lippmann е един уникален електросъпротивителен уред, съчетаващ лека конструкция (750 г) с широк спектър от поддържани електродни схеми. Той измерва директно привидното електрическо съпротивление и запазва данните в памет с голям капацитет (16 000 измервания). Работи с нискочестотни правоъгълни импулси с честота 1.04, 2.08, 4.16

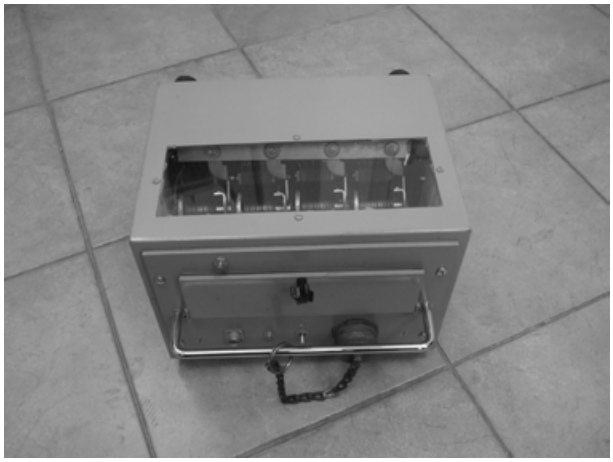
20 http://www.geoscan-research.co.uk/page15.html/

и 8.33 Hz, която може предварително да бъде избирана, при което се неутрализира естествената поляризация на електродите и се филтрират промишлените смущения. Притежава апаратурна точност от 0.2%. Конструиран е да работи както в картиращ режим с двуелектродна конфигурация без ограничение на размерите й със заложена възможност за извършване на измервания по зигзаговидна схема. Освен това поддържа и основните електродни конфигурации (Венер, Венер-Шлюмберже, триелектродна, диполна и двуелектродна) за съпротивително профилиране и вертикално електрическо сондиране или двумерна и тримерна електросъпротивителна томография. При това чувствителността му е достатъчна за проучването на дълбочини достигащи 10 и повече метра. Всички тези показатели го правят подходящ както за проучване на площни обекти като селища и плоски некрополи, така и за могили, където е нужна много по-голяма дълбочинност. Едно измерване трае около 3 секунди, т. е. производителността на уреда е много висока, което го прави много подходящ за археологически обекти, където обикновено се цели картирането на големи площи за минимално време. За да могат да бъдат използвани най-пълноценно тези възможности на уреда бяха конструирани серия периферни устройства: електродна рамка за подвижните електроди с разстояния 0.5 и 1 м за измерване с двуелектродна схема (фиг. II. 2.2.2.1), многожилни кабели с дължина 34 и 68 м, при разстояния между електродите от 1 и 2 м, както и автоматичен превключвател за измервания по метода на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране (фиг. II. 2.2.2.2).



Фиг. II. 2.2.2.1. Измерване с двуелектродна схема.

а 

б 

в 

Фиг. II. 2.2.2.2. Многожилен кабел с включени към него електроди (а), автоматичният превключвател (б) и цялостната комплектация (в).

II. 2.2.3. Мрежа на измерване.

Типа на мрежата на измерване при електросъпротивителните проучвания не

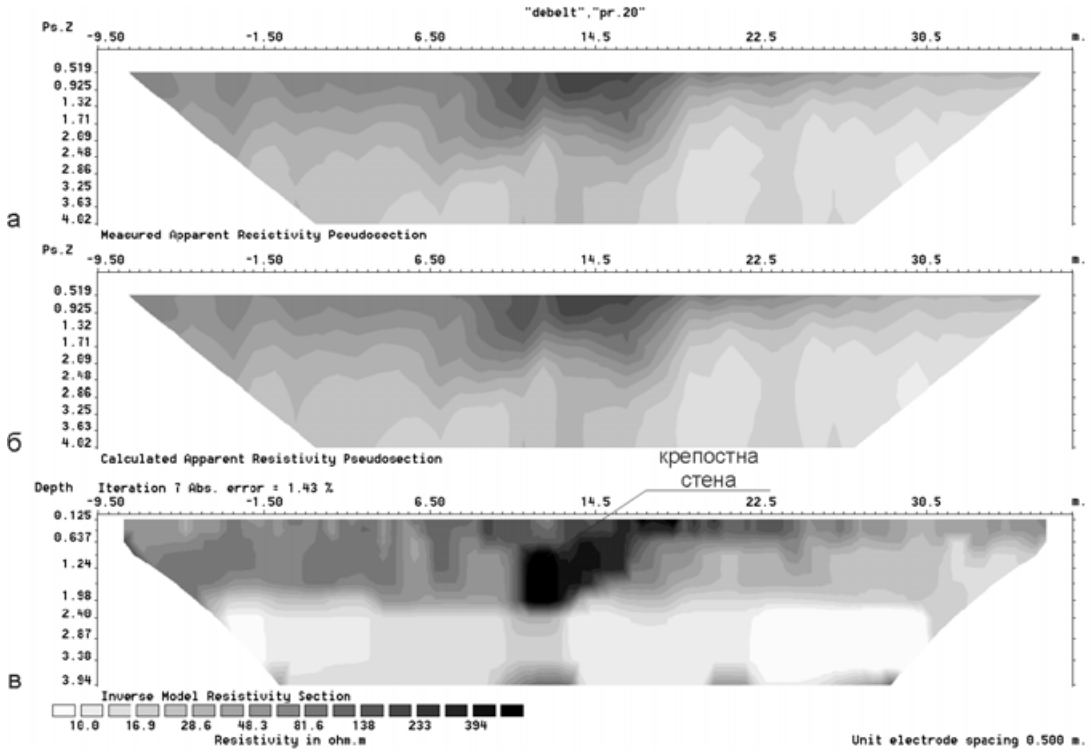
се различава от тази за геомагнитните. Обикновено се ориентира по посоките на света, за да съвпада с тази за следващите археологически разкопки. Счита се, че най-отчетливи аномалии за повечето електродни схеми се постигат, когато измервателните профили са перпендикулярни на линейните археологически структури. Както беше посочено по-горе, обаче, най-широко използваната в археологията схема – двуелектродната, слабо се влияе от ориентацията на измервателните профили спрямо тази на археологическите структури. Така че измервателната мрежа може да бъде ориентирана условно за най-удобното и максимално покриване на предвидената за проучване площ. По-различна е ситуацията при непрекъснатото вертикално електрическо сондиране, особено при двумерния му вариант. Понеже предпочитаните схеми, било то диполна, триелектродна или Шлюмберже, са чувствителни на ориентацията на профилите спрямо тази на съществуващите линейни структури, при възможност е подходящо профилните линии да са перпендикулярни на тях.

II. 2. 2.4. Обработка на данните.

При площните измервания с двуелектродна схема обикновено не се налага някаква сложна обработка на измерванията. Много важно е единствено да се осигури добър галваничен контакт на измервателните електроди, за да се постигне достатъчно добро качество на получаваните данни. Както беше посочено по-горе единствените преобразования, които се налагат са тези във връзка с изравняването на измерванията извършени при различна позиция на фиксираните електроди. Подобни изчисления могат да се наложат и ако в процеса на измерванията атмосферните условия са предизвикали значителна промяна в повърхностното електрическо съпротивление. Такива промени могат да повлияят върху средните стойности на съпротивлението и да предизвикат значителни разлики по общите граници на съседните квадрати измерени в различни дни. Когато тези разлики са минимални корекцията може да се извърши с прости математически операции. В случаите на по-големи разлики, тази операция може да се окаже по-сложна, като е възможно тези разлики да не могат напълно да бъдат елиминирани.

Обработката на данните от двумерните и тримерните електросъпротивителни измервания се извършват с тъй наречените инверсионни програми (или още програми за решаване на обратната задача на електропроучването). Най-добрите и, съответно, най-широко използвани са програмите Res2dInv и Res3dInv на Geotomo Software и EarthImager 2D и EarthImager 3D на Andvanced Geosciences Inc. Проблемът с нееднозначността е добре известен при решаването на обратната задача на електрическото сондиране и въобще при интерпретацията на геофизичните данни. Това означава, че за един и същ набор от измерени данни има много на брой модели, които могат да предизвикат същите съпротивления като измерените. Стремежът при решаването на обратната задача (инверсионното моделиране) е да се снижи броя на възможните модели, като в крайна сметка се достигне до един или няколко, но с близки показатели. Хората, извършващи електросъпротивителните проучвания са инженери-геофизици, които обикновено не са запознати в детайли с теорията на обратната задача на електропроучването (инверсионното моделиране). Ето защо Res2dInv е проектирана така, че да работи, доколкото е възможно, в автоматичен режим, изискващ минимална намеса в инверсионния процес. Обикновено заложените по подразбиране параметри са достатъчни, за постигане на достатъчно добри резултати. За да се интерпретират данните от двумерните електросъпротивителни измервания се използ-

ва двумерен модел на пространството в дълбочина, който се състои от голям брой правоъгълни блокове. Компютърната програма обработва данните така, че да зададе такова съпротивление на тези блокове, че изчисленото привидно съпротивление да съвпадне максимално с измереното. Компютърната програма Res2dInv автоматично разделя пространството на блокове и използвайки метода на ограничената гладкост или грубото моделиране търси най-малката средно квадратична грешка, за да зададе подходящо съпротивление на всеки блок. Някои от параметрите могат да се променят така, че да се получи най-близкия до предполагаемата реалност модел. За такъв обикновено се счита този, при който е получена най-малка средноквадратична грешка. Голяма част от възможностите и проблемите, касаещи двумерното и тримерно инверсионно моделиране (както и решаването на правата задача) са дискутирани обстойно от Loke (Loke 2010).



Фиг. II. 2.2.4.1. Общ вид на представянето на резултатите при двумерното инверсионно моделиране с програмата Res2dInv (Дебелт, профил над крепостната стена).

а – псевдодълбочинен разрез на измерено привидно електрическо съпротивление

б – псевдодълбочинен разрез на изчислено привидно електрическо съпротивление

в – инверсионен модел на съпротивлението

III. ГЕОФИЗИЧНИ ПРОУЧВАНИЯ НА СЕЛИЩНИ ОБЕКТИ (ПОЛЕВИ ПРИМЕРИ, АНАЛИЗ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА ДАННИТЕ И СРАВНЕНИЕ С РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ АРХЕОЛОГИЧЕСКИТЕ РАЗКОПКИ)

Целта на изложението по-долу е да илюстрира възможностите на геомагнитното и електросъпротивително картиране и двумерната и тримерна електросъпротивителна томография, използвани самостоятелно или в комплекс, при изследване на различни като тип и хронология археологически обекти. Всички полеви проучвания са извършени през последните пет години с използването на описаните по-горе последни модели геофизични уреди и програми за обработка на данните. На преобладаващата част от обектите впоследствие са извършени археологически разкопки, което позволява резултатите от геофизичните проучвания да се сравнят с тези от разкопките. Изключение прави обектът при с. Баница в Македония, който обаче представя един от малкото публикувани до този момент в света резултати от прилагането на тримерната съпротивителна томография, както и Светилището на нимфите при с. Каснаково, който е един по-различен от другите пример за нуждата от предварителни геофизични проучвания. На този обект, установените по геофизични данни стабилни градежи, запазени на голяма дълбочина, дадоха основание на археолозите да отложат планираните разкопки на предвидените площи до осигуряването на средства за тяхната консервация и реставрация.

III. 1. ГЕОФИЗИЧНО ПРОУЧВАНЕ НА АРХЕОЛОГИЧЕСКИЯ ОБЕКТ В М. ХАЛКА БУНАР ПРИ С. ГОРНО БЕЛЕВО

Останките от тракийския обект при Халка бунар са разположени на една слабо наклонена тераса, непосредствено северно от карстовия извор със същото име (прил. III.1.1а) (Тонкова 2002). Обектът беше регистриран след обширни теренни обхождания по долината на Омуровска река, ляв приток на Марица. Голям иманярски изкоп и над 500 копки правеха видими археологически останки на една голяма площ. Намерените археологически материали говореха за значително селище от късната желязна епоха.

Последвалите археологически разкопки бяха предшествани от полеви геофизични проучвания. Тяхната задача беше да се събере възможно най-голямо количество информация за дългосрочно планиране на бъдещото археологическо изследване на обекта. За целта беше приложен комплекс от логично обосновани процедури, включващ изследване на наличните аерофотографски материали, електросъпротивителни измервания в различни модификации и, основно, магнитна градиометрия. В резултат на това, в момента селището при Халка бунар е може би най-пълно проученият от геофизична гледна точка археологически обект в България. За тази конста-

тация, разбира се, допринасят и вече широкомащабните разкопки, по които може да се съди за коректността на направените геофизични прогнози.

Въздушна фотография

Първият етап от изследванията бе да се издирят наличните въздушни фотографии на района правени през годините за военни и картографски цели. От многобройните облитания на района само две имаха разделителна способност и качество, които можеха да бъдат от полза за целите на изследването. Едната снимка е от 1952 г. и е с мащаб 1:16000, а втората – от 1995 г., с мащаб 1:19500. За съжаление, внимателното изследване на тези два материала, включително и чрез стандартните методи за подобряване на контраста на изображенията, не регистрира никакви растителни, почвени или други индикатори, които да могат да бъдат свързани с археологически структури (прил. III.1.1б, III.1.2). И това изглежда обяснимо. Всъщност, изследваната площ попада в общински земи и, най-вероятно, затова не е била подлагана на селскостопанска обработка. Така че липсата на почвени индикатори е напълно логично. От друга страна, наличните аеофотографии, изглежда, не са правени във време подходящо за открояване на растителни индикатори. Най-вероятно, поради същите причини и наскоро появилите се в Google Earth™ висококачествени спътникови изображения (хоризонтална разделителна способност от порядъка на 1 м) не дават някаква допълнителна полезна информация (прил. III.1.3а). Всъщност, основния извод, който се наложи от работата с въздушните фотографии е, че за археологическото проучване на подобни обекти са нужни специални заснемания с предварително определени от специалисти по обработка на аерофотоснимки подходяща височина на камерата и годишно време за извършване на заснемането.

Геофизични проучвания

Геофизичните проучвания протекоха в няколко кампании, които имаха за цел решаването на конкретни задачи. Резултатите бяха проверявани с археологически сондажи, които, от своя страна, допринесоха за по-коректната интерпретация на вече направените и на бъдещите проучвания. В началото геофизичните измервания бяха ограничени само в рамките на централната част на терасата, в близост до големия иманярски изкоп, където беше заложен и първият археологически сондаж. В последствие те обхванаха цялата южна част на обекта, а накрая покриха почти цялата тераса.

Електросъпротивителни проучвания

Преди началото на геофизичните проучвания беше положена високоточна планквадратна мрежа ориентирана по посоките на света (прил. III.1.3а). Първоначално, в непосредствена близост до първия заложен археологически сондаж (сондаж 1), бяха измерени два профила (координати на централните точки – 50/20 и 50/7) по метода на непрекъснатото вертикалното електрическо сондиране (НВЕС) в модификацията двумерна електросъпротивителна томография (2D-ECT). Целта им беше да се определи дълбочината на залягане на коренните скали – неогенски варовици, които имат излаз на повърхността на много места в района на извора, и оттам, дебелината на културния (археологическия) пласт, който заляга върху тях. Ориентацията на профилите беше приблизително запад-изток, със слабо отклонение югозапад-североизток, така че да са перпендикулярни на слабия естествен наклон на терена, т. е. – успоредни на изолиниите на релефа. Дължината на профилите беше 34 м. Използвани бяха 10 дължини на електродна схема Венер-Шлюмберже. Разстоянието между захранващи-

те електроди AB нарастваше от 3 до 21 м, при константно разстояние между потенциалните електроди MN и, съответно, стъпка на измерване, от 1 м. Схемата Венер-Шлюмберже беше избрана заради сравнително високата си дълбочинна резолюция, съчетана с добра чувствителност спрямо вертикални нееднородности. Резултатите от измерванията бяха обработени с инверсионна програма Res2DInv.

На базата на инверсионното моделиране може да се направят следните наблюдения и заключения. Според данните от северния профил (50/20) (прил. III.1.3б, а) коренната скала заляга сравнително плитко, като се отделя много добре с високи стойности на съпротивлението (200-280 ohm. m). Дълбочината ѝ от повърхността не надхвърля 1.6 м, като варира най-вече в границите 0.9-1.3 м, достигайки на места в изследвания участък до 0.7 м. Над варовиците се отделя слой с дебелина 20-30 см и постепенно намаляващо съпротивление. Той най-вероятно е предизвикан от естествени изветрителни процеси на коренната скала. Археологическият пласт се разполага непосредствено върху изветрителния слой. Той се характеризира със стойности на съпротивлението между 20 и 80 ohm. m и е с дебелина от 0.9 до 1.3 м. Повърхностен слой, формиран от селскостопанската обработка на почвата, не се регистрира.

Резултатите от южния профил (50/7) са подобни само в източната му част (прил. III.1.3б, б). Тук варовиците се разкриват на дълбочина около 1.2 м. В западната част на профила, обаче, тяхната повърхност е много неравна. В средата на профила се регистрира едно локално издигане, като те достигат до 50 см от повърхността. Сред това, в западна посока, следва постепенно понижение, достигащо до 2 м в края на профила. Очевидно в тази част на обекта варовиците са с неравна повърхност, което може да се обясни с естествени изветрителни процеси. От друга страна, съпротивлението на слоя над варовиците е със сравнително високи стойности (120-140 ohm. m), което може да предполага, че това понижение на релефа би могло да бъде използвано в древността като място за депониране на останки от стопанска или друга дейност.

Геофизичните проучвания продължиха с електросъпротивително картиране на площ от около 2500 кв. м, разположена непосредствено северно от сондаж 1 (виж прил. III.1.3а). Фрагменти от керемиди бяха намерени в иманярския изкоп споменат по-горе. Ето защо на обекта можеше да се очаква наличието на каменни основи на стени или други солидни конструкции способни на поддържат керемиден покрив. Очакваната им дълбочина не би трябвало да надхвърля 1 м, доколкото можеше да се съди от описаните по-горе резултати от двумерната електросъпротивителна томография.

Измерванията бяха извършени по профили запад-изток (приблизително успоредни на хоризонталите на терена), съвпадащи с посоката на геодезичната мрежа на обекта. Разстоянието между профилите и стъпката на измерване по тях беше 1 м. Използвани бяха две електродни конфигурации, с по две дължини на всяка от тях: диполна (A1B1N1M и A1B2N1M) и Венер-Шлюмберже (AB=3 и 5 м). Двете схеми бяха избрани за най-подходящи за решаването на поставената задача след моделни изчисления за подобни археологически структури и заради добрите резултати показани при проучването на други обекти (Тонков 2002, Тонков 2003). Използваните дължини на схемите осигуряват получаването на данни за дълбочини приблизително от 0.2 до 1 м. От приложение III.1.4 се вижда, че преобладаващите фонови стойности в проучения участък са в рамките на 20-60 ohm. m. За съжаление, не се очертаха никакви следи от стени. Относителното повишение на съпротивлението в източна посока трудно би могло да се свърже с някакви археологически структури, като най-вероятно

е резултат на постепенна естествена промяна в свойствата на повърхностните наслаги. На фона на ниските стойности на съпротивлението в централната част на терена се очертава една локална аномалия с координати в центъра 57/30. Тя се регистрира и с двете електродни схеми. Трябва да се отбележи, че аномалията регистрирана с диполните схеми е по-интензивна и ясна, като достига стойности два пъти по-високи от фоновите (прил. III.1.4в). Заложеният тук археологически сондаж установи, че тя е предизвикана от голяма яма запълнена с пръст с високо съдържание на пепел, въглени, парчета отухлена глина и късове от есхари (Тонкова 2002). Очертанията на ямата в план повтарят почти едно към едно тези на аномалията.

Едно много отчетливо нарастване на общите стойности на съпротивлението се наблюдава в източната 1/3 от проучената площ. Стойностите достигат до 180 ohm. m. На фона на тези високи стойности е трудно да се открои аномалия, която може да е предизвикана от отделна археологическа структура. За да се отдели този регионален фон беше изчислена първата хоризонтална производна на съпротивлението. Резултатите са представени на (прил. III.1.5а). Ясно се вижда, че регионалния фон действително е изчистен. Аномалията в централната част предизвикана от ямата остава. Няколко нови аномалии могат да се отделят в източната част. Най-силната от тях е тази с приблизителни координати в центъра 72/18. Интензитетът ѝ е около три пъти над фоновите стойности за диполната схема и около два пъти – за венеровата схема (прил. III.1.5б). Очевидно нейният причинител е добре запазена археологическа структура. Археологическият сондаж заложен тук разкри останките от комплекс от керамични пещи, най-добре запазената от които е причинителят на аномалията (Тонкова 2002) (прил. III.1.5в).

Магнитна градиометрия.

Първите археологически сондажи на обекта разкриха структури, най-плитките от които са буквално на 20-30 см от повърхността. Всички те са били подложени на нагряване в древността или са били запълнени с такива материали и, следователно, притежават висока термоостатъчна намагнитеност – пещи за керамика, ями запълнени с пепел и отухлени мазилки и т. н. Тези обстоятелствата предполагаха добри резултати от едно последващо геомагнитно проучване.

През 2007 г. с флуксгейт градиометър беше проучена една площ от около 17 дка обхващаща южната част на терасата. Измервателните профили бяха през 0.5 м, с точки по профилите през 25 см, или гъстота от 8 точки на кв. м. На целия проучен терен бяха регистрирани множество аномалии (прил. III.1.6а). Като цяло, те са с нисък интензитет – от порядъка на 10-15 nT. Единствените линейни аномалии са предизвикани от съвременни нарушения на терена. По очертания в план останалите аномалии могат да се разделят на два типа – безформени и такива кръгла или овална форма. Първите достигат максимални стойности на магнитния градиент до около 15 nT. Вторите са с по-разнообразни стойности – от 5-10 до 25 и повече nT. Тъй-като все още нямаше археологически данни за причинителите на тези аномалии, както и за да се насочат археологическите разкопки към най-перспективните площи, някои от участъците с аномалии на магнитния градиент бяха дублирани с електросъпротивителни измервания. Използвана беше двуелектродна схема с разстояние между подвижната двойка електроди от 0.5 м. Профилите бяха през 1 м, а точките по профилите – през 0.5 м. Само две от аномалиите бяха „потвърдени" с високи стойности на съпротивлението (прил. III.1.6б). Именно на тях двете, както и на една от слабите геомагнитни аномалии бяха заложени археологически сондажи. Първият (сектор I)

разкри разрушена сграда с размери приблизително 9 на 6 м, маркирана с ниво от отухлени глини и мазилки, със запазени на място култово огнище (есхара) и един питос (прил. III.1.7а). Втората аномалия в южната част на площта се оказа предизвикана от естествено линейно повишение в нивото на коренните скали, което беше регистрирано и на описания по-горе профил през точка с координати 50/7 (прил. III.1.7б). Третият сондаж разкри голяма ритуална яма буквално запълнена с огромно количество фрагменти от глинени съдове и много други археологически находки (Тонкова 2008) (прил. III.1.7в).

През 2009 г. археологически сондажи бяха заложени и на няколко други геомагнитни аномалии в източната част на обекта. Всички аномалии се оказаха предизвикани от археологически структури – разрушено вследствие на пожар глинобитно неолитно жилище, две късножелезни пещи за керамика, подобни на вече откритите на обекта, и голяма късножелязна яма, запълнена, подобно на вече описаната по-горе, с пепел, въглени и отухлени глини (сектор IV) (Тонкова, Сидерис 2010).

През 2009 и 2010 г. геомагнитните проучвания на обекта при Халка бунар бяха разширени на север и на запад, като беше обхваната нова площ от около 34 дка. Целта им бе освен регистрирането на нови перспективни за археологически разкопки участъци, но и, при проучени вече общо над 50 дка, да се направи опит за определяне на евентуалните граници на селището в тези направления. Южната и източната граница съвсем естествено се маркират от ръба на терасата над извора Халка бунар и коритото на тръгващата от него река Азмака.

На цялата проучвана площ бяха регистрирани голямо количество предимно безформени положителни и отрицателни аномалии с нисък интензитет (прил. III.1.8). На този фон се отделят и множество дълги линейни аномалии. Нито една от последните, обаче не може да бъде интерпретирана като предизвикана от археологически структури. Всички те са резултат от съвременни повърхностни нарушения на терена – трасета на черни пътища за движение на селскостопанска техника, стари синори на имоти, канали, позитивни релефни форми предизвикани най-вероятно от плитко залягащи коренни скали с линейно простирание. Някои от тези нарушения са повече или по-малко видими на терена.

Голяма част от останалите аномалии биха могли да бъдат свързани с археологически структури, предимно струпвания от изпечени глини (най-вероятно останки от глинобитни постройки) и ями. Някакви линейни подреждания на аномалиите не могат да бъдат посочени. Все пак, може да се отдели една голяма концентрация от положителни аномалии в рамките на един голям правоъгълник с приблизителни размери 120-130 на 80 м, с югозападен ъгъл с координати 20/70. Очевидно, тази концентрация от аномалии съответства на участъка с най-многобройни и най-добре запазени структури и, следователно, може да се предполага, че маркира централната част на селището.

Границите на самия обект е трудно да бъдат еднозначно очертани. Все пак, поради постепенната смяна на характера и гъстотата на аномалиите, може да се предполага, че на запад той достига до метри по X -30÷-40 и на север до метри по Y 160÷180. На запад и на север от тези граници почти отсъстват по-големи положителни аномалии, особено тези, които на пръв поглед са безформени и, както се оказва, са свързани с рухнали глинобитни постройки. Възможно е тук археологически останки все пак да съществуват, но евентуалните структури да са разрушени от селскостопанската обработка. За проверка на тази хипотеза през две от аномалиите в северозападната

част на площта (кв. -60/120, 20х20 м) бяха прокарани две взаимно перпендикулярни траншеи. Те не засякоха археологически структури или културен пласт в дълбочина. Под повърхностния слой с дебелина 10-15 см, в който се срещат единични фрагменти керамика, заляга глинесто-песъклив пласт без материали, а на дълбочина 1-1.2 м се разкрива пласт с бледожълт до белезникав цвят, очевидно, резултат от изветрянето на варовиците. Аномалиите най-вероятно са предизвикани от локални нееднородности в стерилния пласт, получени при самото му образуване.

На приложения III.1.9 и III.1.10 извършената интерпретация е представена в графичен вид. Очертани са регистрираните структури, които имат съвременен произход. Отделно са откроени, положителните аномалии, като са очертани най-важните участъци, където могат да се очакват добре запазени археологически останки. Най-сериозните структури се регистрират непосредствено на север от проучваните до момента сектори. Особено интересни са тези в следните квадрати (20х20 м), където е най-вероятно да има добре запазени останки от глинобитни постройки:

1. кв. 120/100, кв. 140/100, кв. 120/120 и кв. 140/120.
2. кв. 60/100.
3. кв. 40/80, кв. 60/80, кв. 60/10 и кв. 60/80
4. кв. 20/60 и кв. 20/80.

Някои от регистрираните аномалии имат характеристиките на такива предизвикани от керамични пещи. Такива са аномалиите в кв. -60/40 и 40/140 (прил. III.1.11). Останалите аномалии не са особено интензивни и са в общи линии изометрични, което говори, че най-вероятно са предизвикани от недобре запазени струпвания от мазилки или ями.

В резултат от последните данни от геомагнитното проучване от 2010 г. на „най-перспективните" аномалии бяха заложени няколко нови археологически сондажа обозначени като сектори VI, VII, VIII и IX, както и разширения на вече проучвания сектор I (срв. Тонкова, Сидерис 2011а, Тонкова, Сидерис 2011б).

В сектор VI, намиращ се на север от сектор IV бяха открити останки от жилище от късния неолит (култура Караново III), ями от втората фаза на ранножелязната и от класическата епоха и голямо керамично струпване от ранноелинистическата епоха.

В сектор VII, на север от сектор VI, започна проучването на глинобитна постройка. Бяха документирани масивни паднали мазилки, оформящи нейния югозападен ъгъл. В предполагаемия североизточния ъгъл на постройката бяха документирани два големи съда.

В сектор VIII, на запад от сектор VII, бе открита голяма яма (диаметър 5 м) от ранножелязната епоха с депозит от фрагментирани съдове, мазилки, кости и една тежест за стан. В южната част на сектора бе документирано струпване на огромно количество фрагменти от съдове от ранноелинистическата епоха. Струпването е свързано с намиращата се в неговите граници есхара и вероятно е следа от извършвани на това място ритуални действия.

В сектор IX, югозападно от сектор VIII, бяха документирани деструкции от глинобитна постройка с добре оформен под от глина и площ от около 45 кв. м. Ясна е нейната северна страна, обозначена от разсип от по-масивни деструкции и редица от бели камъчета – останки от дренаж или пътека непосредствено на север от нея. Тя е била с едно голямо или две по-малки малки помещения.

В сектор I бе довършено проучването на двете постройки от ранноелинистиче-

ската епоха и на свързани с тях три ями. В пепелна яма IA бяха открити фрагменти от устиета на питоси, фрагменти от различни съдове, сред които от кана и трапезна амфора с графити на гръцки език, чернофирнисови кантароси с West slope украса и депозит от железни инструменти - сърп, чукче, две шпатули, едната, от които в паничка с фирнисово покритие. До тях бе открита оловна плочка – екзагия. Във втората пепелна яма IB бе открит депозит от железни инструменти – сърп, рукан, косер и махайра, заедно с обичайния пълнеж от фрагменти от съдове, кости, тежести за стан и др. Ямата се датира от бронзова монета на Лизимах, сребърна омеговидна висулка за обеца и фрагменти от кантароси с West slope украса. В същия сектор бе проучен друг ритуален комплекс – жертвена яма (IC) с пълнеж-запечатка от горели мазилки от „погребана" къща. На дъното й бе документиран депозит от фрагментирани съдове – ойнохое, лекане, чаши и две монети – на Лизимах и на Касандър.

Въз основа на вече мащабните археологически разкопки на обекта, беше направено сравнение на резултатите от геомагнитното проучване с разкритите структури. То е представено на приложения III.1.12 и III.1.13 по сектори. Прави впечатление пълното съответствие между регистрираните магнитни аномалии и разкритите струпвания от отухлени мазилки, останки от жилища. Същото важи и за откритите пещи за керамика и ямите. По данните от геофизичните проучвания може да се възстановят очертанията и размерите на жилищата. Така например неолитното жилище в сектор VI по геофизични данни е с размери приблизително 9.6 на 6.4 м, а елинистическите: в сектор I – 8.3 на 5.8 м, в сектор VII – 5.7 на 5.8 м, а това в сектор IX – 8.4 на 5.7 м. Всички са с ориентация на дългата страна югозапад-североизток с отклонение от севера между 30 и 70°. Разграничаването на различните жилища по периоди в зависимост от интензивността на измерения градиент не е възможна. Макар че на пръв поглед деструкциите от късножелязната епоха дават по-ниски аномалии, има и изключения, като например жилището в сектор VII (прил. III.1.14-прил. III.1.18).

Направено е и сравнение на аномалиите предизвикани от пещи за битова керамика и тези от ями (прил. III.1.19, прил. III.1.20). Аномалиите предизвикани от пещите и от ямите са с приблизително еднакви размери. Като цяло пещите дават по-силна аномалия на магнитния градиент. Разкритите ями дават аномалия от порядъка на 10-15 до около 25 nT, докато за пещите тя по-интензивна и обикновено е над 30 nT, като достига стойности до 50-60 и даже 100 nT. Все пак от много голямо значение за амплитудата на измерената аномалия е пълнежът на ямите, от една страна, и степента на запазеност на самите пещи, от друга. Затова е рисковано определени аномалии категорично да се приписват като предизвикани от пещи или от ями.

III. 2. ОБЕКТ 5, ЛОТ 2, АМ „ТРАКИЯ" (КМ 226+600 - КМ 226+850) ПРИ С. СЪРНЕВО, ОБЩИНА РАДНЕВО.

Обект № 5 по трасето на АМ „Тракия" е разположен върху слабо изявена незаливна тераса на десния бряг на р. Азмака, приток на р. Сазлийка. Площта на обекта по ОВОС в рамките на сервитута е 11 дка. На около 2 км южно от обекта се намира праисторическа селищна могила, както и епонимното селище от РЖЕ, попадащо в землището на с. Пшеничево. Първоначалните наблюдения на терена регистрираха средна до висока концентрация на керамични фрагменти от късножелязната епоха, ниска – от римската епоха и единични фрагменти ранножелязна керамика.

Първите геофизични изследвания на обекта бяха извършени през 2008 г. непосредствено след началото на сондажните археологически проучвания. За тази цел

теренът бе изцяло освободен от насажденията. Беше положена планквадратна геодезична мрежа ориентирана по оста на магистралата, т. е. с отклонение от 11g от севера. С магнитна градиометрия беше покрита почти цялата площ на обекта в рамките на сервитута на магистралата – 240х40 м, или общо 9600 кв. м. Измервателните профили бяха през 1 м, с точки по профилите през 0.25 м (гъстота 8 точки на кв. м.), каквато е препоръчителната гъстота при първоначалното изследване на напълно непознати обекти.

Резултатите от проучванията са представени на прил. III.2.1а. По стойностите на измерения вертикален градиент на земното магнитно поле сравнително добре се отделят две зони. Първата, от западната периферия на обекта до около осемдесетия метър, се характеризира с почти пълната липса на магнитни аномалии. На изток следва участък с дължина 150-160 м, в който се регистрират множество положителни магнитни аномалии с нисък интензитет (от порядъка на 5-10 nT) и малки размери в план (до 2-3 кв. м). В най-източната част на обекта, след метър 240, магнитно поле рязко се покачва като стойност. Това повишение очевидно е предизвикано от съвременни намеси, най-вероятно от прокарани тук подземни тръби за напояване.

Някои от регистрираните слаби магнитни аномалии бяха проверени с археологически сондажи. Всички те разкриха на дълбочина от 30-40 см малки негативни структури съдържащи струпвания от изпечена глина и горели мазилки. Структурите произлизат от късния неолит, късната желязна и римската епоха (Тонкова, Караджинов, Тонков 2009). Очевидно и останалите аномалии са предизвикани от подобни археологически структури. Категорично може да се твърди, че цялата източна част на обекта е заета от археологически структури. Вероятно в западната част тези структури са много по-малко или напълно липсват. Бе допусната обаче и възможността в този участък те да са от друг характер и да са на по-голяма дълбочина, при което да не са регистрирани при геомагнитното проучване.

Въз основа на геофизичните прогнози и на резултатите от сондажните разкопки обектът бе предложен за пълно археологическо проучване, което бе извършено през 2009 и 2010 г. Беше разкрита и изчерпана до стерилна основа площ от около 5.2 дка в източната част на обекта. Беше установено, че орницата е с дебелина около 25 см. Под нея следва тъмнокафяв до сиво-черен пласт (пласт 1), съдържащ разрушени останки от късния неолит, ранножелязната, късножелязната и римската епоха със средна дебелина 50 см, най-вероятно унищожен при интензивната земеделска обработка на терена. Най-долният, ненарушен кафяв пласт (пласт 2) с дебелина 0,15-0,30 м се отнася към къснонеолитния период Караново III-IV (втора половина на VI хил. пр. Хр.). През 2008-2010 г. общо са проучени над 110 структури от неолитната, желязната и римската епоха, вкопани на различна дълбочина в пласт 2 и стерилната основа. Въпреки че някои от неолитните структури са със сравнително големи размери – до 10 и повече кв. м, те като правило са плитки – от порядъка на 40-50 см, като често съдържат късове от стени на горели постройки (Тонкова и др. 2009; Бъчваров и др. 2010).

Ямите от късножелязната епоха са с крушовидна, камбановидна, бъчвовидна и конусовидна форма. Някои от тях са с диаметър на отвора 0,90-1,00 м, но при повечето структури той е около 1,50-1,60 м. Малък брой вкопани структури са с особено големи размери – диаметър на отвора 2-3 м. Дълбочината им е от 0,60 до 1,80 м. Пълнежът на ямите се състои в повечето случаи от тъмносиво-черна пръст с керамични фрагменти, животински кости, въгленчета, мазилки, разпрашени деструкции. В някои са документирани следи от действия с огън. Обикновено в пълнежа присъстват въгленчета –

следи от огнища, преотложени в ямите. Само в отделни случаи е регистрирано опалване или горене на място в ямата. В някои от ямите са открити запечатки, които отбелязват многостепенност на извършените действия. В няколко ями са преотложени големи количества горели мазилки. В североизточния участък на обекта се откроява група ями с останки от глинобитни съоръжения (есхари, кръгли или подкововидни съоръжения с первази), моделирани на място в ямите или преотложени преносими огнища (Бъчваров и др. 2010; Бъчваров и др. 2011).

При археологическите разкопки беше документиран и ров от римската епоха. Той се разкрива в северната периферия на централната част от обекта. Ровът оформя неправилна дъга с дължина около 30 м от юг и продължава на север извън сервитутната зона. Ширината на рова е между 5.4 и 8 м, а средната му дълбочина – 0.5 м.

Използваната единна геодезична мрежа и, съответно, координатна система за геофизичните проучвания и археологическите разкопки направи безпроблемно сравнението на регистрираните геомагнитни аномалии с разкритите археологически структури (прил. III.2.1б). Прави впечатление много доброто съответствие между магнитните аномалии и разкриваните в източната част на обекта (между метри 185 и 235) ями от късножелязната епоха (прил. III.2.2, прил. III.2.3)[21]. В същото време, много малка част от регистрираните геомагнитни аномалии в централната му част (между метри 90 и 145) съвпадат с разкритите тук негативни каснонеолитни контексти (прил. III.2.4). Не е регистриран и ровът от римския период. Обяснение на този факт може да се търси в няколко направления.

1. Неолитните структури са с по-малка дълбочина и се разкриват на по-голяма дълбочина от повърхността, поради което е възможно много от тях въобще да не могат да бъдат регистрирани.

2. Ямите от късножелязната епоха са много по-дълбоки, по-компактни като размери, а голяма част от тях са със следи от опалване на място или съдържат горели мазилки, което означава, че съдържат материали с висока магнитна възприемчивост и термоостатъчна намагнитеност.

3. Преди началото на редовните разкопки през 2009 г. повърхностният почвен слой на обекта бе премахнат със земекопна техника. При тази намеса е възможно някои от смутителите, намиращи се в този слой и регистрирани с геомагнитното проучване, да са били отнесени.

4. Римският ров е със сравнително малка дълбочина и не съдържа глини подложени на изпичане (материали, демонстриращи термоостатъчна намагнитеност), което е обяснението на факта, че той не е засечен с аномалия на магнитното поле.

Тъй като на големи площи около трасето на магистралата се наблюдаваше наличие на керамика от документираните на обекта епохи, както и за да се поставят резултатите от археологическите разкопки в един по-широк контекст, беше решено геофизичните проучвания да бъдат разширени. Поради необходимостта от съобразяване със земеделското използване на земята, тези проучвания бяха проведени едва през пролетта на 2010 г. Обхванати бяха два участъка северно и южно от сервитута на магистралата с обща площ от 15 дка. Поради натрупаната от разкопките пръст от двете страни на обекта, план квадратните мрежи на двете площи не бяха директно про-

21 Самите аномалии са с по-нисък интензитет от тези, предизвикани от подобни ями от обекта при Халка бунар (виж по-горе III.1), което може да се обясни, преди всичко, с по-голямата дълбочина от повърхността, на която се разкриват ямите от Сърнево.

дължение на тази по сервитута, а бяха привързани една към друга с високоточни GPS координати, като бяха ориентирани така, че да се покрият най-пълно подходящите за проучване към момента на измерванията селскостопански площи (прил. III.2.5а).

В северния участък аномалиите с нисък интензитет, подобни на вече регистрираните, са много по-малко, което може да означава, че тук е северната периферия на комплекса от негативни структури, или поне този от късножелязната епоха (прил. III.2.5б). В югозападния му ъгъл се отделя една овална зона, характеризираща се с общо повишение на стойностите на магнитния градиент и с размери около 35 на 10 м, която очевидно продължава на юг и на запад извън границите на проучения участък. Причинителят на тези аномални стойности може да се търси в римския ров, който се разкрива в северната периферия на сервитута и е с подобни размери (прил. III.2.6а). Възможно е тук той да е с по-голяма дълбочина и различен запълнител и затова по-добре да се регистрира, за разлика от участъка в рамките на сервитута.

В южния сектор се регистрират две или, по-скоро, три концентрични линейни аномалии (прил. III.2.6б). Амплитудата им е от порядъка на 4-5 nT. Най-вероятно, те са предизвикани от ровове, които очевидно продължават и на юг извън границите на сектора (прил. III.2.7). Видимият диаметър на външния ров е около 115 м, на средния – 80 м, а на най-вътрешния – 55-60 м. В същото време концентрацията на малките положителни аномалии с нисък интензитет, които показаха добра корелация с разкритите ями от късножелязната епоха, като че ли намалява. Това означава, че директна връзка между късножелезните ями и регистрираните ровове не е коректно да бъде правена.

Беше проучена и още една площ от около 5 дка, разположена на около 350 м южно от магистралата. На това място на повърхността се наблюдаваше концентрация на керамика от ранния неолит. Мрежата на проучване беше ориентирана, така че да може да се покрие възможно най-голяма площ свободна от селскостопански култури, като беше привързана с високоточни GPS координати (прил. III.2.5а). За съжаление, поради наличието на високи селскостопански култури и голям напоителен канал, не беше възможно покриването на цяла площ, на която се открива керамика. Независимо от това геомагнитните измервания дадоха много добри резултати. Беше регистрирана югозападната част на, най-вероятно, неолитно селище с овални очертания в план и няколко верижно разположени жилищна (прил. III.2.8а, б). Доколкото може да се прецени, размерите на две от тях са, съответно, 8х5 и 7х6 м.

III. 3. РАННОНЕОЛИТНО СЕЛИЩЕ НА АМ „МАРИЦА" ПРИ С. ЯБЪЛКОВО, ОБЩИНА ДИМИТРОВГРАД.

Обектът се намира на около 2 км югоизточно от с. Ябълково. Първите геомагнитни проучвания бяха извършени през септември 2009 г. Преди тях археологически разкопки на обекта са били провеждани в продължение на няколко сезона. Те бяха разкрили на една голяма площ различни структури датирани в раннонеолитната епоха (Лещаков 2010**)**. Освен това на целия обект с машини е бил отнет повърхностния почвен слой, като пръстта беше натрупана на големи купчини от двете страни на сервитута на магистралата. Ето защо, първоначалното геофизично проучване беше ограничено само в една тясна ивица с площ от около 4 дка в най-южната част на обекта. Тъй-като се очакваха структури с малки размери гъстотата на геомагнитните профили беше през 0.5 м при точки по профилите през 25 см. В резултат на проучванията бяха засечени три концентрични рова (прил. III.3.1а). Разстоянието между

тях в този участък е около 7 м. Отклоненията на магнитното поле предизвикано от рововете е от порядъка на 5-6 nT (прил. III.3.1б). Най-добре се отделя вътрешният ров, малко по-слабо – средният, а външният в някои участъци по протежението си е едва маркиран. С цел изясняване трасетата на тези ровове, а и за регистрирането на други, свързани с тях археологически структури, проучваната площ беше разширена с още около 40 дка от двете страни на магистралата. Измерванията бяха извършени в рамките на още три допълнителни кампании през есента на 2009 и 2010 г., съобразени с моментното състояние на терена, когато той е най-удобен за провеждане на измерванията. Установено беше, че трите рова заграждат от всички страни селището (прил. III.3.2а). Интересно бе, че отделните ровове се регистрират с различен интензитет на магнитното поле (прил. III.3.3). Най-отчетливо се откроява най-вътрешният, с аномалии достигащи до 10 nT, докато двата външни на места се отделят трудно. Това най-вероятно се дължи не толкова на размерите на самите ровове (ширина и дълбочина), колкото на разлики във физичните свойства на запълнителя им. Рововете са с форма на неправилен овал и приблизителни диаметри както следва: вътрешният – около 175 м, средният – 190 м и външният – 205 м. Освен това, бяха регистрирани и други линейни аномалии, които могат да се свържат с подобни негативни структури или дори с разклонения на най-външния ров. В североизточната част на площта с много силни аномалии се отделят сгради, очевидно принадлежащи на средновековното селище при Ябълково (Меламед, Аладжов 2006). Магнитните аномалии предизвикани от тези структури достигат до 30-40 и повече nT. Най-вероятно основите на тези сгради са изградени с материали от разкриващите се в района палеогенски вулкански скали (пирокласти, туфи и туфити), притежаващи високи стойности на магнитната възприемчивост (Долапчиева 1984). В североизточната част на площта затворена от вътрешния ров също се регистрират две аномалии с много висок интензитет. Едната, с координати в центъра -17/181, е с малки размери, характерна овална форма и стойности на магнитния градиент надхвърлящи 200 nT. Тя най-вероятно е предизвикана от пещ за керамика. Втората, с координати в центъра 38/140, е с формата на правоъгълник и размери около 6 на 3 м и интензитет подобен на този на средновековните сгради. Независимо, че и двете аномалии са в рамките на площта затворена от рововете, не може да се твърди категорично, че структурите, които ги предизвикват, принадлежат на неолитното селище.

Направен беше и един опит за възможностите на електросъпротивителния метод за регистриране на вече откритите с геомагнитното проучване ровове. За целта беше измерен един профил по метода на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране, известен също като двумерна електросъпротивителна томография (2D ECT). Линията на профила беше ориентирана приблизително перпендикулярно на трасетата на рововете, като минаваше през точки от мрежата 0/160 и 20/200 (прил. III.3.2б). Използвана беше електродна схема Wenner-Schlumberger с десет различни разстояния между токовите електроди – от AB=3 до AB=21 м, при фиксирано разстояние между приемните електроди MN и стъпката по профила от 1 м. Резултатите от инверсионното моделиране са представени на фиг. 6. Със сравнително отчетлива положителна аномалия се отделя само вътрешният ров. Той е с ширина в горната си част около 2 м. Дълбочината му е също около 2 м. Външният ров се регистрира много по-слабо. Очевидно той е с по-малки размери, а пръстта, с която е запълнен, се различава незначително като характеристика от наслагите, в които е вкопан. Хоризонталното разстояние между вътрешния и външния ров е около 15 м, каквото

е и по данните от геомагнитното проучване. Средният ров въобще не може да бъде отделен. Възможно е в този участък той да не съществува или запълнителят му да е със съпротивление еднакво с това на вместващата среда. За съжаление резултатите от тези опитни измервания не могат да бъдат съвсем показателни за възможностите на електросъпротивителния метод при проучването на такива ровове. Измерванията бяха проведени в късната есен на 2010 г., когато времето беше дъждовно и повърхностния слой беше наситен с влага, обстоятелство, което е пречка за получаването на достатъчно отчетливи електросъпротивителни аномалии.

III. 4. РИМСКИ ВИКУС ПРИ С. ГОРСКО АБЛАНОВО.

Големият римски викус в землището на с. Горско Абланово, община Опака е отдавна известен в научната литература. Първите археологически разкопки обаче, се провеждат едва през 2007 г. (Торбатов, Русев 2008). Те имат сондажен характер и включват шест сондажа от по 30 кв. м. Разкрити са каменните основи на жилищни и стопански сгради, датирани във II-III в. пр. Хр. Самите основи са изградени от необработени ломени варовикови камъни на калова спойка. Дебелината им, както и запазената височина, е от порядъка на 50 см. Разкриват се на дълбочина от 10-15 до около 50 см от повърхността, в слой от глинестопесъкливи наноси на река Черни лом.

Геофизичните проучвания на обекта се проведоха в началото на април 2008 г. и имаха за цел очертаването на сградния комплекс в м. Ялията, част от който беше документиран през предходната година. Разкритата тогава археологическа ситуация предопределяше успешното прилагане на електросъпротивителния метод. Много ниската магнитна възприемчивост на варовиците (около 0 SI), съчетана с подобна за речните наслаги в района на обекта (най-вероятно, също с ниски магнитни свойства), не благоприятстваха регистрирането на отчетливи магнитни аномалии. В най-добрия случай можеше да се очаква основите на стените да се регистрират със слаби отрицателни аномалии. За съжаление много влажното и дъждовно време, възпрепятстваха провеждането на планираните електросъпротивителни измервания. При нормални условия, картирането на предвидената площ с двуелектродна схема трябваше да трае около една седмица. Затова трябваше да експериментираме с геомагнитни проучвания, които отнеха общо два дни.

Магнитната градиометрия беше осъществена в рамките на един правоъгълник с размери 120x80 м. Мрежата беше ориентирана по посоките на света, с профили юг-север през 0.5 м и точки по профилите през 25 см.

В резултат, макар и с ниски отрицателни стойности на магнитния градиент, бяха регистрирани серия от линейни аномалии, които всъщност очертаха контурите на целия сграден комплекс (прил. III.4.1)[22] Амплитудата на аномалиите предизвикани от варовиковите основи на стените варира от 3-4 до 10-12 nT (прил. III.4.2а). Тези разлики могат да се обяснят, от една страна, със степента на запазеност на самите стени и, най-вече, с разлики в дълбочината им от повърхността в различните участъци. В северозападната част на очертания от геофизичното изследване архитектурен комплекс бяха заложени кръстообразно два сондажа З и И. В Сондаж З беше засечен фрагмент от неговия северен ограден зид. В сондаж И беше разкрита част от южния зид на помещението, изградено покрай северния ограден зид на комплекса (Торба-

22 Интензивната линейна аномалия с направление югозапад-североизток, преминаваща през цялата площ, е предизвикана от трасето на съвременен водопровод.

тов, Русев 2009) (прил. III.4.3а).

Прави впечатление, че на няколко места в пространството между стените се регистрират интензивни положителни аномалии на магнитния градиент, достигащи до 15-20 и повече nT. Всички те се оказаха предизвикани от „преобръщането" на пръстта в тези участъци вследствие на интензивна иманярска намеса.

В югоизточната част на площта се отделя една много интензивна положителна магнитна аномалия с размери в план приблизително 5х4 м. Амплитудата на аномалията надхвърля 100 nT (прил. III.4.2б). Очевидно, че тя е предизвикана от обект с висока остатъчна намагниченост, най-вероятно пещ за керамика. Интензитета и размерите на аномалията са значително по-големи от тези на пещите от Халка бунар, описани по-горе. Затова можеше да се предполага, че става дума за пещ за строителна керамика. Тук беше заложен сондаж Ж, в който беше проучена добре запазена пещ за изпичане на керемиди (Торбатов, Русев 2009) (прил. III.4.3б).

III. 5. ОБЕКТ 15, ЛОТ 3, АМ „ТРАКИЯ" (КМ 2676+850 - КМ 268+300) ПРИ С. СКОБЕЛЕВО, ОБЩИНА СЛИВЕН.

Обектът е разположен в равнинна местност ограничена от юг от възвишението Чалъбаир, намиращо се северно от с. Скобелево и ниски възвишения от масива на Средна гора – от север. Теренните обхождания по трасето на автомагистралата са регистрирали на повърхността концентрации от трапезна и строителна керамика и разсипи от дребни камъни, вероятно от намирали се на това място постройки (Попов, Петкова 2009). Обектът е разделен от напоителен канал и чакълиран път на две части, западна и източна, съответно с дължини 180 и 300 м, разположени на около 40 м една от друга.

Първите геомагнитни измервания на обекта бяха извършени непосредствено преди началото на археологическите разкопки в началото на май 2009 г. Геодезичната мрежа беше ориентирана по трасето на магистралата. Тъй като точно в района на обекта магистралата прави лек завой, по-удобно беше двете части на обекта да имат самостоятелни мрежи. Така мрежата на западния участък беше с отклонение 12º от севера, а тази на източния – 10º (прил. III.5.1а). Беше покрита цялата площ от 19.2 дка (две полоси с ширина по 40 м и дължина, съответно, 180 и 300 м) в рамките на сервитута на магистралата. В резултат, в западната част на обекта беше регистрирана голяма стопанска сграда с размери в план около 20х35 м, с няколко отделни помещения и вътрешен двор (прил. III.5.1б), разкрити по-късно при разкопките (Попов, Георгиев 2010). Магнитните аномалии предизвикани от стените на сградата достигаха до 25-30 и повече nT (прил. III.5.2). В същото време, при археологическите разкопки беше установено, че основите на стените са от дребни неоформени ломени камъни на калова спойка и са запазени едва до 10-15 см във височина. Очевидно, те са изградени от скален материал с много високи магнитни свойства, най-вероятно от разкриващите се в района горнокредни андезити и други вулканити (Долапчиева 1984), което благоприятства регистрирането на толкова слабо запазени структури с толкова отчетлива магнитна аномалия. На запад и на изток от разкритото стопанство също бяха регистрирани аномалии, очевидно предизвикани от човешка дейност в античността, които обаче не бяха толкова добре изразени.

В източния сектор също бяха регистрирани няколко интензивни аномалии, маркиращи останки от подобни, но не толкова добре запазени сгради (прил. III.5.3а). Най-добре се регистрира една постройка в западната част на площта с приблизител-

ни размери 6х6 м, очевидно принадлежаща на стопанство подобно на това в западния сектор. Явно тя е изградена от същия материал, защото и магнитната аномалия е с подобен интензитет (прил. III.5.3б). В най-източната част на площта (след метър 200-220) аномалии почти липсват.

За да се изгради по-ясна представа за средата, в която се разполагат откритите археологически структури геомагнитното проучване беше разширено с още над 100 дка на север и на юг от сервитута на магистралата. Измерванията бяха проведени в рамките на четири отделни кампании през 2009 и 2010 г., в най-удобните за работа моменти, когато площите не бяха заети от пречещи селскостопански култури или дълбока оран. Те установиха, че археологически структури, подобни на вече откритите, съществуват в цялата изследвана площ (както на юг, така и далеч на север) (прил. III.5.4-6), което позволи на археолозите да интерпретират проучвания обект като селска агломерацията (коме, викус) (Попов, Георгиев 2010).

III. 6. ИЗВОРЪТ НА НИМФИТЕ И АФРОДИТА ПРИ С. КАСНАКОВО.

Обектът е разположен на около 1 км югоизточно от с. Каснаково върху една от терасите на невисоко възвишение в западните подножия, на което протича Банска река. Частично разкритият и експониран архитектурен комплекс е получил известност в научната литература като „Светилището на нимфите и Афродита" (Кацарова 2008).

Първите научно организирани проучвания на обекта са проведени през 1945-1946 г. под ръководството на проф. Ив. Венедиков. Той изяснява плана на светилището и на двете сгради източно и западно от него. По същото време е разкрита частично още една сграда, чийто особен архитектурен план дава основания на проф. Венедиков да предполага, че става дума за малък театър (Кацарова 2008, 488).

През 1970 г. са проведени нови проучвания, които попадат на неизвестна сграда, най-вероятно баня, която не е разкрита напълно и затова не е експонирана.

След прекъсване от около 30 години, в периода 2007-2008 г. бяха проведени нови археологически проучвания на "Светилище на нимфите и Афродита" при с. Каснаково. Те бяха предизвикани от реализацията на мащабен проект, финансиран по програма ФАР на ЕС, свързан с консервацията, реставрацията и социализацията на паметника. Липсата на документация за точното местоположение на две от проучваните по-рано сгради – „театър" и „баня", наложи да бъде направено геофизично проучване северно от светилището.

Геофизичните измервания бяха извършени с прилагане на електросъпротивителния метод. Използвана беше двуелектродна схема (twin-probe array). Магнитната градиометрия беше неприложима поради наличието в близост на съвременни метални конструкции като навеси, беседки, стълбове за електричество и др.

Проучена беше обща площ от 1600 кв. м. Разстоянието между измервателните профили беше 1 м, а стъпката на измерване – 0.5 м, колкото беше и разстоянието между подвижната двойка електроди M и N.

Резултатите от електросъпротивителните измервания показаха, че в централната част на площта напълно отсъстват археологически останки (прил. III.6.1а). В западната и северната част много добре се отделят няколко линейни аномалии на привидното съпротивление. Тези в източната част се регистрират две успоредни стени с ориентация север-юг, които не са много отчетливи, най-вероятно поради съвпадението на посоката им с тази на измервателните профили. Много по-добре се отделят

двете стени в северната част на площта, които са с направление запад-изток. Те също са успоредни и са разположени на около 5 м една от друга. В самата северна периферия на площта се отделя и една стена с форма на полудъга. Правят впечатление също две много интензивни аномалии с овална форма в план и размери от порядъка на няколко квадратни метра, разположени, съответно, в западната и източната част на площта. Очевидно е, че те, ако не са резултат от някакви съвременни интервенции на терена, би трябвало да са предизвикани от някакви солидни археологически структури. Още повече, че ориентацията им една спрямо друга съвпада с тази на регистрираните стени.

За да се установи разпределението на регистрираните археологически структури и за да се получат данни за характеристиките на средата в дълбочина, като цяло, бяха извършени и измервания по метода на двумерната електросъпротивителна томография. Измерени бяха три профила по линиите на профили 23.5 и 30 и по линията на пикети 20, всички с дължина 34 м. Използвана беше електродна схема Венер-Шлюмберже с 10 дължини на захранващата линия AB – от 3 до 21 м. Това осигурява максимална дълбочинност на проучването около 4 м. Резултатите от измерванията са обработени с компютърната програма Res2DInv на фирмата Geotomo Software. В резултат са получени вертикални модели на реалното разпределение на електрическото съпротивление в дълбочина (прил. III.6.1б). От тях много добре се вижда, че регистрираните стени се разкриват почти от повърхността, имат дебелина 50-70 и повече сантиметра и са запазени до дълбочина от 1.5-2 м. Потвърждава се наблюдението от електросъпротивителното картиране, че южно от стените няма археологически останки. Тук стойностите на съпротивлението са хомогенни и ниски (от порядъка на 60-100 om. m). Северно от регистрираните стени, обаче, много отчетливо се отделя пласт с високи съпротивления (150-250 om. m), който започва от повърхността и достига дълбочина над 2 м. Несъмнено, той маркира културния пласт съдържащ деструкциите от градежите и други археологически материали, който се развиват в северна посока извън проучената площ.

Поради геофизичните прогнози за наличието на добре запазени археологически останки и много дълбок културен плат, от една страна, и липсата на достатъчно предвидени средства за консервационно-реставрационни дейности, от друга, беше решено този участък да не бъде изследван с археологически разкопки. В резултат на геофизичното проучване обаче, една от основните задачи на проекта беше изпълнена. То доведе до откриване мястото на т. нар. „театър" и изработването на общ план на архитектурния комплекс (прил. III.6.2).

Проведените през 2007 г. нови археологически разкопки се съсредоточиха върху по-високата източна тераса, североизточно от извора. При тази кампания бе разкрита и частично проучена археологически една нова и неизвестна до този момент сграда, разположена на по-високата източна тераса (Кацарова 2008). Планът и размерите й не са напълно изяснени. Проучени са напълно две помещения и частично – още четири. Находките от сградата – главно фрагменти от мраморна облицовка, фрагменти от глинени съдове, инструменти, накити, монети пр., свидетелстват, че предназначението й е било за жилищни нужди, а времето на функционирането й е между края на II и първата половина на III в.

Във връзка с нов проект за повишаване на туристическата атрактивност на паметника, през 2010 г., със средства на Община Димитровград, се проведоха нови геофизични изследвания. Те бяха съсредоточени върху изясняване площта и плана на

жилищната сграда, с цел проектиране на необходимите консервационно-реставрационни дейности.

Самата проучена площ от 1300 кв. м. обхваща почти изцяло една равна тераса непосредствено на изток от участъка проучен с археологически разкопки през 2007.

Геофизичните измервания бяха извършени с прилагане на електросъпротивителния метод. Използвана беше двуелектродна схема, която даде много добри резултати при предишните проучвания. Мрежата на измерване беше правоъгълна. Профилите с ориентация юг-север бяха през един метър, а измервателните точки по профилите – през 0.5 м. Разстоянието между двете двойки електроди – подвижни и неподвижни, беше също 0.5 м. Получените данни са представени на приложение III.6.3а, като карта на стойностите на привидното електрическо съпротивление. По нея могат да се направят следните наблюдения и изводи.

Стойностите на съпротивлението като цяло са не особено високи и са слабо смутени. В самия югозападен ъгъл на площта се отделят две интензивни линейни аномалии. Те маркират останки от каменни стени, които очевидно продължават на юг и извън рамките на проучената площ. Непосредствено на изток от източната „стена" се очертава една интензивна правоъгълна аномалия с приблизителни размери в план около 5х5 м. Очевидно тук също имаме добре запазени антични останки. На север от първите описани стени, непосредствено до западната част на площта, също се отделя интензивна аномалия, която явно маркира останки от каменни структури. Цялата останала част от проучената площ се отличава с пълното отсъствие на характерни аномалии. Очевидно тук липсват останки от сгради или, ако такива въобще съществуват, те се намират на дълбочина по-голяма от 1 м, където трудно могат да бъдат засечени. Участъците със сравнително по-високи стойности на съпротивленията в централната част са безформени и не могат да бъдат свързани с останки от сгради, като по-скоро се дължат на изменения в характеристиките на самия насип.

За да се установи разпределението на регистрираните археологически структури и за да се получат данни за характеристиките на средата в дълбочина, като цяло, бяха извършени и измервания по метода на двумерната електросъпротивителна томография. Измерени бяха общо четири профила:

VES pr. pk. 12 по линията на пикет 12, посока запад-изток, дължина – 57 м.

VES pr. 8 по линията на профил 8, посока юг-север, дължина – 44 м.

VES pr. 20 по линията на профил 20, посока юг-север, дължина – 44 м.

VES pr. 27 по линията на профил 27, посока юг-север, дължина – 44 м.

Използвана беше електродна схема Венер-Шлюмберже с 10 дължини на захранващата линия АВ – от 3 до 21 м. В резултат са получени вертикални модели на реалното разпределение на електрическото съпротивление в дълбочина (прил. III.6.3б). По тях могат да се направят следните наблюдения и изводи:

От VES pr. pk. 12 много добре се отделя един повърхностен слой с ниски съпротивления и дебелина 0.8-1 м. В този слой единствената археологическа структура, която се регистрира, е стената (описана в т. 1 по-горе, в югозападната част на площта), разположена между метри +1 и +2 от профила. Много добре се вижда, че тя е с дебелина около 70 см и е запазена от самата повърхност до дълбочина около 1 м. Под повърхностния слой се разполага слой със значително по-високи съпротивления. Най-вероятно това са коренните наслаги. Дори и в тях да има останки от вкопани основи на стени, дълбочината от над един метър не позволява структури с подобни размери да бъдат еднозначно отделени.

По останалите профили VES наблюденията са подобни – повърхностен слой с ниски съпротивления и, под него, на дълбочина от 1 до 1.7 м, друг – със значително по-високи стойности. Отново, като цяло, останки от стени не се регистрират.

По VES pr. 8 добре се отделя структурата описана по-горе в т. 3. Вижда се, че тук също имаме регистрирана стена с дебелина около 50 см, която се развива от повърхността до дълбочина около 1 м. Пред нея обаче има някаква голяма структура с ширина около 2 м, която достига в дълбочина до над 1.8 м.

По VES pr. 20 също се регистрира подобна „стабилна" структура.Тя е на около 5 м южно от заложената измервателна мрежа, като се отделя на дълбочина между 1.2 м и 1.8 м. Възможно е тя също да маркира останки от археологическа структура, но голямата дълбочина прави това предположение само вероятно, но не и сигурно.

По VES pr. 27 не се регистрират каквито и да е структури, които да могат да бъдат свързани с наличие на археологически останки.

Геофизичната прогноза за липсата на археологически останки в преобладаващата част от проучената площ даде основание на общинското ръководство на Димитровград да се откаже от намеренията си за кандидатстване за средства за археологически разкопки и последваща консервация и реставрация на евентуално откритите при тях структури в тази част на обекта.

III. 7. АНТИЧЕН ОБЕКТ В М. КИРАЗЛК ПРИ С. БАНИЦА, СТРУМИШКО, БЮР МАКЕДОНИЯ.

Направените изследванията на античния обект при с. Баница са извънредно важен принос в експериментирането с последните новости в областта на археологическата геофизика. Те дават един от малкото примери в света за приложението на тримерната електросъпротивителна томография в археологията (Leopold et al. 2011; Nuzzo et al. 2009; Papadopoulos et all. 2009; Tsokas et al. 2009).

Село Баница се намира на около 2 км северозападно от гр. Струмица в Македония (прил. III.7.1а). През 2007 г. при изкопни работи на дълбочина 1.9 м местни жители попадат на стабилен тухлен градеж, вероятно от римската епоха (прил. III.7.1б). Геофизичните проучвания бяха извършени през пролетта на 2008 г. по покана на НУ Завод и Музей - Струмица. Целта им беше да се установи наличието на аномални обекти в дълбочина, които могат да се свържат с добре запазени археологически структури, което да позволи на музея да кандидатства за държавно финансиране на бъдещи разкопки.

Обектът се намира в западния край на с. Баница, на 50-60 м южно от асфалтовия път за с. Водоча (прил. III.7.2а). Представлява част от селски двор, като граничи със съвременна жилищна постройка. Самият терен е равен, със съвсем лек наклон от юг на север. Проучена беше единствената площ от около 500 кв. м, на която нямаше сгради или не личаха останки от такива. Така например непосредствено на юг, на самата повърхност, личаха основите на стари казармени помещения.

Геофизичните проучвания бяха проведени чрез прилагане на електросъпротивителния метод. Голямата дълбочина на очакваните археологически структури (над 2 м) предопредели избора на системата на проучване, а именно, прилагането на двумерна и тримерна електросъпротивителна томография.

Първоначално беше извършено електросъпротивително картиране с двуелектродна схема на площ от 15х20 м. Целта им беше да се получи информация за стойностите на привидното електрическо съпротивление в повърхностния слой (дълбочина

50-60 см) и да се регистрира евентуалното наличие на плитко разположени структури, било то от археологическо естество или други, съвременни, които можеха да окажат „смущения" върху понататъшните измервания (прил. III.7.2б). Установено беше, че съпротивлението е слабо смутено, като се изменя плавно от 60 до 120 ohm. m в посока СЗ-ЮИ, като само в ЮИ част на площта се регистрират аномални отклонения, очевидно предизвикани от нарушения на терена при съвременни стопански дейности.

Редовите геофизични проучвания на площта включиха измерването на 16 (от пр. 0 до пр. 15) дълбочинни профила през 1 м с ориентация север-юг. Профилите бяха с дължина от 23 до 34 м, в зависимост от конкретните условия на терена. За провеждане на измерванията беше избрана схема Шлюмберже. Диполната схема беше отхвърлена като възможност поради лошите условия за заземяване на електродите на повърхността, която беше нарушена от съвременното ползване на терена. Освен това, получаването на качествени измервания при търсената дълбочина на проучване от над 2 м налагаше увеличаването на разстоянието между двойките електроди при диполната схема, което щеше да доведе до намаляване на резолюцията. Прилагането на триелектродната схема беше възпрепятствано от наличието на съвременни постройки и огради на имоти, което правеше невъзможно използването на схема с отдалечен електрод. Измерванията бяха извършени с 10 дължини на захранваща линия на схема Шлюмберже (AB от 3 до 21 м). Тези дължини осигуряват средна дълбочина на проучване от около 4 м. Приемните електроди MN и стъпката на измерване бяха фиксирани на 1 м. По някои от профилите бяха извършени измервания и с диполна схема, също с 10 различни дължини, при което се установи, че максималната дълбочина на проучване на схемата е около 2.5 м. За получаване на допълнителни данни бяха измерени и четири напречни дълбочинни профила с посока запад-изток и дължини - по 34 м (pr. pk. 3, 6, 18, 20; прил. III.7.2б). Данните от измерванията по дълбочинните профили бяха обработени с инверсионните програми Res2dinv и Res3dinv, които като резултат дадоха реален модел на разпределението на електрическото съпротивление в дълбочина.

По всички получени вертикални разрези от двумерното инверсионно моделиране много добре се отделят три слоя (прил. III.7.3-прил. III.7.5). Първият е от повърхността до дълбочина около 1 м. Характеризира се със сравнително високи съпротивления. Той е образуван при съвременната обработка на почвата и действащите повърхностни процеси довели до загубата на проводящи съединения. На много места в този слой има локални аномалии, регистриращи най-вероятно нарушения от съвременни стопански дейности. Под повърхностния пласт заляга втори, с ниски стойности на електрическото съпротивление. Той се регистрира на дълбочина приблизително между 1 и 2 м. Стойностите на съпротивлението му са сравнително хомогенни в рамките на 20-60 ohm. m. Пластът представлява, най-вероятно песъклив нанос с високо съдържание на глинеста компонента, образуван при постепенното свличане на материали от по-високите части на околния терен.

Под този пласт заляга трети, характеризиращ се с много високи стойности на съпротивлението (200-400 и повече ohm. m). Регистрира се на дълбочина между 2 и 3.5 м, но на някои места „нарушава" по-горния пласт и излиза по-плитко – до 1.5 м, а на други вероятно „слиза" и по-дълбоко. Очевидно този пласт е предизвикан от съществуващи тук археологически структури. Освен това, много добре се вижда, че в хоризонтална посока тези археологически структури имат от запад рязка граница, като не се простират под съвременната постройка (прил. III.7.6). Тук археологически-

ят пласт не се регистрира, а стойностите на съпротивлението са хомогенни и ниски – от 10 до 50 ohm. m. В същото време от разглежданите разрези може да се предполага, че археологическите структури се простират и на изток в неизследвания участък. Регистрираният археологически пласт не е хомогенен. В много участъци има редуване на високи и ниски стойности на съпротивлението, което говори за наличие на стабилни структури – останки от стени и други градежи, граничещи с пространства свободни от такива структури. На хоризонталните дълбочинни разрези (прил. III.7.7-прил. III.7.10) добре се отделят линейни структури, най-вероятно останки от стени. Едната е с посока запад-изток и минава приблизително по линията на пк.12-13 като продължава и на изток извън проучената площ. От западния й край на юг „тръгва" друга добре изразена аномалия по линията на пр. 13 и 14. Тя е с дължина около 8 м. Поради по-високите регистрирани стойности на съпротивлението, има вероятност археологическите структури в този участък да се разкриват по-близо до повърхността. Непосредствено на юг и на север от линейната аномалия с посока запад-изток се отделят други интензивни, но „аморфни" аномалии, очевидно предизвикани от археологически структури. Особено интензивна аномалия се регистрира и в южната част на изследваната площ. За съжаление поради доста ограничения периметър на проучване не може категорично да се твърди дали археологическите останки продължават и в северна посока.

Резултати:

В изследваната площ бяха регистрирани останки от археологически структури.

Останките са разположени на дълбочина между 1.5-2 и 3.5 м.

Регистрирани са линейни аномалии, най-вероятно, останки от стени или други стабилни структури.

Наличните данни показват, че западната граница на археологическите останки минава на около 2-3 м източно от съществуващата сграда.

Поради ограничената площ за изследване не са установени границите на обекта в източна и северна посока.

III. 8. ОБОБЩЕНИЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Приведените по-горе примери демонстрират по един безспорен начин възможностите на комплекса от геомагнитно и електросъпротивително картиране и двумерна и тримерна електросъпротивителна томография за успешното проучване на широк спектър от археологически обекти (селища, ямни полета, светилища) датиращи от ранния неолит до римската епоха.

Обектът при Халка бунар е може би най-пълно проученият от геофизична гледна точка археологически обект в България до момента, на който е приложен в пълна степен посоченият комплекс от методи. Едно много благоприятно обстоятелство в това отношение е възможността за детайлно сравнение между регистрираните геофизичните аномалии и разкритите археологически структури. Въз основа на двумерното съпротивително инверсионно моделиране е определена дълбочината на залягане на коренните наслаги и, съответно, дебелината на културния слой. Чрез геомагнитното картиране са регистрирани различни структури – глинобитни жилища от късния неолит и елинистическата епоха, пещи и ями. Съпротивителното картиране с двуелектродна и диполна схема, независимо от някои добрите резултати, се оказа неподходящо при проучване на такъв тип обекти. Преобладаващата част от структури-

те регистрирани от геомагнитния метод са „невидими" за електросъпротивителния. Установено е, че разграничаването на жилищата по периоди в зависимост от интензивността на измерения магнитен градиент, поне на този етап, не е възможна. Опитът за разделяне на пещите от ямите въз основа на интензитета на магнитните аномалии също не даде достатъчно добри резултати. Като цяло пещите дават по-силна аномалия. Все пак, от много голямо значение за амплитудата на измерената аномалия са размерите и пълнежът на ямите, от една страна, и степента на запазеност на самите пещи, от друга. Затова е рисковано определени аномалии категорично да се приписват като предизвикани от пещи или от ями. Последният много важен резултат е, че въз основа на геомагнитното картиране са определени границите на обекта.

Много добра илюстрация за възможностите на магнитната градиометрия при проучването на негативни контексти са откритите ями и ровове при Сърнево и Яблъково. На обекта при Сърнево са регистрирани ями от късния неолит, късната желязна и римската епоха. Самите аномалии са с по-нисък интензитет от тези, предизвикани от подобни ями от обекта при Халка бунар, което може да се обясни, преди всичко, с по-голямата дълбочина от повърхността, на която се разкриват ямите от Сърнево. Сравнението между геофизичните аномалии и резултатите от разкопките показват, че за разлика от елинистическите ями, голяма част от неолитните не са регистрирани. Това се обяснява с факта, че неолитните структури са с по-малка дълбочина и се разкриват на по-голямо разстояние от повърхността, поради което е възможно много от тях въобще да не могат да бъдат регистрирани. Ямите от късножелязната епоха са много по-дълбоки, по-компактни като размери, а голяма част от тях са със следи от опалване на място или съдържат горели мазилки, което означава, че съдържат материали с висока магнитна възприемчивост и термоостатъчна намагнитеност. В южния сектор са регистрирани две или, по-скоро, три концентрични линейни аномалии. Най-вероятно, те са предизвикани от ровове, които очевидно продължават и на юг извън границите на сектора.

В резултат на проучванията при с. Ябълково са засечени три концентрични рова. Отклоненията на магнитното поле предизвикано от рововете, подобно на тези от Сърнево, е от порядъка на 5-6 nT. За пръв път в света чрез прилагането на 2D съпротивително инверсионно моделиране са определени размерите (ширина, дълбочина, разстояние от повърхността) на рововете. Със сравнително отчетлива положителна аномалия се отделя само вътрешният ров. Той е с ширина в горната си част около 2 м. Дълбочината му е също около 2 м. Външният ров се регистрира много по-слабо. Очевидно той е с по-малки размери, а пръстта, с която е запълнен, се различава незначително като характеристика от наслагите, в които е вкопан. Хоризонталното разстояние между вътрешния и външния ров е около 15 м, каквото е и по данните от геомагнитното картиране. Средният ров въобще не може да бъде отделен. Възможно е в зоната на електросъпротивителния профил той да не съществува или, по-скоро, запълнителят му да е със съпротивление еднакво с това на вместващата среда.

Много показателни за широките възможности на магнитната градиометрия са проучванията на два сходни обекта от II-IV в. при селата Горско Абланово и Скобелево.

Геомагнитното проучване при с. Горско Абланово регистрира серия от линейни аномалии с ниски отрицателни стойности на магнитния градиент, които, всъщност, очертаха контурите на цял сграден комплекс с размери около 55 на 60 м. Амплитудата на аномалиите е от порядъка на 5-6 nT. Тези ниски стойности се обясняват с

малките разлики между магнитната възприемчивост на средата (алувиални наслаги) и материала използван за градежите – варовик, който е с магнитна възприемчивост близка до нула. Независимо от това, тези резултати показват, че магнитната градиометрия успешно може да се прилага и в такива неблагоприятни условия.

В резултат на геомагнитното картиране при с. Скобелево е регистрирана голяма стопанска сграда с размери в план около 20х35 м, с няколко отделни помещения и вътрешен двор. Магнитните аномалии предизвикани от стените на сградата достигат до 25-30 и повече nT. В същото време, при археологическите разкопки беше установено, че основите на стените са от дребни неоформени ломени камъни на калова спойка и са запазени едва до 10-20 см във височина. Очевидно, те са изградени от скален материал с много високи магнитни свойства (магнитна възприемчивост и термоостатъчна намагнитеност), най-вероятно от разкриващите се в района горнокредни андезити и други вулканити, което благоприятства регистрирането на толкова слабо запазени структури с толкова отчетлива магнитна аномалия. На запад и на изток от разкритото стопанство също бяха регистрирани аномалии, очевидно предизвикани от човешка дейност в античността, които обаче не бяха толкова добре изразени. Те свидетелстват, че археологически структури подобни на вече откритите съществуват в цялата изследвана площ (както на юг, така и далеч на север), което позволи на археолозите да интерпретират проучвания обект като селската агломерация (коме, викус).

Макар и по-бавен като процес на измерване електросъпротивителният метод може успешно да се използва при проучването на малки площи и при наличието на източници на смущения, правещи магнитния метод неприложим. В зависимост от гъстотата на измервателните точки най-широко използваната схема – двуелектродната може да осигури картирането от един до три дка на ден. В същото време, прилагането на двумерната и тримерна електросъпротивителна томография може да осигури незаменима информация, когато се търсят структури разположени на по-голяма дълбочина.

Една отлична илюстрация за ползата от комбиниране на електросъпротивителното картиране с 2D инверсионно моделиране са проучванията на светилището на нимфите при с. Каснаково. Чрез картиране с двуелектродна схема са очертани стените на сграден комплекс. По няколко профила измерени по метода HBEC е установено, че стените му са с дебелина около 70 см и са запазени до дълбочина 1.5-2 м.

Проучванията на обекта при с. Баница, Македония са един от малкото примери в света за приложение на тримерната електросъпротивителна томография при проучване на археологически обекти. Проучена е площ от около 500 кв. м, при което, в резултат на тримерното инверсионно моделиране на данните от измерванията, са регистрирани археологически структури разположени на дълбочина между 2 и 3.5 м.

Геомагнитните изследвания предлагат най-бързото проучване в сравнение с различните други геофизични техники. Те регистрират широк спектър от структури, резултат от човешката дейност в древността. Тези подложени на нагряване, като пещи и огнища или глинобитни постройки, загинали при опожаряване, но също и негативни структури, като ями и ровове. Освен в случаите, когато са изградени от силно магнитни материали, магнитометрите реагират по-слабо на каменни основи на стени, въпреки че и в този случай успешно ги регистрират.

Основният уред на геомагнитното проучване е флуксгейт градиометърът. Този инструмент съчетава висока точност (до 0.1 nT), лека конструкция и голяма скорост на измерване. Все по-популярни стават и оптично-абсорбционните магнитометри.

Те предлагат по-висока чувствителност (до 0.05 nT) и подобна скорост на измерване. Практически, при едни обичайни условия, разликата между двата типа инструменти в способността им да регистрират археологически структури е минимална. По-високата точност на оптично-абсорбционните магнитометри обикновено е ограничена от смущенията предизвикани от самия състав на почвата. В зависимост от гъстотата на измервателните точки, с един флуксгейт магнитометър за ден може да бъде покрита площ от 4-5 до 10-15 дка. Самата компютърна обработка вече е напълно стандартизирана, така че трансфера на измерванията от уреда към компютъра, математическите операции и окончателното представяне на резултатите отнема минимално време, от порядъка на няколко часа.

Понякога, за да може да се покрие максимално голяма площ, се налага ориентацията на мрежата да бъде съобразена с конкретните условия на терена (посока на сервитута на магистрала, наличие на метални огради или пречеща растителност). В тези случаи мрежата може да е ориентирана и косо. Съвременните флуксгейт магнитометри, макар да са чувствителни спрямо посоката на измерване, са конструирани така, че да могат да се настройват, за да елиминират влиянието на това отклонение.

За предпочитане е при наличието на един толкова бързо работещ уред като флуксгейт градиометъра да се проучи възможно най-детайлно предвидената за изследване площ. В такъв случай стъпката на измерване по профилите не трябва да е по-голяма от 25 см. Модерните магнитометри могат да правят до 10 измервания в секунда, имат голяма вградена памет, която бързо се прехвърля в компютър. Така че, броят на измерванията по профилите не оказва влияние на времето за покриване на дадена площ. Това не се отнася за разстоянието между профилите, като нужното време е право пропорционално на гъстотата на профилите. Така че, когато основната цел е да се установи наличието или отсъствието на археологически структури, едно максимално разстояние от 1 м е напълно приемливо. Ако е необходимо, обаче, регистрирането на по-малки структури, като ями, е препоръчително стъпката да е 50 см.

Извършените геомагнитни проучвания на няколко напълно различни по своя характер и датировка археологически обекти дадоха отлично потвърждение на един факт, в който вече все повече археолози се убеждават – нуждата от геофизичното изследване на възможно най-големи площи, включително такива, които едва ли ще бъдат обект на разкопки в обозримо бъдеще. В това отношение полезни може да се окажат не само предварителните проучвания с цел регистриране на съществуващи археологически останки за насочване и планиране на разкопките, но и тези, извършени след тях. Като че ли, това в най-голяма степен важи за спасителните разкопки по инфраструктурни проекти и, най-вече, при тези по трасетата на бъдещите магистрали и газопроводи. При тях археологическите проучвания са ограничени в един тесен коридор с максимална ширина до 40-50 м и дължина до няколкостотин, и даже повече, метра. Очевидно, това е обстоятелство, което не позволява пълноценната интерпретация на документираните археологически ситуации. Ето защо, е удачно и препоръчително при такива обекти да се договорят и извършат геофизични проучвания на възможно най-големи площи извън сервитута и по този начин разкритите при археологическите разкопки структури да бъдат поставени в техния естествен пространствен контекст (виж III. 3 и III.4). Много често такива широкомащабни проучвания са възпрепятствани от съвсем естествени обстоятелства – наличие на селскостопански насаждения или дълбока оран. Това може да наложи проучването на предвидените площи да се извърши в няколко кампании, когато теренът е най-подходящ за работа.

При това тези площи може да не са обхванати в обща геодезична мрежа. Проучванията може да се извършат по локални мрежи с ориентация позволяваща максимално покритие, които са прецизно привързани към някоя от световните координатни системи WGS84 или UTM (виж III. 2).

През последните години се наложи практиката преди археологическото проучване на обектите по трасетата на бъдещите магистрали да се отнема с машини повърхностният почвен слой, нарушен при селскостопанската обработка. Много често това се извършва и преди извършването на геомагнитното картиране. При това има опасност от засягането на плитко разположени археологически структури. Ето защо е резонно такава намеса да се извършва едва след като площта е проучена с геофизична техника, при което е установено наличието или отсъствието на такива структури. Първоначалното геомагнитно проучване би могло след това да се дублира с ново, извършено след отнемането на повърхностния слой. Така ще се избегне смущаващото влияние на съвременни железни предмети намиращи се в повърхностния слой и, по този начин ще могат да се регистрират по-малки или по-дълбоко залягащи структури. Това не би забавило или оскъпило проучванията, тъй като геомагнитното картиране на един обект с площ от 10 дка (дължина 250 м и ширина 40 м, какъвто обикновено е сервитутът на магистралите) в зависимост от детайлността на проучване отнема от един до два дни.

IV. ОПТИМИЗИРАНЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА ПРОУЧВАНЕ НА НАДГРОБНИ МОГИЛИ

Надгробните могили са разпространени в един обширен географски ареал. Те се срещат в почти цяла Европа, като се започне от Скандинавския полуостров, Англия, Западна и Централна Европа, Апенинския и Балканския полуостров и се стигне до Южна Русия. На изток те продължават от Мала Азия през Казахстан и Сибир до Китай и Япония. Могили има дори в Южна и Северна Америка. Тракийските надгробни могили са може би най-многобройните и ясно забележими паметници от древността по нашите земи. Броят им е трудно да бъде определен, но според Георги Китов (1993, 43) е около 50000. Тайните, които са скрити в тях, винаги са били предмет на интерес от страна на археолозите. Може би затова, съвсем естествено, едни от първите опити за приложение на геофизичните методи в България са именно на могили.

IV.1. СЪСТОЯНИЕ НА ГЕОФИЗИЧНИТЕ ПРОУЧВАНИЯ НА МОГИЛИ.

Първите проучвания на тракийски надгробни могили в България са извършени от геофизици от италианската фондация Леричи през далечната 1963 г. (Fondazione Lerici 1963). Те правят измервания на шест могили в района на Казанлък. Целта им е търсене на монументални гробници. Ето защо, в началото на своя престой в България, те се насочват към три района, където могат да се очакват такива съоръжения – Казанлъшко, в околностите на Пловдив и около българо-турската граница. В крайна сметка, те решават да не разхвърлят усилията си и да проучат повече могили в един район, където със сигурност се срещат тракийски гробници. Разглеждайки могилите в Казанлъшко, те ги разделят по размери: малки (с височина до 2-3 м), средни до големи (височина до 5-6 м) и много големи (над 10 м и диаметър 70-80 м), една класификация, която изглежда съвсем резонна. Изборът им пада на шест могили – две малки, две средни и две много големи. Измерванията са извършени с използването на електросъпротивителния и геомагнитния метод. Мрежата на измерване е радиална и се състои от 80 линии, минаващи през центъра на могилата. В доклада си проучвателите споменават, че трябва да се извършат измервания по кръгови профили, но такива не са използвани. Те отбелязват също, че при геомагнитните измервания трябва да се очаква влияние на самата могила като релефна форма, но смятат, че локалните магнитни аномалии предизвикани от гробници, ще се отделят лесно на фона на това регионално магнитно поле, чиято интензивност е трудно да се предвиди. За електросъпротивителните измервания е използвана електродна схема Венер с разстояние между електродите от 1.5 м и същата стъпка по профилите, а за геомагнитните – протонен магнитометър с височина на сондата 1 м и такова разстояние

между измервателните точки. В крайна сметка, напълно са проучени само четири могили – двете малки и двете средни. На много големите могили, поради трудности породени от високия наклона на склоновете им, са направени само измервания по няколко съпротивителни профила. Магнитопроучването се е оказало невъзможно, поради наличието на голямо количество съвременни метални отпадъци. Въз основа на получените данни, в две от средните могили са регистрирани магнитни аномалии, за които е направено предположение, че може да са предизвикани от зидани гробници (Fondazione Lerici 1963, 10-11). И в двата случая аномалиите са положителни и са разположени в югозападните сектори на могилите. Достатъчно отчетливи аномалии на привидното електрическо съпротивление, които да могат да се свържат с наличие на гробно съоръжение, не са регистрирани в нито една от могилите. В интерес на истината трябва да отбележим, че с опита, който сме натрупали до момента, по представените в отчета на италианския екип карти от геомагнитните измервания, на нито една от могилите не може да се отдели аномалия, която да може да се свърже с наличие на голямо гробно съоръжение.

След десетгодишно прекъсване, голям екип от Висшия минно-геоложки институт (ВМГИ), ръководен от гл. ас. Ради Радков предприема геофизични проучвания на могили от некропола при Свещари (Радков et al. 1974; Радков et al. 1978; Авдев et al. 1983. Те имат опитно методичен характер, като целта е разработване на рационална методика за търсене на могилни гробници. След като правят кратък обзор на геофизичните методи, които могат да бъдат приложени, проучвателите се спират на електросъпротивителния и геомагнитния метод. Проучени са шест могили, като сред тях са Омуртаговата (могила № 1) и Гинина могила (могила № 6). Мрежата на измерване е радиална с профили през центъра на могилите. Само при могили №№ 1 и 6, които са двете най-големи в некропола, са направени по два кръгови профила. Използвана е електродна схема Шлюмберже с разстояния между захранващите и приемните електроди съответно: за могили №№ 1 и 6 - AB = 30 и 40 м и MN = 5 и 10 м, за останалите могили AB = 20 и 30 м и MN = 5 м и за кръговите профили AB = 12 и 3 м. Разстоянието между точките по профилите в периферията на могилите е повече от 8 м, а разстоянието между измервателните точки по профилите е определено на 3 м. По същите профили, със същата стъпка са извършени геомагнитните измервания. Използван е механичен магнитометър М-23, измерващ вертикалната компонента на земното магнитно поле. Тъй като са използвани много големи разстояния между захранващите електроди са се получили интензивни релефни аномалии на стойностите на измереното привидното съпротивление. Ето защо, голяма част работата на проучвателите е насочена към елиминиране на това влияние. Предложен е метод за отделяне на локалните аномалии чрез усредняване, който, според авторите е качествен, но е предназначен само за търсене на аномалии в периферията на могилата. Според тях „аномалиите предизвикани от гробници в центъра на могилата няма да могат да бъдат отделени" (Радков et al. 1978, 304). Изследователите са отчели и съществуващото силно влияние на самия могилен насип върху геомагнитните измервания. Предложеният от тях алгоритъм за елиминиране на това влияние е изключително сложен и те се отказват от неговото използване. В крайна сметка, най-добрите резултати от цялото проучване са получени от измерванията по кръговите профили на могила № 6. И по двата измерени профила е регистрирана интензивна аномалия на привидното електрическо съпротивление, достигаща стойности до два пъти фоновите. Това дава право на екипа, съвсем основателно, да заключи, че в могилата успешно е регистри-

рана гробница. В същото време сега вече е очевидно защо тази гробница не е засечена с радиалните профили. Това е така, защото в тази част на могилата разстоянието между радиалните профили е около 9 м, и те всъщност минават от двете ѝ страни, без да я регистрират. Освен това може да се направи и едно друго заключение, което авторите не правят. Добрите резултати са получени с най-малкото разстояние между захранващите електроди използвано при електросъпротивителните измервания – AB = 12 м.

Близо 10 години по-късно, през есента на 1982 г., проведените въз основа на данните от геофизичните изследвания археологически разкопки разкриват вече световноизвестната гробница в Гинина могила (Fol et al. 1986, 20). Това откритие води до засилен интерес на археолозите към могилите от некропола при Свещари и до нуждата от широко мащабното им предварително геофизично проучване. С тази задача се заема екип от Лабораторията за инструментални методи в геотехниката и археологията (ЛИМГА) към Лабораторията по геотехника на БАН под ръководството на инж. Илиян Катевски. За период от няколко години след 1982 г. са изследвани голяма част от големите и средни могили (включително тези проучвани от екипа на ВМГИ), както и няколко малки от Източния некропол при Свещари и няколко могили от Западния. Водещ е електросъпротивителният метод в модификация симетрично профилиране. Имайки предвид опита от проучванията на ВМГИ, освен по радиални профили, се въвежда задължителните измервания и по кръгови профили и използването на по-къси захранващи линии (Katevski 1986). Измерванията на Омуртаговата могила, например, са извършени по 26 радиални профила. Разстоянията между началните точки по профилите е от порядъка на 10 м, което не осигурява достатъчно детайлно проучване. Затова са направени и измервания по кръгови профили през 2 м. Използваните разстояния между захранващите електроди са AB = 10 и 20 м, а между приемните – 2 м, при стъпка на измерване също 2 м. Така в югоизточната част на могилата е регистрирана голяма позитивна аномалия. В участъка на аномалията са направени детайлизационни измервания по правоъгълна мрежа с размери 27 на 16 м. Използвана е електродна схема с дължини – AB=10 м и MN=1 м при разстояние между профилите и стъпка по тях – 1 м. Детайлизационните измервания успяват съвсем точно да оконтурят един обект с правоъгълна форма и размери в план приблизително 9 на 7 метра и площ от над 60 кв. м. С прилагането на същата методика са регистрирани и гробниците в могили 12 и 13 от некропола (Katevski 1992; Катевски 1996; Гергова 1996).

По същото време на Гинина могила и могила 13 от некропола при Свещари са извършени опитни изследвания за приложението на сеизмичния метод (непубликувани резултати на инж. Васил Коснстантинов от ЛИМГА, на когото благодаря за предоставената информация). Измерванията са проведени с шестканална сеизмична станция на фирмата OYO, Япония по профилни линии с посока запад-изток над разкритите вече гробници в тези могили. Използван е методът на пречупените надлъжни и напречни вълни. За генерирането на сеизмична вълна е използван чук с тегло 10 кг. Резултатите са оценени като незадоволителни, като причините за това са потърсени в няколко посоки: малките размери на търсените обекти в сравнение с дължината на сеизмичните вълни; постигнатото много ниско съотношение сигнал-шум, поради работата в най-горния слой от геоложкия разрез, който е и с най-лоши акустични показатели и най-голямо поглъщане на сигнала; наличието на близко разположен високоскоростен пласт (варовици), който усложнява решаването на обратната задача

на сеизмопроучването.

С новите проучвания на могили от некропола при Свещари започва и използването на протонните магнитометри. Направени са измервания както на малки, така и на една голяма могила (Тонков 2005). Изследван е и участъкът в района на аномалията на Омуртаговата могила, при което е установено, че смутителят се регистрира и от геомагнитните измервания. Освен това е предложена една бърза и проста процедура за отстраняване на магнитното поле, създавано от могилния насип и от самата могила като релефна форма (Tonkov 1996a).

В същото време, порастналата нужда от геофизични проучвания на могили, налага прилагането на нововъведения с цел ускоряване процеса на самите измервания. За тази цел са разработени и въведени в употреба многожилни кабели и автоматични превключватели (Tonkov 1996b). Те позволяват автоматична промяна на електродната схема и на измервателната точка по профилните линии. Това ускоряване на процеса позволява измерванията да не се ограничават само с една или две електродни схеми. По този начин през електросъпротивителните проучвания могат да се поставят нови задачи. Не търсене само на гробници, а възможно най-пълно изследване на могилния насип за структури с различни физични характеристики и размери, разположени на различни дълбочини, които могат да представляват археологически интерес или с които археолозите трябва да се съобразяват в процеса на провеждането на разкопките, особено в случаите, когато се ползва земекопна техника. Тези нововъведения позволяват и да се експериментира със схеми, неизползвани преди това. Така започва тестовете с диполните и други схеми, както и първите опити за прилагане на електросъпротивителната томография при изследване на могили (Тонков 2003).

Независимо, че са толкова широко разпространени, публикуваните примери от чужбина за приложение на геофизичните методи при проучване на могили са сравнително много малко. В обобщителните трудове за археологическата геофизика могилите отсъстват като потенциален обект на изследване (виж напр. Clark 1990; Gaffney et al. 1991; Gaffney, Gater 2003; Campana, Piro 2009). В обзорната си статия за новите тенденции в развитието на археологическата геофизика на един от нейните доайени Крис Гафни (Gaffney 2008) единствените два посочени примера за проучване на могили са от Англия (Astin, Eckardt, Hay 2007) и от България (Tonkov, Loke 2006). Тази празнина може би се дължи на факта, че този вид паметници са толкова многобройни единствено в земите на древна Тракия и затова са едни от най-често проучваните археологически обекти в наши дни. От друга страна, в страните от Западна Европа археологията е започнала своето развитие още през 19-ти век и най-атрактивните могили са били проучени още преди въобще да е съществувало понятие като археологическа геофизика. И последно, проучването на надгробни могили е геофизичен проблем, който е на границата между археологията и геологията. Търсят се малки, разнообразни по своя характер структури, разположени понякога на голяма дълбочина, което изисква специална апаратура и методика на изследване. В същото време, екипите проучващи традиционните археологически обекти обикновено не разполагат с такава апаратура, а геофизиците от геоложките и инженерно-геоложките фирми, които я притежават, нямат опит в изследването на такива специфични цели. Ето защо, в преобладаващата част от случаите, публикуваните изследвания на могили извън България имат опитен характер. Целта им е изясняване на възможностите на един или друг геофизичен метод при проучването на такъв тип паметници или даже

при проучването на конкретна могила(и)[23]. Много често тези опити нямат за цел пълното проучване на дадена могила за наличието на археологически структури, а са насочени към търсенето само на големи гробни конструкции, изясняване характеристиките на могилния насип или други конкретни задачи. В тези случаи изследванията се ограничават до използването само на един конкретен метод или до отделна част от могилата. В други случаи, пък, проучванията се правят във връзка с археологически проекти с голямо финансиране, при което се прилагат много различни геофизични методи и разнообразна апаратура, без да се жалят средства и с единствената цел да се реши конкретната поставена задача. Много често докладваните изследванията не са последвани от археологически разкопки и така не може да се прецени до каква степен те наистина са сполучливи. Засега нямаме публикации от проучванията на много на брой могили с последвали разкопки извън България, при което да могат да се оценят коректно направените прогнози.

Едни от пионерите в прилагането на геофизичните методи в археологията – фондация Леричи, Милано, са и първите, които правят опити за откриване на етруски гробници в могили (Lerici 1955, Lerici 1960a, Lerici 1960a, Carabelli 1966). Те използват методите на пречупените и на отразените сеизмични вълни, предизвикани с механичен източник и генератор на звукова вълна. За съжаление, въпреки че експериментите им са много добре описани, резултатите от проучванията не са толкова ясни и, поради това те трудно могат да бъдат определени като успешни, а предложената методика – като ефективна. Може би това е една от причините при опитите им за проучване на тракийски надгробни могили в България те да предпочетат електросъпротивителния метод (виж коментара по-горе).

Може би съвсем логично един от първите публикувани опити за приложение на геофизичните методи при проучване на могили извън България е от Гърция. Цокас и Рока (Tsokas, Rocca 1987) изпробват електросъпротивителни измервания по метода на вертикалното електрическо сондиране (ВЕС) по правоъгълна мрежа на една малка могила в Северна Гърция. Те използват различни способи за сравняване на кривите от ВЕС. Макар да не успяват да регистрират съществуващата в могилата гробница, използваната техника позволява да се засече ръбът на антична яма. Те обясняват лошите резултати от прилагането на метода със значителната нехомогенност на могилния насип и наличието на плитко залягащи коренни скали.

Няколко години по-късно екип ръководен отново от Грегори Цокас прави опитни изследвания за търсене на македонски гробници в Северна Гърция (Tsokas et al. 1995). Този път е използван сеизмичният метод на пречупените вълни. Според тяхното описание начинът на изграждане на македонските гробници е следният (всъщност, много по различен от този на изграждане на тракийските гробници). Най-напред в равния терен се изкопава голяма яма (примерно, с размери 25х25 м), като в единия й край се оформя рампа (дромос), която се използва за сваляне на материалите, с които ще се изгради гробницата. След това гробницата се засипва с могилния насип. Очевидно този насип е с много различни геофизични характеристики от тези на околния терен. Според проучвателите в 90% от случаите гробниците са разположени близко до периферията на могилите. Този факт води до извода, че античната рампа може

23 Много показателна в това отношение е обявената през 2011 г. докторантура към Университета „Кристиан Албрехт" в Киел, Германия на тема „Разработване на недеструктивен метод за проучване на големите елинистически могили при Бергама, Турция" (www.uni-kiel.de/landscapes).

да бъде засечена много по-лесно от самата гробница, която така ще бъде регистрирана индиректно. Пълнежът на рампата ще е от много по-слабо консолидирана пръст, отколкото околния терен. Така при удар в центъра на могилата, сеизмоприемниците, разположени кръгово по периферията на могилата, ще регистрират закъснение на сеизмичната вълна в зоната на рампата причинено от различията на пълнежа й. Опитните сеизмични измервания направени на могила с височина 11 м и диаметър около 80 м с вече разкрита македонска гробница потвърждават правилността на направените заключения. След това методът е приложен на още три подобни могили в този район, при което и в трите са установени македонски гробници.

По същото време Пинар и Акчиг (Pinar, Akcig 1997) извършват опитни геофизични проучвания на една могила в североизточна Турция. Те прилагат електросъпротивителния метод в два етапа. Най-напред картират могилата чрез измервания с двуелектродна схема в 90 точки по 4 кръгови профила разположени през 3 м един от друг. Разстоянието между двойката подвижни електроди е 2, 3 и 4 м, което според авторите (не съвсем коректно) осигурява дълбочинност от около 4 м (Pinar, Akcig 1997, 17, 19, fig. 6). Разстоянието между измервателните точки по различните профили е 2 и 3 м. Това означава, че максималната гъстота на проучването е 2х2 м. Въз основа на резултатите от съпротивителното картиране е отделена аномална зона (стойности от порядъка на 20% от фоновите) разположена, най-общо, в западната част на могила. В този участък са направени измервания по метода ВЕС със схема Шлюмберже в 45 точки в рамките на един правоъгълник с размери 8х16 м. В резултат на интерпретацията на измерванията изследователите успяват да установят наличието на гробна камера с размери 4х4 м и дромос към нея с дължина 10 м и ширина около 3 м. За съжаление в статията правят впечатление някои несъответствия. Според авторите могилата е висока 6 м и има диаметър 80 м. По представените планове от проучванията, обаче, би трябвало диаметърът на могилата да е около 25 м. Освен това не са споменати разстоянията между захранващите и приемните електроди използвани при измерванията ВЕС. Описанието на методиката на интерпретация на измерванията по профилите ВЕС също е недостатъчно пълно.

Възможностите на нискочестотни електромагнитни методи са илюстрирани чрез използването на уреда EM-31 с работна честота 9.8 kHz (**Fröhlich Gugler,** Gex 1996) за проучването на една келтска могила в кантон Фрибур, Швейцария. От разкопки на други могили в района, както и при частичното разкопаване на самата могила преди това, е било известно, че гробните съоръжения, които може да се очакват са малки камери със стени и покрив изградени от тънки кварцитни плочи. Измерванията обхващат не само могилата, но и нейните околности. Оказва се, че данните от измерванията се нуждаят от задължителни корекции заради различни систематични и случайни грешки. Резултатите от проучванията се оценяват от самите автори като неуспешни. По никакъв начин те не успяват да регистрират видима аномалия над известна затрупана каменна стена. За сметка на това, успешно е бил засечен с положителна аномалия на електрическата проводимост вече запълненият ров около могилата.

През 1997 г. широкомащабни опитни георадарни изследвания са извършени от екип геофизици от Геологическия факултет на Университета в Триест (Pipan et al. 2001). Те изследват няколко могили принадлежащи на групата скитски племена известни като Саки, населяващи Централна Азия. Единствените паметници достигнали до наши дни от тези племена са многобройните могили (разположени най-вече по

пътя на копринатa), които археолозите разделят в две групи: царски могили – с височина до 8 м и диаметър до 60 м и плоски могили – с височина до 1 м и диаметър до 20 м. При изследванията е използван георадар RAMAC с антени с работна честота от 50, 100, 200 и 400 MHz. Поради слоеве от много фини наслаги максималната дълбочина, която успяват да постигнат е 2-2.5 м. Освен това е регистрирано много силно разсейване на сигнала причинено от наличието на слоеве съдържащи по-големи или по-малки речни камъни. Особено отчетливо е то при антените с честота 200 и 400 MHz. Опитите чрез използване на допълнителна програмна обработка на сигналите не дават добри резултати. Поради това е счетено, че поставената цел за откриване на гробници в царските могили е неизпълнима (Pipan et al. 2001, 150, 154). Същото заключение е направено и за плоските могили с каменно покритие, което освен че предизвиква голямо разсейване на сигнала, възпрепятства доброто контактуване на антените с повърхността. Поради това изследователите препоръчват използването на антени с честота под 100 MHz, но подчертават, че въпросът с откриването на гробни съоръжения в такива могили остава открит. Така че добри резултати са получени само от плоските могили без каменно покритие. В резултат на проучванията на една такава могила на дълбочина 1 м е открита гробна яма. В още няколко от плоските могили георадарните изследвания също регистрират аномалии, предполагащи наличието на подобни гробни съоръжения, които са били обект на бъдещи разкопки.

През 1998 г. голям екип начело с Апостолос Сарис от Лабораторията за геофизични и спътникови дистанционни методи към Института за средиземноморски изследвания на о. Крит предприема изследвания на могили в района на Комотини, Северна Гърция (Sarris et al. 2000). Проучени са четири могили като са използвани георадар Puls EKKO 1000 с 25 и 100 MHz антени, електросъпротивителна система RM 15 и флуксгейт градиометър FM 36. Получените резултати може да се оценят като несполучливи. Това, преди всичко се дължи на неудачния избор на апаратура. Използването на георадарни антени с толкова ниска честота е по-подходящо за решаване на инженерно-геоложки задачи, отколкото за търсене на гробни съоръжения, при това в малки могили. Използваният резистивиметър на Geoscan Research е фабрично конструиран за бързо картиране на големи площи с плитко разположени структури (до 60-70 см) с предимно линейни характеристики, което го прави неподходящ за проучване на могили. Оказва се, че в района на проучваните могили скалите са с много високи магнитни свойства, поради което и резултатите, получени с магнитометъра също не са впечатляващи.

Пример за електросъпротивителни изследвания на една могила в близост до гръцката колония Танаис е докладван от Кшищов Мишевич от Полската академия на науките (Misiewicz 2003, 71-73). Тъй като могилата е била обект на археологически разкопки в миналото, проучванията са обхванали само северната ѝ половина. Използвана е двуелектродна схема с разстояние между подвижната двойка електроди MN от 1 м, която според автора трябва да осигури дълбочинност от 1.5 м. За съжаление в публикацията не са приведени данни за височината на могилата и използваната мрежа на измерване. В резултат на проучванията са очертани няколко аномалии, за една от които авторът не изключва, че може да е предизвикана от гробна камера. Освен това е установено, че могилата има диаметър с 8-10 м по-голям от този даден от първия археолог, който е правил разкопки през 1853 г.

Един типичен пример за използването на голям набор от геофизични методи за решаването на една конкретна задача е изследването на две могили в района на

Гама Упсала, Швеция (Persson, Olofsson 2004). Те са част от некропол от три могили известен с името „Кралските могили". При извършени в средата на 19-ти век разкопки на едната от могилите (Източната могила) чрез един тунел е достигнато до голямо каменно струпване (диаметър около 15 м и височина около 2.5 м), разположено в централната й част. Под струпването са открити урна и погребална клада. След разкопките урната е върната обратно, каменната могила е възстановена, а тунелът - рухнал с течение на времето.

Целта на археологическите разкопки, предвидени по този проект, е да се достигне до струпването, да се открие урната и евентуално други находки, които да се изучат „с модерни аналитични методи". Задачата на геофизичното проучване, от своя страна, е да се подбере най-подходящо място, откъдето да се прокара археологическия сондаж към каменното струпване, като при това се изследват и възможностите на един комплекс от геофизични методи. За целта са използвани електромагнитните уреди EM 31 и EM 38 (14.6 kHz), георадари Pulse EKKO IV с антена 200 MHz и Ramac с антена 500 MHz и флуксгейт градиометър Vallon. Общата стойност на изброената по-горе геофизична апаратура е от порядъка на 100 000 Евро. В крайна сметка цялото изследване се състои от прекарването на три георадарни профила с посока юг-север и два перпендикулярни на тях през центъра на могилата и още множество допълнителни измервания с останалата апаратура. По измерванията от георадарните профили авторите успяват да регистрират каменното струпване. Изследванията с останалите уреди, обаче, не дават повече от тази информация. Единствено с електромагнитния уред EM 38 е регистрирана една линейна аномалия, която е интерпретирана като предизвикана от каменна стена. Представените резултатите от измерванията с EM 31 и магнитометъра са неясни и, най-общо казано, непредставителни.

Подобни задачи си поставят и изследванията на четири римски могили от района на Бартлоу в Англия (Astin, Eckardt, Hay 2007). Могилите с височини между 6 и 13 м и диаметри между 30 и 45 м са разкопани в периода 1815-1840 г., като са открити погребения с богат инвентар, датирани в I-II век сл. Хр. Целта на геофизичните проучвания е да се установи начина на натрупване на могилите и по какъв начин са проведени старите разкопки – с тунели от периферията или с шахти от върха. Изследванията на четирите могили включват електросъпротивителни измервания по метода на непрекъснатото електрическо сондиране (HBEC, или още известно като електросъпротивителна томография - ERT) по общо 24 линии. Използвана е електродна схема Венер с разстояние между потенциалните електроди 1 и 2 м и до 8 и 12 пъти по голямо разстояние – между захранващите. Измерванията със схема Шлюмберже по един от профилите не са дали значително по-добри резултати. Диполна схема не е използвана заради нейната по-слаба дълбочинна резолюция (Astin, Eckardt, Hay 2007, 29). Резултатите от инверсионното моделиране при две от могилите демонстрират зони с ясно изразени положителни аномалии на електрическото съпротивление под върховете им, започващи почти от върха и достигащи, при едната – почти до основата, а при втора – да 4-5 м над основата. И двете аномалии са интерпретирани като предизвикани от пълнежа на срутилите се шахти от старите археологически разкопки, които явно са провеждани от върха към основата на могилите. При останалите две могили са регистрирани близки до хоризонтални положителни аномалии, които са интерпретирани като запълнени тунели за достъп от периферията или особености в насипа, предизвикани от самия материал за натрупването му.

Успешно открита с помощта на георадар малка гробница в могила е докладвана

от Дийн Гудман (Goodman et. al. 2009, 498-499). Гробницата с размери около 4 на 2 м е открита в периферията на могила с височина около 3 м на около 70 см под повърхността. За съжаление проучванията са илюстрирани само с един георадарен профил. Авторите не дават никаква информация за мрежата на измерване, използваната антена и т. н., с изключение на това, че данните от измерванията са коригирани за изкривяването на антената от наклона на могилата.

Примери за георадарни, електросъпротивителни и геомагнитни изследвания има и за могилни гробници от т. нар. тип „ключалка" от периода V-VIII в. в Япония (Kamei et al 2000; Goodman et. al. 2009, 495-498). Тези гробници обаче, нямат нищо общо с тракийските. Те представляват, всъщност, едни широки ровове с размери от порядъка на 45 на 10 м, затрупани с насип, и тяхното проучване не може да има принос за възможностите на използваните методи при проучването на тракийските надгробни могили. Поради същата причина няма да се спираме и по-подробно на геофизичните проучвания на китайските геофизици на могилата на император Кин Ши Хуан, които в резултат на гравиметрични, магнитни, електросъпротивителни, георадарни и радиометрични измервания, са открили в нея мавзолей, който е с размери 145x125x14 м и стени дебели 8 м (Yuan, Liu, Lu 2006).

Подобен е случаят и с проучванията на Голямата могила при Барсучий Лог в Минусинската котловина в Сибир (Von Hermann, Nagler, Gotlib 2010). Могилата е с височина около 8 м и диаметър около 80 м и принадлежи на тагарската къснобронзова култура. Екип на частната геофизична фирма Eastern Atlas, Берлин извършва геомагнитно картиране на могилата. Използван е флуксгейт градиометър Foerster 4021 с разстояние между сензорите 0.4 м. В резултат на проучванията с линейна негативна аномалия от порядъка на 10 nT е очертана структура с приблизително квадратна форма в план и размери около 55x55 м. Археологическите разкопки разкриват оградна стена изградена от девонски пясъчници с дебелина от над 5 м и височина до 2 м, която на места е запазена до самата повърхност на могилата. Освен това непосредствено югоизточно от центъра на могила се очертава обширна негативна аномалия с почти същия интензитет. Тя съвпада с обширна депресия на могилния насип с овална форма с размери около 20x15 м и дълбочина около 4.5 м. На това място археологическите разкопки разкриват голяма гробна конструкция доста различна от откриваните в Тракия. Тя представлява постройка с размери 15x12 м и предполагаема височина около 6 м. Била е изградена от дебели дървени греди в направен в основния терен изкоп с дълбочина около 4 м. Описаната по-горе депресия в насипа се е получила при рухването на покрива на гробницата вследствие на изтляването на гредите на конструкцията. Авторите на изследването не са категорични дали регистрираната геомагнитна аномалия е предизвикана от гробницата или от теренния ефект причинен от депресията. Геофизичният екип извършва и експериментални измервания с прилагането на сеизмичния метод. Измерени са по 11 профила през 5 м с посока север-юг и изток-запад. За създаване на сеизмичната вълна е използван чук, като за регистрирането на надлъжните и напречните сеизмични вълни са използвани вертикални сеизмоприемници с резонансна честота от 100 Hz. За съжаление, авторите не дават повече информация за методиката на проучването и за постигнатите резултати, които са оценени като незадоволителни, като причината за това те обясняват с полученото много ниско съотношение сигнал-шум. В заключение авторите препоръчват при проучването на подобни могили да се прилагат магнитният и електричният метод, както и да продължат експериментите със сеизмичния.

Един интересен пример представя комбинираното прилагане на сеизмична томография и георадар при изследване на една къснобронзова могила от Северна Италия (Forte, Pipan 2008). Могилата е с височина около 4 м и диаметър около 25 м. Целта на геофизичните измервания е не търсене на гробница, а изследване на стратиграфията на могилата. Георадарните измервания са направени по 24 радиални профила през 15° през центъра на могила. Използвана е система RAMAC с две антени – 250 MHz (екранирана) и 100 MHz (неекранирана). При сеизмичните проучвания геофоните са разположени кръгово през 15° по периферията в основата на могилата, като с чук се генерира сеизмично вълна по средата между всеки два сеизмоприемника. По картата на скоростите на сеизмичните вълни извлечени от първите встъпления се очертава една зона с повишени скорости с размери приблизително 15 на 7 м почти в центъра на могилата. Проведените по-късно археологически разкопки разкриват в центъра на дъното на могилата погребение под малко каменно струпване. Самото то е покрито с един еднометров насип от чиста глинеста пръст, около 15 м в диаметър, коренно различна от каменистата пръст на останалия насип. Той, всъщност, е бил причината за регистрираните повишени стойности на сеизмичните вълни. Оказва се, че в случая, резултатите от георадарните измервания са по-лоши. Георадарният сигнал затихва много бързо и не достига основата на могилата в централната ѝ част, за което е виновно високото съдържание на глина. Достигнатата максимална дълбочина на георадара е 2.5 м.

Възможностите на електросъпротивителния метод с използване на електросъпротивителната томография (ERT) е демонстрирано с проучването от един голям екип на една малка могила в Северна Гърция (Papadopoulos et al. 2010). Могилата е с височина около 4 м и диаметър 20 м. Измерванията са направени по правоъгълна мрежа с разстояния между профилите от 0.6 м. Използвана е триелектродна схема с разстояние между приемните електроди от също 0.6 м и разстояние между приемните прогресивно увеличаващо се до осем пъти разстоянието между приемните. Авторите отбелязват, че измерването е правено само в една посока, заради продължителността на самото измерване при използването на едноканален резистивиметър. Корекциите за релеф са въведени за всяка измерена линия. За съжаление, представените резултати от 3D инверсионното моделиране (Papadopoulos et al. 2010, 204) са изключително смутени и „неясни". Това най-вероятно се дължи на плитко разположени коренни скали, чието влияние е пречка за отделяне на евентуално съществуващи археологически структури. Преди началото на проучванията екипът прави моделни компютърни симулации за могила с подобни размери съдържаща една гробница в периферията и една – в централната част в основата ѝ. За модела на самата могила е приета пирамидалната форма. Изчисленията са направени за общо шест различни електродни схеми. Според получените данни от инверсионното моделиране най-добри резултати са получени с триелектродната схема. На второ място е поставена градиентната. Като по-слаби са оценени резултатите с диполната, двуелектродната и обратната схема Шлюмберже. Изследвания за възможностите на схема Шлюмберже въобще не са правени?

От направения преглед се вижда, че няма предложена универсална методика за изследване на надгробни могили. Проучвателите прилагат апаратурата, с която разполагат или техники, които са преценили, че са най-подходящи в конкретните условия за решаването на конкретните поставени задачи. И това е съвсем нормално.

Макар, че всички изследвани могили са надгробни, очевидно в различните райони, различните култури имат свои специфични погребални ритуали и от там и различни гробни съоръжения. В България за дълъг период основните усилия при геофизичните проучвания са насочени към търсене само на големи структури – монументални гробници. При това се правят само електросъпротивителни измервания, като използваните схеми (като електродни конфигурация и размери) не са обосновани с логични аргументи (понякога те са много къси, друг път прекалено дълги). Така че, когато се говори за оптимална методика на проучването на надгробните могили, каквато ще се опитаме да обосновем по-долу, трябва да се уточни изрично, че става въпрос за тракийски надгробни могили. Разбира се тя би била подходяща във всички условия подобни на нашите.

IV.2. ОПИСАНИЕ НА МОГИЛИТЕ ОТ ФОРМАЛНА И АРХЕОЛОГИЧЕСКА ГЛЕДНА ТОЧКА. СЪОРЪЖЕНИЯ ОТКРИВАНИ В МОГИЛИТЕ.

За целите на настоящото изследване е важно да се разгледат размерите и формата на могилите, характеристиките на могилните насипи и видовете съоръжения откривани в тях, т. е. характеристиките на обектите, които се търсят и на средата, в която те са разположени.

Надгробните могили се появяват в днешните български земи през ранната бронзова епоха (ок. 3500/3400-2200/2000 г. пр. н. е.) (Николова 1992, 1). Могилите от това време са по правило малки, с височина до 2-3 м, рядко до 6-7 м (Китов 1993, 46). Традицията на натрупването на могили се запазва и в късната бронзова епоха и продължава без прекъсване до IV в., когато постепенно отмира (Вълчева 1996).

Независимо че в България има вече стотици проучени с археологически разкопки могили, някакво статистическо изследване за тяхната форма и размери не е правено. Същото се отнася и за наблюденията касаещи материала и начина на натрупване им, както и за формалните характеристики на могилните насипи[24]. Според Васил Миков (Миков 1957) могилите обикновено имат куполовидна, полусферична и в редки случаи ниско конусовидна форма. Георги Китов (Китов 1993 г.) също прави опит за класифициране на могилите по форма, като ги отделя в две групи – с форма на сегмент от кълбо и островърхи (конични). Разглеждайки могилите от Родопите от късната бронзова, ранната желязна и късната желязна епоха Костадин Кисьов определя формата им като полусферична и, в по-редки случаи, като такава близка до елиптичен параболоид (Кисьов 2009, 18, 31, 52).

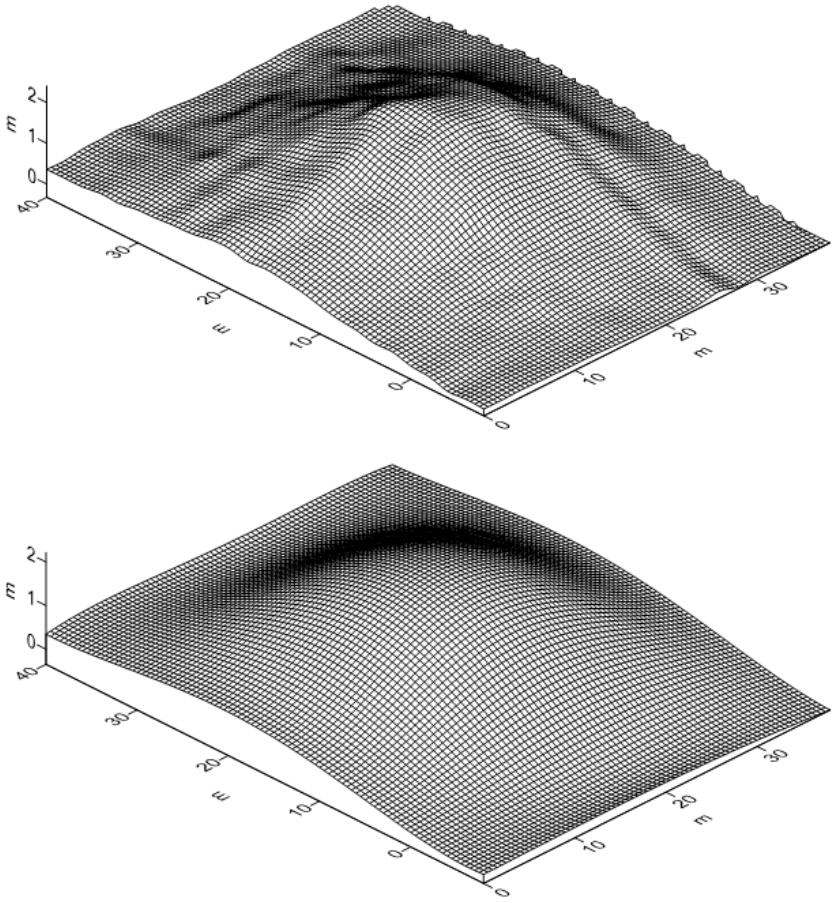
Всъщност, могилите имат много характерна форма, която трудно може да се опише с проста геометрична. Преходът между околния терен и могилния насип обикновено е плавен. Следват равномерно издигащи се склонове и, накрая, заоблено връх (било). Изчисленията, които бяха направени показаха, че на практика във всички случаи формата на могилите може да се опише много точно с един полином от четвърта степен[25] (фиг. IV. 2. 1.).

---

24 Независимо от многообещаващото заглавие си заглавие статията „Geoarchaeological characteristics of the Thracian tumuli in Bulgaria" (Evstatiev, Gergova, Rizzo 2005) всъщност прави едно кратко описание от геотехническа гледна точка на насипите на три от могилите с гробници от източния некропол при Свещари.

25 Коефициентите на регресията са: $Z(X,Y) = A_{00} + A_{01} Y + A_{02} Y^2 + A_{03} Y^3 + A_{04} Y^4 + A_{10} X + A_{11} XY + A_{12} XY^2 + A_{13} XY^3 + A_{20} X^2 + A_{21} X^2Y + A_{22} X^2Y^2 + A_{30} X^3 + A_{31} X^3Y + A_{40} X^4$

A_{00} =-0.140689, A_{01} =0.0231228, A_{02} =0.0063246, A_{03} =-0.0003928, A_{04} =5.861626E-006, A_{10} =-0.009945,



Фиг. IV. 2.1. Тримерно изображение на могила 2 при с. Оризово и резултатите от полиномната регресия.

Освен това, от събраните данни за доста могили се оказа, че наклонът на склоновете на могилите най-често е от порядъка на 10-20º. Склоновете само на много стръмните могили могат да надхвърлят 20º. Така например, Голямата могила до археологическата база в Кабиле, проучена от екип ръководен от доц. Тотко Стоянов през 2009 г. (Стоянов, Миков, Джанфезова 2010), която е изключително стръмна, има максимален наклон на склоновете от 26.5º. Една много голяма и същевременно много стръмна могила е известната с името Памуклия до с. Брестовица. Височината ѝ надхвърля 12, а диаметърът – 70 м. Направените измервания показаха, че максималният наклон на склоновете ѝ е около 29º. Така че, вземайки под внимание наклона на могилния насип, не би трябвало да разглеждаме случаи, когато той е по-голям от 30º. Това наблюдение е много важно, защото показва до каква степен трябва да се съобразяваме с този наклон при извършване на електросъпротивителни измервания и до колко теренният ефект може да окаже влияние върху тези измервания.

A_{11} =0.011356, A_{12} =-0.0003523, A_{13} =2.886738E-007, A_{20} =0.007174, A_{21} =-0.000310, A_{22} = 8.6123E-006, A_{30} =-0.0003448, A_{31} =6.724718E-007, A_{40} =4.225316E-006.

Друго важно наблюдение, което може да направи човек, който дълго време се е занимавал с могили е, че те много рядко са симетрични. Такива са най-често само ниските могили с височина до 2-3 м. Обикновено формата на могилите е несиметрична. Най-често те са по-полегати от юг и по стръмни от север. Това може лесно да се обясни с естествени ерозионни процеси протичащи в течение на времето. В много случаи, когато са разположени на склон, тази част, която е по посока на западането на склона е по издължена и полегата, а противоположната – по-къса и стръмна. Така например, дължината на южния склон на Момина могила при с. Братя Даскалови е около 35 м, а на северния – не надхвърля 20 м.

Китов (1993) разделя могилите и по височина в пет групи, като свързва всяка от тях със степента на проученост на могилите от съответната група, вероятността за от унищожаване земеделски дейности, възможността за провеждане на археологически разкопки и др.

1. Много малки могили – височина до 1.6м.
2. Малки могили – височина от 1.6 до 4 м, диаметър до 30 м.
3. Средни могили – височина от 4 до 8 м, диаметър до 60 м.
4. Големи могили – височина от 8 до 15 м, диаметър до 80 м.
5. Много големи могили – височина над 15 м, диаметър до 120 м и повече.

Надгробните могили обикновено са натрупвани с пръст вземана от непосредствените околности (Китов 1993, 55). Свидетелство за това са наблюдаваните останки от ровове при някои от тях. Ето защо и физичните характеристики на насипите обикновено са същите като тези на околния терен. Така например, могилите от равнините и низините, натрупани с песъклива глинеста пръст ще показват ниски стойности на привидното съпротивление. Тези от предпланинските и планинските райони, натрупвани с пръст с високо съдържание на скални материали и ниско съдържание на глина, показват високи фонови стойности на измереното привидно съпротивление. Наблюденията върху начина на натрупване на могилите показват, че те рядко са натрупвани наведнаж (Китов 1993, 53). Това най-вече се отнася за най-малките и малките могили по класификацията на Китов. Останалите са натрупвани постепенно за продължителен период от време. Много често тези етапи много добре могат да се наблюдават при стратиграфските профили на могилите, изразяващи се в редуване на пластове или малки могилки с различен цвят. Обикновено тези пластове са тънки. Дебелината им е от няколко сантиметра до няколко десетки сантиметра. Много често тези пластове са натрупани от пръст с много близък състав, при което може да се окаже трудно да бъдат отделени дори и визуално. Така че разглеждайки могилните насипи от геофизична гледна точка може да ги считаме за хомогенни. В таблица приложение V.1.1.2. са събрани данните за някои от могилите проучени през последните години, за които имаме информация за истинското съпротивление на могилните насипи (т. е. имаме проучвания по метода на НВЕС с обработени резултати чрез инверсионно моделиране).

Първото наблюдение, което може да се направи е, че могилите от предпланинските части са с по-високи съпротивления на насипа. Това много лесно може да се обясни с наличието на много повече скални материали, чакъл и пясък. Могилите от равнинните части са натрупани с почва и пръст от наноси с високо съдържание на глина. Прави впечатление и разликите в съпротивленията на повърхностния слой и останалата част от могилния насип в дълбочина. При всички могили се отделя един

повърхностен слой с мощност от няколко десетки сантиметра до 1-1.5 м, характеризиращ се с по-високи съпротивления от тези на останалия могилен насип. Това явление лесно може да се обясни с влиянието на няколко фактора. Преди всичко, повърхностният слой като правило е с по-ниско съдържание на влага от останалия могилен насип. Още повече, че времето, когато се правят обикновено проучванията – късната пролет, лятото и ранната есен, е период на сухо и топло време. Особено отчетлива е тази разлика за могилите от предпланинските части, натрупани с пръст с високо съдържание на скални материали и чакъл и ниско съдържание на глина. При тях като цяло насипите са с високи съпротивления, а липсата на влага се отразява в изключително високи стойности на съпротивлението на повърхностния слой. Този факт е от много важно значение, защото точно този слой е средата, в която контактуват електродите, а добрият галваничен контакт е много важен за извършването на коректни измервания. От друга страна тези високи съпротивления на повърхностния слой се дължат и на факта, че проводящите съединения – карбонатните соли и солите на натрия и калия са лесно разтворими и проникват в дълбочина заедно с атмосферната вода. Така този слой обеднява на проводящи съединения за сметка на обогатяването на могилния насип в дълбочина. Така че и в периоди, когато повърхностният слой е с високо съдържание на влага, нормално е той пак да показва съпротивления по-високи от тези на по-дълбоките части на могилата.

	стойности на съпротивлението на могилния насип										
					съпротивление (ohm. m)						
№	могила	населено място	вис. (м)	диам. (м)	повърхност средна от измерванията	повърхност средна от инв. модел	насип средно от инв. модел	насип min	насип max	район*	надм. в.
1	Каракочова	с. Бр. Даскалови	2.2	25	250	300	150	30	300	2	230
2	Оризово М2	с. Оризово, изток	2.4	35	50		20	15	40	1	148
3	Гробищната могила	гр. Опака	2.5	30	35	35	25	20	40	1	183
4	Гранит М1	с. Гранит	2.7	30	25	25	30	20	50	1	169
5	Горно Черковище 1	с. Г. Черковище	3.0	30	120		70	25	100	2	423
6	Гранит М2	с. Гранит	3.5	35	35	40	40	15	90	1	171
7	Оризово М1	с. Оризово, изток	3.5	25	50	60	40	15	60	1	148
8	Ветрище М1	с. Ветрище, Шумен	4.0	35	70	100	20	10	30	1	138
9	Кабиле М1	с. Кабиле	4.0	35	25	25	20	15	60	1	149
10	Ветрище М2	с. Ветрище, Шумен	4.5	35	70	100	20	10	30	1	135
11	Крушаре М1	с. Крушаре, Сливен	5.0	40	100	180	15	5	20	1	154
12	Старо село М1	с. Старо село, Тутр	5.0	35	50	60	30	15	50	1	32
13	Кабиле М2	с. Кабиле	6.0	40	30	50	30	15	50	1	141
14	Крушаре М2	с. Крушаре, Сливен	6.0	45	100	150	20	10	30	1	153
15	Читашка могила	с. Бр. Даскалови	6.0	35	250	250	150	30	300	2	225
16	Крушаре М3	с. Крушаре, Сливен	7.0	55	80	110	20	5	40	1	151
17	Любимец М1	гр. Любимец	7.0	40	90	100	50	10	100	1	64
18	Момина могила	с. Бр. Даскалови	7.0	50	250	300	200	50	600	2	255
19	Пирдоп М1	гр. Пирдоп	7.0	45	200	300	150	50	200	2	762
20	Голяма Арсеналка	с. Шипка	8.0	45	1000		500	300	1000	2	521
21	Могила Светица	с. Шипка	8.0	45	700	850	250	150	450	2	507
22	Сарафова могила	с. Крън	8.0	45	350	450	80	40	150	2	476
23	Коилишка могила	с. Старосел	9.0	55	300	300	100	50	150	2	365
24	Българево М1	с. Българево	12.0	75	60	70	40	15	60	1	84
25	Продановци М1	с. Продановци	12.0	55	1800	2000	1500	500	3500	2	927
26	Провадия, Солница	гр. Провадия	14.0	70	150	200	20	5	30	1	23
27	Малтепе	с. Маноле, Пловдив	19.0	100	100		50	30	100	1	150
28	Голяма Косматка	гр. Шипка	20.0	120	1000		500	250	800	2	518
							4140				
	*					средно	148				
	1 - равнинен										
	2 - планински или полупланински										

Табл. IV.2.1. Данни за размерите, съпротивленията на насипите и местоположението на могили проучвани в последните години.

Тракийската погребална практика е представена от два основни ритуала – трупополагане и трупоизгаряне, като двата се използват едновременно през целия период, в който се натрупват могили (Китов 1993).

Разглеждайки по-долу гробните съоръжения, които се разкриват в могилите, не е търсена абсолютна изчерпателност, а по-скоро е обърнато внимание на факта, че те са изключително разнообразни като характеристики, което обуславя и сложността на задачите, които се поставят при тяхното предварително геофизично проучване.

Основните гробни съоръжения са пет: площадка, яма, граден гроб, саркофаг и гробница (по Китов 1993).

Площадката е най-елементарното гробно съоръжение. Размерите и формата ѝ обикновено са неуловими. При погребение чрез трупоизгаряне площадката е очертана от пласта изпечена почва, пепел и въглени. В много случаи след извършването на ритуала над нея е натрупана купчина речни обли или ломени камъни, които оформят каменна могилка.

Гробните ями са обикновено малки изкопи в основния терен или насипа. Може да са облицовани с дърво или камък. Понякога са покрити с каменна могилка. Ямите от римската епоха са най-разнообразни – настлани са или са облицовани и покрити с тухли или с керемиди. Широко разпространени са ямите, в които са извършвани погребения чрез трупоизгаряне на място.

Разликата между облицованите ями и градените гробове е, че ямите са вкопани, а градените гробове са издигнати над нивото на древния терен. Използваният материал е дърво, глина, камък или съчетание на някои от тях. Много са градените гробове от късножелязната епоха, а за римската този тип гробно съоръжение е твърде характерен. Към градените гробове се отнасят и всички представителни зидани гробове като тези от района на Дуванли.

Саркофазите са изработвани от монолитен блок и се състоят от корито и похлупак. По начало те са чужди на траките, но понякога се срещат при могилните им погребения от предримската и римската епоха (Гетов 1970, 6).

Най-импозантните съоръжения откривани в могилите са гробниците. Под гробница се разбира пространствено оформена сграда с поне едно помещение, към което има вход или поне имитация на такъв. Според строителния материал те са от дърво, от камък или от тухли, като понякога материалите са съчетани. По план гробниците са правоъгълни или кръгли, като често при гробници с повече от едно помещение има съчетаване на кръглия и правоъгълния план. Напълно развитата планова схема на една гробница включва: преддверие, дромос, предгробна камера (камери) и гробна камера (Русева 1995).

Освен изброените по-горе гробни съоръжения в могилите могат да се срещат и други – следи от протичащи при погребението или следващи го ритуали, като тризни, клади, ями и др. На върха на някои могили се откриват останки от, най-вероятно, култови сгради. Конструктивно-охранителни, а може би и свързани с ритуала, са каменните огради (крепиди) около могилите.

IV. 3. ОПТИМИЗИРАНЕ НА МЕТОДИКАТА ЗА ЕЛЕКТРОСЪПРОТИВИТЕЛНО И ГЕОМАГНИТНО ПРОУЧВАНЕ НА ТРАКИЙСКИ НАДГРОБНИ МОГИЛИ.

Както беше отбелязано вече, досега не е предложена универсална методика за проучване на надгробни могили в световен мащаб. Целта на изложението по-долу е да бъде обоснована една обща методика, съчетаваща възможностите на най-широ-

ко използваните в археологията и същевременно най-достъпни като апаратура, периферни устройства и програмно обезпечение методи – електросъпротивителния и геомагнитния, за получаване на възможно най-пълна информация за това какво се крие под насипите на тракийските могили. Тя трябва да включва, както използваните рутинно съпротивително и геомагнитно картиране, така и последните нововъведения в областта на археологическата геофизика – двумерната и тримерна електросъпротивителна томография (2D и 3D ECT). Първостепенна задача, разбира се, е успешното регистриране на най-атрактивните обекти – гробниците и зиданите гробове. Информацията за тяхното наличие или отсъствие е важна не само от археологическа гледна точка (много често това са забележителни архитектурни паметници, които понякога съдържат богати гробни дарове), а и поради обичайната нужда от последваща консервация и реставрация, за които обикновено са нужни значителни средства, за чието набавяне е логично да се мисли предварително. Едновременно с това, тази методика трябва да позволи получаването на данни за съществуването на други разнообразни по характера си археологически структури, каквито се срещат в тракийските могили. Не на последно място тя трябва да осигури информация и за характеристиките на могилния насип, които косвено могат да указват съществуването на гробни или други конструкции, за да могат археолозите да планират предварително и да проведат разкопките по най-ефективния и методически най-правилния начин. Първостепенно значение има и бързината и, съответно, стойността на извършване на проучванията, като полеви измервания и обработката на получените данни. Методиката трябва да е ефективна. За минимално време и с минимални средства трябва да се получи максимално полезна и надеждна като количество и качество информация. Тъй като надгробните могили са едни от най-често проучваните паметници в България, археолозите обикновено се нуждаят от бързи и коректни резултати от геофизичните проучвания, а не от експериментирането на екзотични техники с неясни възможности. Сложността на поставената задача е обусловена от изключителното разнообразие на гробни и други съоръжения, като форма и размери, откривани в могилите, от една страна, както и от различните размери на самите могили – от едва забележими на повърхността с диаметър от порядъка на 15-20 м до такива с височина над 20 м и диаметър 100 и повече метри.

IV.3.1. Електросъпротивителни проучвания.

За разлика от преобладаващата част от останалите археологически обекти, при които основната цел е детайлното картиране на съществуващите останки разположени обикновено в рамките на първия метър под повърхността, при проучването на тракийски надгробни могили е нужно постигането на възможно най-голяма дълбочинност, което предопределя водещата роля на електросъпротивителния метод. Дълбочинността на електросъпротивителния метод е обект на дългогодишно анализиране от множество учени във връзка с прилагането му в геоложките проучвания. Според Oldenburg и Li (1999, 405) това е дълбочината, под която данните от измерванията на повърхността са нечувствителни спрямо измененията на физическите характеристики на земята в дълбочина, едно определение, което може да се счита за общоприето, но в същото време е прекалено общо. Edwards (1977) въвежда термина средна дълбочина на проучване, като извежда дълбочинността като функция на вида и размера на използваната електродна схема. Въпреки че като основа за неговите раз-

глеждания е приета хоризонтално-слоиста среда, средната дълбочина на проучване е много удобна за една предварителна оценка: За повечето електродни конфигурации тя е между 1/3 и 1/7 от дължината на схемата. Разглеждайки една по-обща ситуация Oldenburg и Li (Odenburg, Li 1999) извеждат дълбочината на проучване като функция на характеристиките на средата, използваната схема (схеми) и грешката при измерването. В тази връзка, за да се направи една по-точна предварителна оценка при по-сложни условия е удачно да се използват моделни компютърни изчисления, известни в геофизичната литература като решаване на правата задача на електропроучването (Loke 2010; Тонков 2002). При тях предварително се задават характеристиките на средата и на предполагаемите геологически (в случая, археологически) структури и се изчисляват очакваните аномалии на привидното съпротивление за различни електродни конфигурации. Така могат да се подберат тези схеми като вид и размери, които са най-подходящи за използване в конкретните условия.

IV.3.1.1. Моделни изследвания.

Целта на тези изчисления е да се направи оценка за възможностите на различните електродни конфигурации за модели на някои от най-атрактивните археологически структури, като гробници и зидани гробове. В резултат трябва да се отделят онези схеми, като вид и размери, които биха дали най-добри резултати в конкретните условия. За целта са използвани програмите Res2dmod и Res3dmod на фирмата Geotomo Software, Малайзия, която е водеща на световния пазар на подобни програмни продукти. Очакваните гробни конструкции са уподобени с модели на геометрични фигури с правилна форма.

А. Модел на високосъпротивителен блок.

В началото бяха направени изчисления за възможностите на всички широко прилагани електродни схеми с двумерен модел на високосъпротивителен блок. Целта им беше да се отделят схемите, които дават добри резултати и да се елиминират тези с по-лоши, за да не се усложнява работата и изчисленията с тримерни модели да продължат само с най-подходящите. Моделният блок е със сечение 2x2 м, като горният му край е на 1.5 м от повърхността (прил. IV.3.1.1.1). За съпротивление на средата е приета стойността 100 ohm. m, а на съпротивителния блок – 10000 ohm. m. Те са избрани въз основа на данните за нормалните съпротивления на повърхностните наслаги (почва, гравели, глини) и на магмените и седиментни скали (Пищалов 1976, 18, таблица 2; Milsom 2003, 88, table 5.1), които могат да служат като материал за изграждането на гробни конструкции[26]. Тези стойности са в горните граници на съпротивленията на варовиците и пясъчниците, от които са изградени част от откритите гробници и зидани гробове, но при положение, че тези конструкции в голяма част от случаите не са запълнени с пръст, са напълно приемливи.

Използваните схеми за моделните изчисления са двуелектродна (pole-pole), Венер (Wenner), Шлюмберже (Schlumberger), диполна (dipole-dipole) и триелектродна (pole-dipole) при разстоянието между електродите 1 м и стъпка на измерване – 1 м. За всяка от схемите са използвани минимум десет дължини, т. е. от n=1 до n≥10.

---

26 Досега не са правени измервания на електрическото съпротивление на скалните материали, от които са изградени откритите гробници и зидани гробове, което би било подходящо за едно бъдещо изследване.

Резултатите от моделните изчисления са представени на приложение V.1.1.2. За различните електродни схеми максималните отклонения от фоновите стойности са както следва:

Диполна – 94-133 ohm. m
Триелектродна – 97-141 ohm. m
Шлюмберже – 100-136 ohm. m
Двуелектродна – 94-117 ohm. m
Венер – 100-116 ohm. m

Очевидно, най-слаба аномалия се получава при измерванията с двуелектродна схема и схема Венер. Максималните отклонения са съответно 17 и 16% спрямо фоновите, което в реални условия означава, че са в границите на естествените смущения. Очевидно тези схеми не са подходящи за целите на нашите изследвания и затова при понататъшните моделни пресмятания те няма бъдат разглеждани. Максималните аномалии при останалите три схеми са сходни. При диполната – аномалията е 33% от фона, при Шлюмберже – 36% и при триелектродната – 41%. Трябва, да се отбележи, обаче, че максималната аномалия при диполната схема се регистрира при n=5, докато при Шлюмберже и триелектродната – това се случва при n=10. Затова най-добре е схемите да се сравнят точно при тази стойност на n. При n=5 аномалията на триелектродната схема е 32%, а на Шлюмберже е 25%. Очевидно е, че трите схеми имат близки показатели, като диполната и триелектродната дават с „една идея" подобри резултати.

За да се получи потвърждение на постигнатите резултати е извършено инверсионно моделиране (решаване на обратна задача) за всички използвани електродни конфигурации. За целта е използвана програмата Res2dinv на Geotomo Software. Инверсионните модели са представени на приложение IV.3.1.1.3. Те потвърждават вече направените изводи. Най-добър е моделът направен по резултатите получени за диполната схема, след това се нареждат триелектродната и схемата Шлюмберже. Най-лоши са резултатите получени по схемата Венер. Един допълнителен извод, който може да се направи, е, че зададената дълбочина е в общи линии максималната, на която може еднозначно да бъде регистриран обект с избраните за модела размери и съпротивления.

За да бъдат оценени по-реално резултатите е разгледан и случай със зададена грешка в измерванията. Факторите влияещи върху грешките в измерванията са няколко:

- грешки в разстоянието между електродите, което не съответства на заложения геометричен фактор на схемата.

- грешка в измерването на потенциалната разлика между електродите M и N. Макар съвременните цифрови уреди да предлагат висока прецизност на измерване, тази грешка не може да бъде пренебрегвана.

- грешка произтичаща от различната дълбочина на забиване на електродите. Всички модели в електросъпротивителните проучвания са разчетени за точкови, а не линейни електроди. Тази грешка не се отчита при геоложките проучвания, защото е пренебрежимо малка при използваните при тях дълги електродни схеми. При археологическите проучвания обаче, тя е напълно реална и въпреки че изчисляването й е елементарно (Ейткин 1961, 114) е трудно да бъде предварително оценена в реални условия.

- грешка от условията на заземяване на електродите. Тази грешка най-често се

проявява в условията на лош галваничен контакт на електродите в условията на много суха и рохка повърхност.

- грешки от наличието на електромагнитни смущения. Макар, че съвременните уреди имат филтри за потискане на тези смущения, тяхното влияние може да се прояви, особено при използването на дълги кабели за захранване на отдалечени електроди, какъвто е случаят с триелектродната схема (Dahlin et all. 2003 71).

- трябва да прибавим и наличието на нееднородности в повърхностния слой на могилния насип, които могат да доведат до сериозни отклонения в измереното съпротивление при всички използвани схеми, като електродна конфигурация и размери (Dahlin et all. 2003, 59).

В крайна сметка, грешката в измерването произтичаща от всички изброени фактори ще е правопропорционална на геометричния коефициент на схемата. Като се има предвид, че за Шлюмберже коефициентът на схемата е $\kappa=\pi$.n.(n+1).a, за триелектродна е $\kappa=2.\pi$.n.(n+1).a, а за диполната – $\kappa=\pi$.n.(n+1).(n+2).a, простите изчисления показват, че грешката в измерванията при едни и същи условия при триелектродната схема ще е поне два пъти по-голяма от тази за схема Шлюмберже. За диполна схема тази грешка ще нараства още по-бързо – правопропорционално на фактора (n+2) на схемата.

Ето защо при имитирането на реални резултати е внесена различна грешка за различните схеми: за схемата Шлюмберже – 3%, за триелектродна схема – 5% и за диполна схема – 10%.

Резултатите от инверсионното моделиране са представени на приложение IV.3.1.1.4. Прави впечатление, че при инверсионния модел за диполната схема е постигната минимална средноквадратична грешка от 10%, за триелектродната – 6% и за схемата Шлюмберже – малко над 3%. Освен това при диполната схема са се „появили" няколко несъществуващи аномалии, чиято амплитуда е съизмерима с тази от моделната структура. При триелектродната схема имаме „фиктивна" аномалия, но тя е с амплитуда двойно по-ниска от тази предизвикана от моделния обект. При схемата Шлюмберже такива фиктивни аномалии липсват.

Б. Модел на гробница.

При този модел една каменна гробница е описана като правоъгълна четириъгълна призма с размери дължина 5 м, ширина 3 м и височина 3 м. Те са избрани въз основа на данните от таблицата (табл. IV.3.1.1.1) за размерите на някои от известните ни гробници. Тъй като за целите на моделните изчисления вътрешните размери на гробниците, които често се дават в археологическите публикации, нямат значение, към тях е прибавена дебелината на блоковете, от които те са изградени, доколкото има информация за това. Таблицата няма претенции за изчерпателност, а по-скоро има за цел да се получат едни усреднени данни, които да бъдат зададени на модела. Много от откритите гробници са с кръгли камери, така че размерите им са усреднени към тези на правилна правоъгълна призма. Други гробници, като тези от Гинина могила при Свещари, Четиньова могила при Старосел или в могилата при Гагово, Поповско, са със сложен план и са приети като изключения, затова не фигурират в таблицата. За някои от гробниците, като тази от Янково, Шуменско, има противоречие между описаните вътрешни размери и дадените на плана, затова също не са включени. Не са взети предвид гробниците с дълги коридори, като тези при Мезек или Голямата Косматка, защото те са по-скоро изключение, отколкото правило. Дъл-

бочината на горния край на моделната призма от повърхността е зададена на 1, 2, 3, 4 и 5 м (прил. IV.3.1.1.5). Използваните съпротивления за модела на гробницата и вместващата среда са същите, както при разглеждания по-горе съпротивителен блок.

	могила	дължина (м)	ширина (м)	височина (м)
1	Руец	3.75	2.75	2.25
2	Староселка	4.20	3.00	2.25
3	Акчилар, Варна	4.25	3.50	3.15
4	Еши-тепе, Варна	5.50	2.75	3.00
5	Дикисан, Ловеч	5.10	4.50	2.20
6	Руен	3.00	2.50	1.60
7	гара Филипово	4.70	2.25	2.75
8	Ветрен	5.00	3.30	3.60
9	Казанлък	5.70	3.40	3.40
10	Мезек	8.40	3.60	3.60
11	Лозенградско	5.50	3.40	3.30
12	Старо ново село (Старосел)	6.60	4.00	2.40
13	Татарево	6.40	4.00	4.00
14	Раклица	5.80	4.20	3.60
15	Свещари 13	5.00	3.00	3.00
16	Арсеналка	5.50	3.30	3.20
17	Грифоните	6.40	3.50	3.90
18	Хелвеция	4.70	2.60	4.00
19	Сарафова	4.70	1.60	2.00
20	Сашова	4.50	4.50	2.70
21	Шушманец	7.00	4.00	3.40
22	Славчова	6.00	3.80	3.30
23	Момина могила	6.00	3.00	3.00
		123.70	76.45	69.60
	средно	5.38	3.32	3.03

Табл. IV.3.1.1.1. Размери на някои тракийски гробници (по Венедиков, Герасимов 1974; Китов 2005а; Русева 2000; Русева 2002; Тонкова, Иванов 2011 и др).

Резултатите от моделните изчисления са представени на приложение IV.3.1.1.6. За различните електродни схеми максималните отклонения от фоновите стойности са както следва:

При разстояние от повърхността от 1 м:
Диполна схема – 240 ohm. m при n=4
Триелектродна схема – 198 ohm. m при n=3
Шлюмберже – 150 ohm. m при n=3
Очевидно, най-добри резултати дава диполната, но и другите две схеми регистрират гробницата с достатъчно отчетлива аномалия.

При разстояние от повърхността от 2 м:
Диполна схема – 128 ohm. m при n=7

Триелектродна схема – 133 ohm. m при n=4
Шлюмберже – 116 ohm. m при n=4
Максималната аномалия при диполната и триелектродната схема са близки. Аномалията при схема Шлюмберже е почти наполовина по-ниска и е от порядъка на естествените смущения.

При разстояние от повърхността от 3 м:
Диполна схема – 118 ohm. m при n=7
Триелектродна схема – 115 ohm. m при n=6
Шлюмберже – 108 ohm. m при n=12
Отново диполната схема дава най-добри резултати, но и за трите електродни конфигурации очакваната аномалия е в рамките на естествените смущения. Това означава, че на такава дълбочина моделната гробница може да се регистрира само при идеални условия, каквито в природата са изключителна рядкост.

Въз основа на направените по-горе наблюдения може да се направи извода, че максималната дълбочина, на която еднозначно може да се регистрира гробница със зададените параметри е 2-2.5 м от повърхността. Най-добри резултати дава диполната схема, следвана от триелектродната и Шлюмберже. При това за регистрирането на максимална аномалия в реални условия няма нужда да се използват схеми по-дълги от n=6 за триелектродна и Шлюмберже и n=7 за диполната.

От получените резултати от моделните изчисления е извършено инверсионно моделиране по профили през средата на зададените гробници. Тъй като това е двумерно моделиране на резултати от проучване на тримерни структури, е коректно да се обозначи като 2.5D инверсионно моделиране.
Резултати са представени на приложения IV.3.1.1.7- IV.3.1.1.9

При разстояние от повърхността от 1 м максималните аномалии са както следва:
Диполна схема – диапазон 70-500 ohm. m.
Триелектродна схема – 72-390 ohm. m
Шлюмберже – 78-380 ohm. m
Диполната схема дава отчетливо по-добри резултати от останалите две. Аномалиите за триелектродната схема и схемата Шлюмберже са с почти еднакъв интензитет.

При разстояние от повърхността от 2 м максималните аномалии са както следва:
Диполна схема – диапазон 84-244 ohm. m
Триелектродна схема – диапазон 93-363 ohm. m
Шлюмберже – диапазон 92-306 ohm. m
Най-добри резултати за триелектродната, най-слаби за диполната и междинни за Шлюмбереже

При разстояние от повърхността от 3 м максималните аномалии са както следва:

Диполна схема – диапазон 89-166 ohm. m
Триелектродна схема – 86-169 ohm. m
Шлюмберже – 91-145 ohm. m
Резултатите и за трите схеми са почти идентични.

Б.1. Модел на реална гробница от типа на Голяма Арсеналка с фасада, предверие и гробна камера.

За да могат заключенията от моделните изследвания да са най-пълноценни е разгледан и един модел възможно най-близък до този на реално съществуваща гробница. Той е направен по плана на гробницата разкрита в могилата Голяма Арсеналка от некропола на при Шипка (прил. IV.3.1.1.10). Зададената дължина на модела е 8 м. Състои се от фасада, преддверие (предгробна камера) и гробна камера.

Фасадата е с дължина 4 м, височина 2.5 м и дебелина 1 м

Преддверие (предгробна камера) – дължина 4.5 м, ширина 2 м и височина 2 м

Гробна камера с кръгъл план и кошеровиден купол – диаметър 3.5 м, височина 3 м.

Фасадата се намира на 0.7 м от повърхността, а върхът на купола – на 1.8 м.

Фасадата на гробницата се намира на 11 м от периферията на могилата, а наклонът на склона е 22°.

При моделните изчисления са разгледани два случая: с надлъжни профили (съответстващи на радиална измервателна мрежа, прил. прил. IV.3.1.1.11) и напречни (кръгова мрежа, прил. IV.3.1.1.12). Като цяло най-високата аномалия, предизвикана от гробницата се регистрира с диполната схема. Другите две схеми дават близки резултати, като тези за Шлюмберже са много по-ясни. Прави впечатление доброто регистриране на фасадата на гробницата, като стойностите са почти еднакви и за трите електродни конфигурации. Максимумът на аномалията от останалата част на гробницата (основно гробната камера) е с по-нисък интензитет и е изместен на около 2-3 м преди върха й. Прави впечатление, че като цяло гробницата се регистрира по-добре с радиалните профили. При тях с много интензивна аномалия се отделя фасадата, която е най-близо до повърхността, и с малко по-слаба – камерата. При напречните профили аномалията е по-слаба, като трудно се отделя фасадата от камерата. В най-голяма степен това важи за схемата Шлюмберже.

За да направим допълнителна оценка на получените резултати (също възможно най-близо до реалните условия) е извършено 2.5D инверсионно моделиране по надлъжен профил през средата на гробницата (пр. 18) с отчитане на влиянието на релефа на могилата. Те са представени на приложения IV.3.1.1.13. Резултатите са сравнително близки, но отново най-добри са тези постигнати с диполна схема, следвани от триелектродната и Шлюмберже. Много добре се отделя фасадата на гробницата и доста по-слабо камерата, но като цяло се вижда, че е регистриран обект с дължина около 8 м и максимална височина около 3 м. Като цяло резултатът от едни такива проучвания може да бъде оценен като много добър.

В. Модел на зидан гроб незапълнен, или само частично запълнен, с пръст.

Моделът е правоъгълна призма с дължина 3 м, ширина 2 м и височина 1.5 м. Размерите са избрани въз основа на данните в таблицата по долу (прил. IV.3.1.1.2). Трябва да се отбележи, че в таблицата не са взети размерите на гробовете, които са дадени в публикациите им. Обикновено това са вътрешните размери, които нямат от-

ношение към геофизичния модел. Така че в таблицата към първоначалните размери е прибавена дебелината на блоковете, от които са изградени гробовете. Дълбочината на горния край на модела от повърхността е приета за 1.5 м. Използваните съпротивления за модела на зидания гроб и вместващата среда са същите, както при разглеждания по-горе съпротивителен блок (прил. IV.3.1.1.14).

могила	дължина (м)	ширина (м)	височина (м)
Кукува (Дуванли)	2.35	1.25	1.40
Башова (Дуванли)	3.00	1.80	1.10
Голямата (Дуванли)	3.90	2.07	1.10
Лозарската (Дуванли)	2.16	0.90	1.20
Дълбоки	2.35	1.60	1.50
Пейчова могила (Старосел)	3.00	2.10	1.60
Светица (Шипка)	3.16	1.75	1.55
Могила 1 (Чернозем)	3.00	2.00	1.70
Могила 3 (Чернозем)	3.55	2.75	1.75
с. Черничево	2.50	1.80	1.50
	28.97	18.02	14.40
средно	2.90	1.80	1.44

Табл. IV.3.1.1.2. Размери на някои тракийски зидани гробове (Венедиков, Герасимов 1974; Кисьов 2005; Китов 2001; Китов 2005б; Русева 2002; Филов 1934).

Резултатите от моделните изчисления са представени на приложения IV.3.1.1.15, IV.3.1.1.16.

Максималните аномални стойности са както следва:

Диполна схема – 97-126 ohm. m при n=3

Триелектродна схема – 97-119 ohm. m при n=3

Шлюмберже – 100-112 ohm. m при n=3

Най-добри са резултатите с диполната схема, следвани от триелектродната и Шлюмбереже. И при трите схеми максималната аномалия се получава при n=3. Преимуществото на диполната схема се потвърждава и от двумерното и тримерното инверсионно моделиране (прил. IV.3.1.1.17, IV.13.1.18). Очевиден е фактът, че 1.5 м (равна на зададената височина на модела) е максималната дълбочина, до която може да се регистрира гроб с подобни размери, а за засичането му не е нужно да се ползват схеми с дължини по-големи от n=3÷4 (при a=1 м).

Г. Модел на цистов гроб.

Моделните изследвания за търсене на такъв тип археологически структури са разгледани подробно във връзка с проучванията на тракийския обект при с. Копривлен (Tonkov 2002). Моделът е на гроб запълнен с пръст с размери 2.25x1.25x0.5 м, при дебелина на плочите от конструкцията – 8 см. В резултат на изчисленията е установено, че такъв гроб има вероятност да бъде регистриран на дълбочина до 40-50 см, като се препоръчва използване на диполна схема с разстояния между двойките захранващи и приемни електроди – AB=MN=a от 0.5 м, между диполите – 3.a (n=3), между измервателните профили – 1 м и стъпка на измерване 0.5 м. Очевидно такава гъста мрежа на измерване би усложнила изключително много проучването на една

могила. Използването ѝ би било оправдано само при проучването на малки могили, в които се очакват вторични гробове (т. е. на малка дълбочина) от този тип. Затова при нормалните редови измервания би било подходящо използването на схеми (диполна, триелектродна или Шлюмберже) с a=1 м и n=1.

Изводи за възможностите на различните схеми.

От докладваните по-горе данни се вижда, че като цяло при почти всички моделни изследвания диполната схема показва най-добри резултати, следвана от триелектродната и Шлюмберже и затова при нормални обстоятелства би трябвало да бъде предпочетена. При избора на наистина най-подходящата в реални условия, обаче, трябва да се вземат под внимание и други показатели за отделните схеми, които са описани по-горе в глава II. 2. Разбира се, от първостепенна важност е съобразяването с конкретните условия на терена. При малките могили с височина до около 2 м със землени насипи най-удачно е използването на диполна схема, където не се изисква голяма дълбочинност, а в същото време най-успешно могат да бъдат регистрирани зидани или цистови гробове. В условия на невъзможност за осъществяване на добър галваничен контакт на електродите или наличие на повърхностни смутители (каквито често се срещат при могили в планинските и предпланински райони, натрупани от скални материали или чакъли) в измерванията с диполната схема е възможно да бъде внесена значителна грешка. В такъв случай може да се предпочете триелектродната схема или схема Шлюмберже. Най-леки за качествена интерпретация при картирането на могилите са измерванията със схема Шлюмберже. За разлика от нея, триелектродната е асиметрична и дава изместване на аномалията на съпротивлението, а диполната може да даде даже двойни аномалии, което в условията на нехомогенни могилни насипи може значително да усложни качествената интерпретация на данните от съпротивителното картиране. Освен това, прилагането на триелектродната схема е до голяма степен лимитирано от нуждата от използване на отдалечен електрод. Така, че в някои случаи схемата Шлюмберже може да се окаже единствената алтернатива.

От моделните изследвания се вижда, че няма нужда от използването на дълги схеми с геометричен фактор n над 6-7. В преобладаващата част от случаите е достатъчно n да е в рамките на 1-6. При картиращите измервания е добре да се изберат няколко размера като n да е равно на 1, 3-4 и 5 или 6. При дълбочинните профили трябва да се използват размери с n до 10 и повече. При много дългите „a" трябва да стане 2 м, като не се налага да е по-голямо.

IV.3.1.2. Мрежа на измерване.

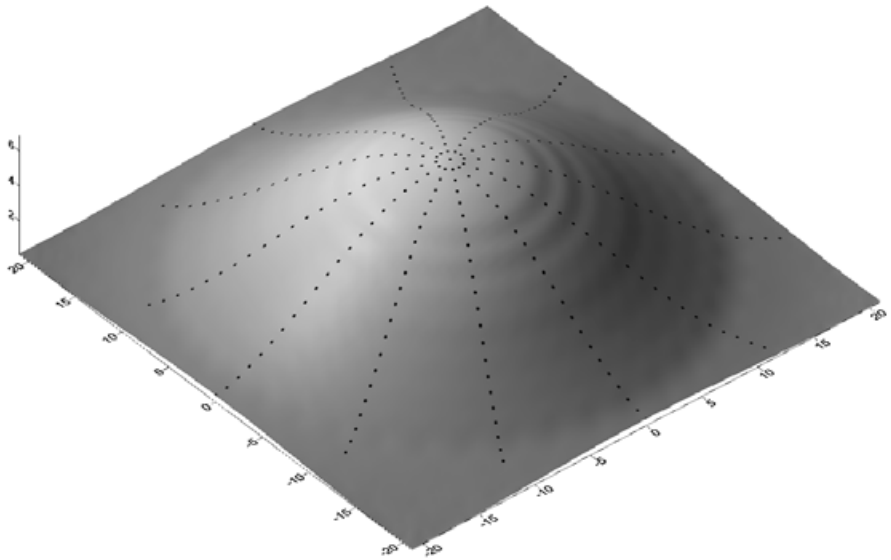
Правоъгълна (квадратна) мрежа.

Основният фактор, който е определящ за вида на използваната мрежа на измерване е характерната релефна форма на могилите. Очевидно е, че тя ще внесе значителни изкривявания в стандартно използваните при археологическите проучвания квадратни и правоъгълни мрежи, като те ще бъдат толкова по-големи, колкото по-голяма и по-стръмна е една могилата. Използването на радиална мрежа е едно рационално решение за съобразяване с характерната осева симетрия на могилите. Разбира се, правоъгълна мрежа спокойно може да се използва при малките могили – с височина до 2-2.5 м и диаметър до 30-35 м. Елементарните изчисления показват, че в този случай максималните отклонения при профилите минаващи през центъра на

могилата не надхвърлят 30-40 см.

Радиално-кръгова мрежа.

Радиалната мрежа на измерване е много удобна, защо съответства на характерната осева симетрия на могили. Радиалните профили се полагат през определен ъгъл през центъра на могилата. Освен, че могат да регистрират аномални обекти в могилата, измерванията по тези профили позволяват да се добие представа за измененията във физичните свойства на насипа преминавайки от околния терен към центъра, да се подберат подходящите дължини на схемите, да се установи евентуалното наличие на крепида или ров около могилата.

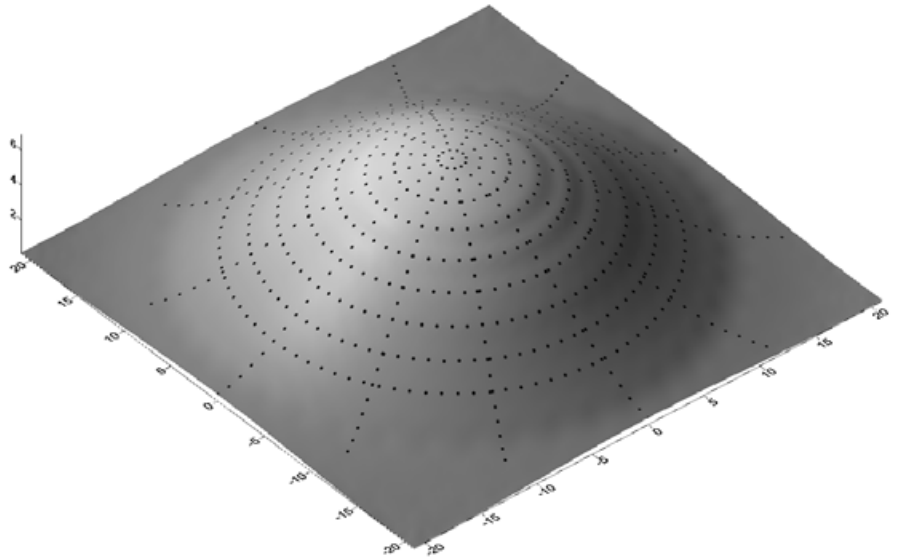


Фиг. IV.3.1.2.1. Схема на радиална мрежа.

Радиалните профили, обаче, не дават равномерна гъстота на проучване, тъй като в периферията на могилата разстоянието между измервателните точки ще е по-голямо от тези в центъра. Този недостатък на радиалната мрежа съвсем логично може да бъде коригиран чрез използването на кръгови профили през 1 или 2 м от центъра на могилата. Така ще се получи една равномерна гъстота на измервателната мрежа от 2x1 м. Освен това чрез кръговите профили се избягва макар и минималното влияние, което, особено високите могили като геометрична форма, могат да окажат върху измерванията по радиалните профили (т. нар. теренен ефект). Опитът ни досега, обаче показва, че няма достатъчно доказателства за наличието на отчетлив теренен ефект при използването на дължини на схемите, които са по-малки от размера на склоновете на могилата. Освен това при използването на дълги схеми при непрекъснатото вертикално електрическо сондиране отстраняването на теренния ефект е заложено да става автоматично от използваните програмни продукти.

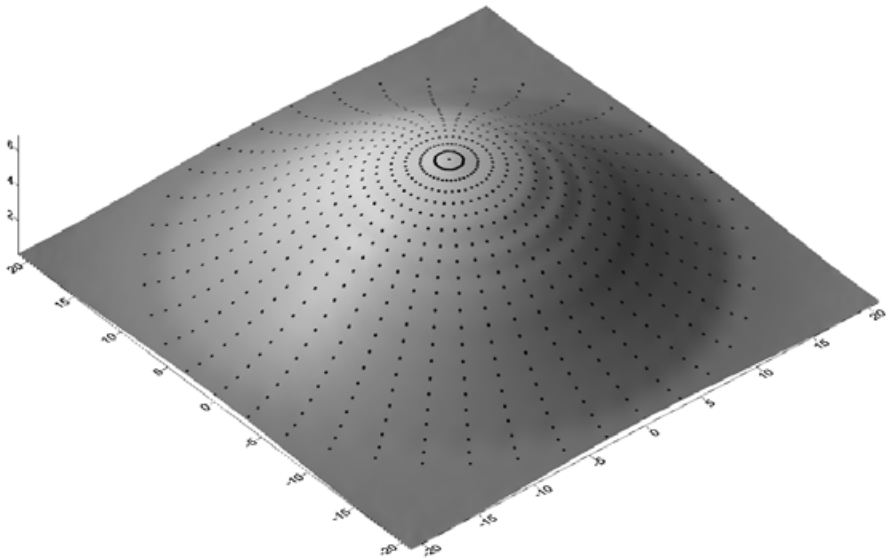
Използването на кръгови профили има и редица недостатъци. Един от основните е изкривяването на схемата по използваните окръжности, при което заложеният

геометричен коефициент ще е различен от реалния, който трябва да бъде използван. При това грешката ще е толкова по-голяма, колкото е по-дълга схемата и колкото е по-малък радиуса на окръжността. Тази грешка може да бъде коригирана чрез прости операции, но това ще доведе до много по-бавна обработка на данните, защото процедурата трябва да бъде прилагана поотделно за всеки профил и всяка използвана електродна схема. Освен това, тъй като обикновено могилите са несиметрични (понякога много отчетливо), профилите ще са далеч от идеалния кръг и тази корекция може да се окаже не съвсем коректна. Очевидно, това би усложнило много и обработката на данните от евентуални измервания по метода на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране (НВЕС), което прави едни такива измервания по кръгови профили практически неприложими. Поради същата причина и преизчисляването на полярните координати в правоъгълни, за последваща автоматична компютърна обработка, може да се окажи сложно и не съвсем точно. Освен това измерванията с използването на многожилни кабели по кръгови профили са бавни и неудобни. При всяко преместване на кабела ще има нужда от припокриване на точки с тези от предходното измерване, които ще са толкова повече, колкото е по-дълга използваната електродна схема, което води до измерване на много по-малко точки, от колкото са максимално възможни. При евентуалното използване на триелектродна схема това ще е свързано и с преместване на отдалечения електрод, което пък, от своя страна, ще доведе до нуждата от допълнителни корекции на измерванията. Тези корекции ще трябва да се правят за измерванията по всяка отделна дължина, при което могат да се внесат непредвидени грешки. Другият вариант е да се използва много дълъг кабел, за да се увеличи максимално разстоянието до отдалечения електрод, което, от една страна, освен, че е неудобно, рядко е възможно в реални условия, а от друга, може да доведе до внасянето на външни смущения (Dahlin et all, 71). Всички тези обстоятелства правят използването на триелектродна схема по кръгови профили практически неприложимо.



Фиг. IV.3.1.2.2. Схема на радиална и кръгова мрежа.

Така че един прост и удачен начин за сгъстяване на измервателната мрежа е увеличаване на броя на радиалните профили. Броят им ще зависи от диаметъра й, но не трябва да е по-малък от този, който осигурява поне с един да се засече обект с размери около 2.5x2.5 м, дори и да е разположен в периферията на могилата. Най-добре е да се използват ъгли кратни на 400^g, т. е. през 10^g, 8^g или 5^g. Така за проучването на една могила ще е нужно измерването на 40, 50 или 80 профила. Това означава, че в последния случай, при профили през 5^g, най-голямото разстояние между точките в периферията на една могила с диаметър 60 м ще е 2.5 м. Това е напълно приемливо, защото означава, че една много голяма могила с височина от порядъка на 10 м (виж фиг. IV.3.1.2.3) ще бъде достатъчно детайлно проучена. Стъпката на измерване и съответно разстоянието между близките електроди не трябва да е повече от 1 м. При измервания с цел установяване на характеристиките на могилните насипи при големите могили може да се използва стъпка от 2 м и съответно между двойките фиксирани електроди. По-малка стъпка (0.5 м) е икономически необоснована. Тя би оскъпила ненужно проучванията и би трябвало да се използва само при детайлизационни измервания, съобразявайки се с конкретните условия и поставените цели.



Фиг. IV.3.1.2.3. Схема погъстена радиална мрежа.

Иновациите в областта на електрониката и компютърната обработка на данните през последните 10-15 години позволиха прилагането на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране (НВЕС), известно още като двумерна и тримерна електросъпротивителна томография (2D и 3D ЕСТ). Използването на такива дълбочинни профили е една нова възможност за по-детайлно изследване на могилните насипи и по-прецизно очертаване на регистрираните при съпротивителното картиране аномални обекти. За съжаление, използването на едноканални резистивиметри и нуждата от застъпване на измерванията по профилните линии, правят едни такива измервания по-бавни и цялостното проучване на дадена могила с такива измервания може да се окаже необосновано. Използването на радиална мрежа не позволява тримерно-

то инверсионно моделиране. Така че, може да се извършва такова само по отделните профили в двумерен вариант. За да се получат данни за общите характеристики на могилния насип са достатъчни няколко профила през цялата могила с възможно най-дълги схеми, за да може да се достигне максимална дълбочина в центъра й. Най-подходящи схеми, в случая, са Шлюмберже и триелектродна. Стъпката на измерване по-профилите трябва да е стандартната – 1 м. При много големите могили, където се търси най-голяма дълбочинност, може да се използват увеличено разстояние между приемните електроди – 2 м и, съответно такава стъпка на измерване.

Все пак, при могили с височина до 2-2.5 и диаметър до 30 м, където се използва правоъгълна мрежа и няма нужда от застъпване на измерванията по профилите, цялостното проучване по метода HBEC (3D ECT) може да се извърши достатъчно бързо и, следователно, е напълно приложимо.

IV.3.1.3. Обработка на резултатите.

Първото нещо за понататъшната компютърна обработка и представяне на резултатите е преобразуване на координатите от измерванията по радиалните профили от полярна координатна система в ортогонална за понататъшна компютърна обработка и представяне.

Координатите се преизчисляват по следната проста формула:

$x = (C – b)*\cos(\pi/2 - 2\pi/400*a)$

$y = (C – b)*\sin(\pi/2 - 2\pi/400*a)$

където:

C е разстоянието от началната точка на профила до центъра на могилата

b – разстоянието на точката на измерване по профила

a – ъгълът на отклонение на профила от севера (в гради – g)

Като цяло, някаква специална допълнителна компютърна обработка на резултатите от съпротивителните измервания не се налага. Даже и при много смутени данни едно усредняване, филтрация или сплайн интерполация може да доведе до загуба на информация за съществуващи малки структури, които са всъщност преобладаващите представляващи археологически интерес.

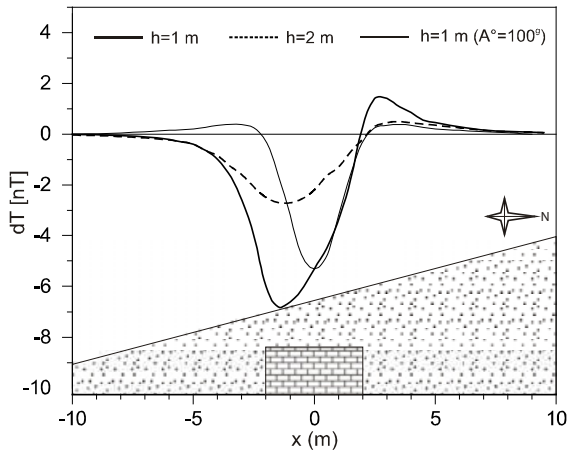
IV.3.2. Геомагнитни проучвания.

Добрите резултати получавани с електросъпротивителния метод при проучване на могили, както и липсата на достатъчно добра апаратура дълго време са обуславяли второстепенното място на геомагнитния метод. Възможността за регистриране на структури подложени на нагряване и притежаващи термоостатъчна намагнитеност определят възможността за получаване на ценни данни гробни и други конструкции, които са извън възможностите на съпротивителните измервания.

Едни първоначални моделни изчисления, наблюдения и изводи за потенциала на геомагнитния метод са докладвани по-долу. Те са направени въз основа на условията от некропола при Свещари, но са напълно валидни за цяла Северна България, както и за всички други райони, характеризиращи се с малък контраст между магнитните свойства на вместващата среда (могилния насип) и търсените обекти. Конкретните измервания бяха извършени в началото на деветдесетте години с полските протонни магнитометри PMP-4 и PMP-5 предоставени по проект с Полската акаде-

мия на науките.

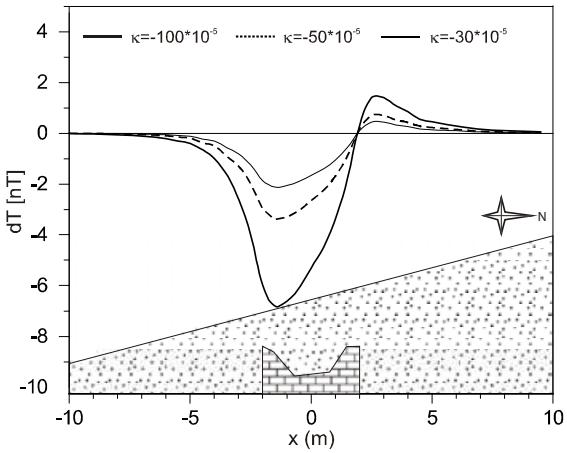
Възможността за прилагане на магнитния метод при проучване на надгробни могили зависи от редица фактори, които действат комплексно, но тук за удобство ще бъдат разгледани по отделно. На първо място това е контрастът в магнитната възприемчивост между вместващата среда (могилния насип) и погребаните археологически паметници (гробници, зидани гробове, каменни натрупвания и др.). Изследваните образци от могилни насипи от района на Свещари имат магнитна възприемчивост от 50 до 100.10^{-5} uSI (Радков, 1974; Авдев, Радков, Ставрев, Лозенски, 1983, 185). Вероятно подобни стойности са характерни за повечето почви и млади повърхностни отложения от Северна България, както и от други райони на Северна Европа, като цяло (Payne, 1996; Tabbagh, 1986a; Tabbagh, 1986b; Tabbagh, Bossuet, Becker, 1988; Tabbagh, Dabas, 1996). В същото време магнитната възприемчивост на варовиците, варовитите пясъчници и песъчливите варовици, от които са изградени съоръженията, разкрити в някои от могилите е около 0. Следователно очакваните магнитни аномалии ще бъдат с отрицателни стойности. За да се определи амплитудата на възможните аномалии е решена правата задача, като срещащите се в могилите от района каменни съоръжения са уподобени на различни по конфигурация правилни паралелепипеди. Изчисленията са извършени с помощта на компютърна програма базирана на алгоритмите на Колюбакин и Лапина (1960, 31-32), като са сравнени и с резултатите получени с програмата "Pblok" версия 1.05 на Geophysical Software Solutions Ltd. Първият и най-„благоприятен" модел е този на напълно запазена и незапълнена с пръст каменна гробница с размери 5x2x2 м (подобна на тази, разкрита в могила № 13), разположена на различна дълбочина под измервателния профил. Аномалната магнитна възприемчивост е приета за -100.10^{-5} uSI, магнитната инклинация 62°, наклон на профила (наклон на повърхността на могилата) 15°. При дълбочина 1 м амплитудата на магнитната аномалия достига до 6-7 nT, но с увеличаване на дълбочината бързо намалява, като на 2 м е около 2.5 nT, което вече е съизмеримо с грешката на измерване (фиг. IV.3.2.1).



Фиг. IV.3.2.1. Изчислени криви на магнитното поле. Модел 1.

Вторият модел описва един доста често срещан случай - немасивно каменно съоръжение (могили № 25 и 32), останки от частично разрушена гробница (могила № 12, Омуртаговата могила) или запазена гробница с размерите на първата, но покрита с насип с по-ниски магнитни свойства. На фиг. IV.3.2.2. е показана очакваната аномалия

при две различни стойности на магнитната възприемчивост (-50 and -30.10^{-5} uSI) за дълбочина 1 м. Тя е от порядъка на 2-3 nT, т. е. това е пределната дълбочина, до която въобще може да бъде регистриран такъв обект. Следователно, това е възможно при ниските могили (под 2-3 м) или ако обектът е съвсем в периферията на по-високите.

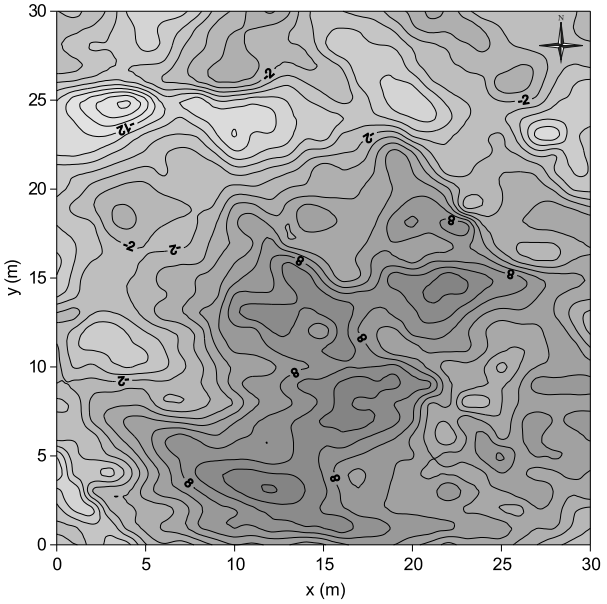


Фиг. IV.3.2.2. Изчислени криви на магнитното поле. Модел 2.

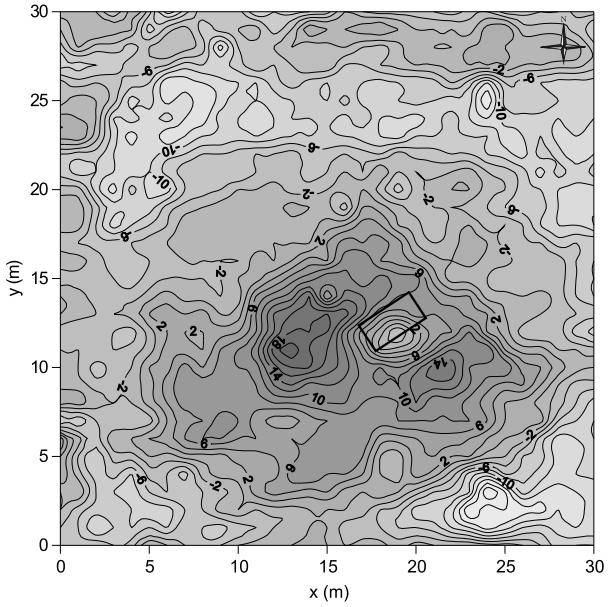
Тук трябва да се отбележи, че разгледаните примери са при посока на профила Ю-С, когато аномалията е най-силна. Такива профили, обаче са удобни само при проучване на ниски могили. При останалите, където поради характерната осева симетрия, обективно се налага използването на радиално-кръгова мрежа, вероятността търсеното съоръжение да се пресича под друг ъгъл е много голяма, а следователно и възможността измерената аномалия да е по-ниска от максималната. От друга страна, регистрираната аномалия може да се окаже много по-висока от очакваната (предварително изчислената), ако тя е предизвикана не от самата гробница, а от едно много по-интензивно нарушение на хомогенния могилен насип, свързано с конкретния начин на изграждането й. В същото време, ако могилният насип е натрупан не от почвения слой от района на могилата, а от пръст от по-дълбоко лежащите наслаги, които като случая с льоса са с много ниски магнитни свойства (от порядъка на тези на варовиците), магнитната аномалия може да клони към 0. Разбира се съвсем различна ще бъде ситуацията, ако гробницата е изградена с материал скали с висока магнитни свойства (магнитна възприемчивост и остатъчна намагнитеност), каквито често се срещат в Южна България (Долапчиева 1984). Тогава магнитната аномалия може да е доста по-интензивна и подобна структура да бъде регистрирана и на по-голяма дълбочина. Съвсем логично геомагнитното проучване много по-добре от електросъпротивителното ще регистрира структури подложени на нагряване като ритуални огнища, гробове с трупоизгаряне на място или култови площадки, на които са извършвани ритуали с огън. За съжаление, моделни изчисления за магнитните аномалии предизвикани от тях не могат да бъдат направени, тъй не разполагаме с данни от изследванията на магнитните свойства на такива структури.

Друг много важен фактор за прилагане на магнитния метод е възможността за отделяне на магнитното поле на затрупаните археологически обекти от регионалния фон, предизвикан от собственото магнитно поле на могилата и естествения вертика-

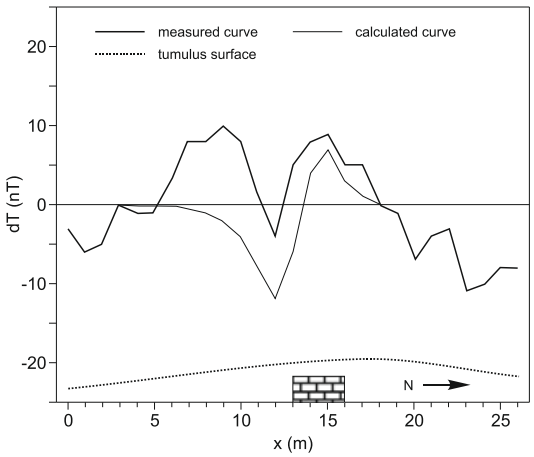
лен градиент. Магнитното поле, предизвикано от могилния насип, най-общо казано, е с положителни стойности в южната половина и отрицателни в северната, като максимумът е на няколко метра южно от центъра. Амплитудата на това поле при ниските могили достига до 20-30 nT и на този фон е възможно без особени трудности да се отдели една аномалия, предизвикана от плитко разположено каменно съоръжение. На фигури 3 и 4 са представени карти на магнитното поле на две ниски могили (17 и 18) от некропола при Свещари. На първата(фиг. IV.3.2.3) не може да се разпознае аномален обект, но на втората (фиг. IV.3.2.4) източно от максимума в централната част, дължащ се на полето на самата могила, се регистрира една аномалия с амплитуда около 15 гами. На следващата фигура (фиг. IV.3.2.5) са показани резултатите от магнитното измерване по профил през средата на аномалията. Вижда се, че на фона на положителните стойности на магнитното поле на могилата добре се отделя отрицателна аномалия, предизвикана от обект с ширина около 2 м. При направените археологически разкопки на това място е разкрит каменен саркофаг. Съвсем в югоизточния ъгъл на проучената площ се регистрира една отрицателна аномалия, която очевидно продължава още по на юг. Тук разкопките разкриха останки от огнище.



Фиг. IV.3.2.3. Карта на магнитното поле (nT). Свещари, могила № 17.



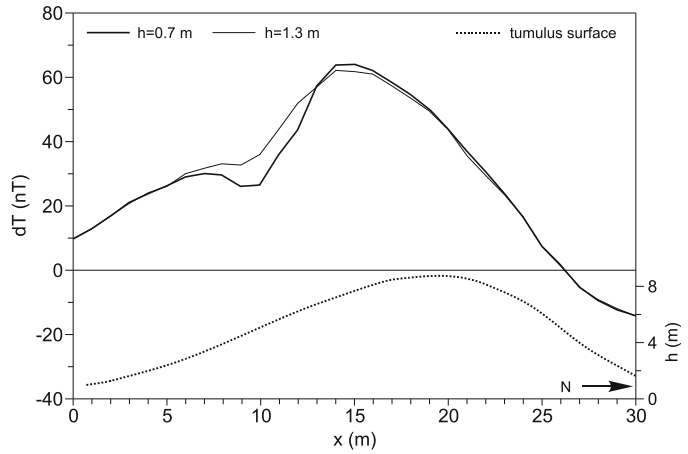
Фиг. *IV.3.2.4. Карта на магнитното поле (nT). Свещари, могила № 18.*



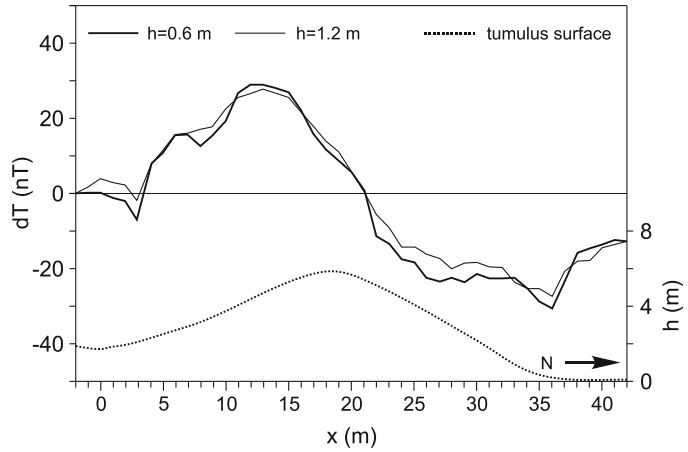
Фиг. IV.3.2.5. Магнитен профил през аномалията на могила № 18.

С увеличаване на размерите на могилите, обаче, нараства и тяхното магнитно поле, чиято амплитуда достига до няколко десетки гами, а за могилите с височина над 13-14 м - и над 100, т.е. стойности много по-високи от тези на търсените паметници. На фигура IV.3.2.6. е представено как би изглеждала аномалията по профил Ю-С, предизвикана от разгледаните по-горе модели, ако те се намират в южната част на могила с височина около 7-8 м. Данните за магнитното поле на могилата са взети от измерванията на могила №16 край Свещари. Подобен характер има измереното магнитно поле по профил с посока Ю-С на могила №28 (фиг. IV.3.2.7). За съжаление тук не можахме да разширим измерванията си, тъй като ни се наложи само за този профил да отделим около 4 часа за премахване на железни предмети от повърхността на могилата (един друг проблем влияещ върху приложението и ефективността на магнитния метод). Все пак се вижда, че при тези условия може да се очаква една

напълно запазена каменна гробница да даде една сравнително отчетлива аномалия. Но ако гробницата не е напълно запазена, намира се на по-голяма дълбочина или се пресича от измервателните профили под друг ъгъл, това няма да е така и ще е нужно да се отдели регионалния фон и по остатъчното поле да се правят изводи за наличието или отсъствието на обекти от археологически интерес.



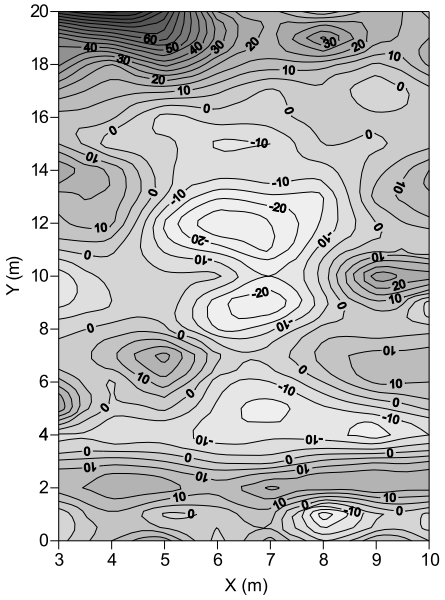
Фиг. IV.3.2.6. Криви на магнитното поле. Свещари, могила № 16.



Фиг. IV.3.2.7. Криви на магнитното поле. Свещари, могила № 28.

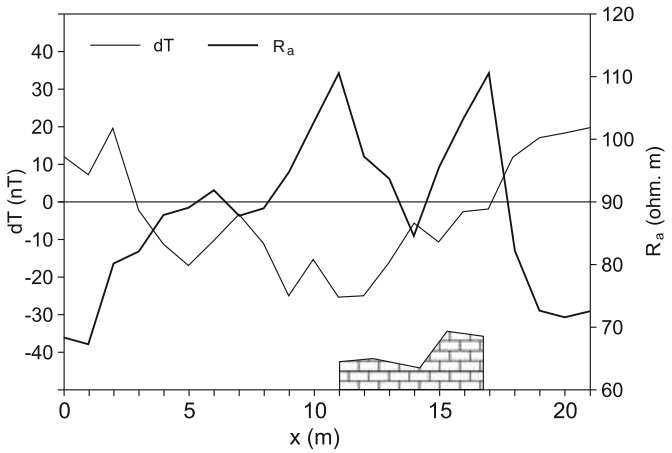
На проблема за въвеждането на корекции за релеф в измереното магнитно поле съм се спрял по-подробно в доклада си на Втората Южноевропейска конференция по археометрия в Делфи (Tonkov, 1996b), в който е предложено използването на полиномна регресия с полиноми от втора до пета степен за отстраняване на теренния ефект. Извършването на измерванията в градиометричен вариант не са достатъчни за отделяне на регионалния фон, тъй като аномалията предизвикана от самата могила е по-висока от тази от погребаните съоръжения. Сравнително добри са резултатите от

градиентните измервания извършени на могила №12 (фиг. IV.3.2.8).



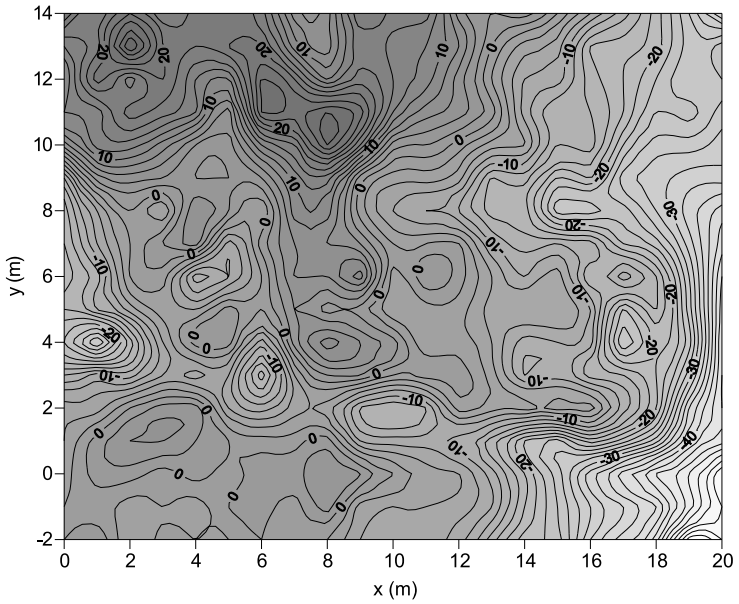
Фиг. IV.3.2.8. Карта на магнитното поле (nT). Свещари, могила № 12, детайлизационна мрежа.

За съжаление те са ограничени само над очакваното по електросъпротивителни данни съоръжение, тъй че не дават съвсем точна представа за възможностите на метода. Все пак може да се види, че стойностите на градиента нарастват към центъра на могилата (това се дължи на естествения градиент) като достигат амплитуда 3-4 пъти по-висока от тази над аномалния обект. На фигура IV.3.2.9. може да се направи сравнение и с резултатите от измерванията със схема Шлюмберже по профил над средата на очакваното съоръжение. Вижда се, че аномалията на привидното съпротивление е не само по-силна, но и че по нея много лесно могат да се определят границите и размерите на прогнозирания паметник.

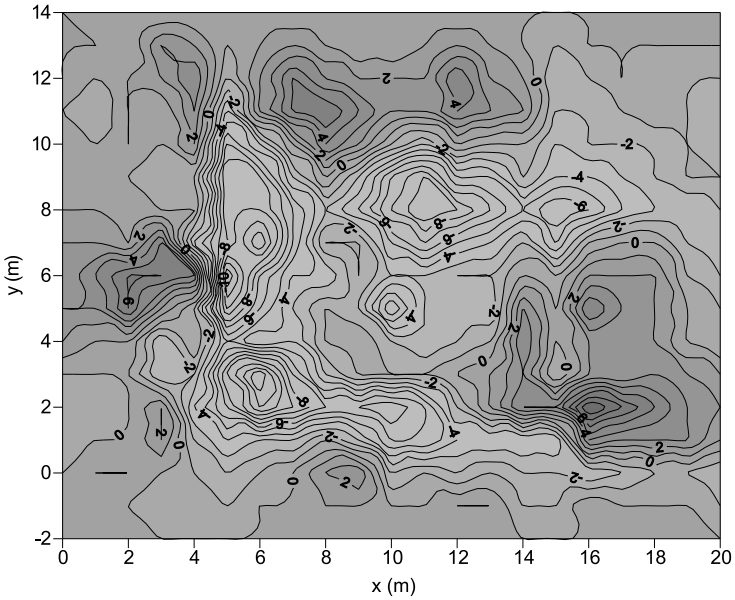


Фиг. IV.3.2.9. Магнитен профил през аномалията на могила № 12.

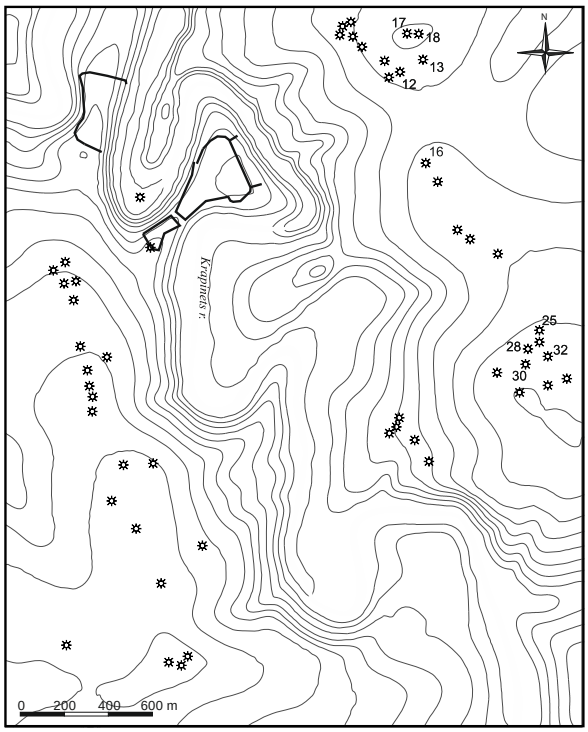
Най-добри резултати за внасяне на корекции за релеф бяха постигнати по метода на полиномната регресия с полиноми от 4-та и 5-та степен, чрез която едновременно се отстраняват магнитното поле на могилата, естествения вертикален градиент и аномалии, предизвикани от по-обширни изменения в характера на могилния насип. За илюстрация са представени резултатите от магнитните измервания в детайлизационния сектор на могила № 30 (Омуртаговата могила). По тях трудно може да се отдели аномална зона. Отбелязва се едно интензивно нарастване на стойностите на магнитното поле в северна посока (фиг. IV.3.2.10). След прилагане на полиномната апроксимация и получаването на остатъчната аномалия (фиг. IV.3.2.11), може да се очертае обект с приблизително правоъгълна форма. На това място археологическите разкопки са разкрили останки от силно разрушена гробница.



Фиг. IV.3.2.10. Карта на магнитното поле (nT). Свещари, могила № 30, детайлизационна мрежа.



Фиг. IV.2.11. Карта на остатъчното магнитно поле (nT). Свещари, могила № 30, детайлизационна мрежа.



Фиг. IV.3.2.12. Свещарският некропол с отбелязани номерата на могилите споменати в текста.

Приведените няколко примера с използването на протонни магнитометри показват, че геомагнитното проучване успешно може да се прилага в допълнение на

електросъпротивителното. Разбира се, остава открит въпросът, за новите възможности откриващи се пред метода, благодарение на съвременните флуксгейт градиометри, които се отличават с много по-висока чувствителност и бързина. Те ще бъдат коментирани в следващата глава във връзка с конкретни примери при проучването на различни като размери могили, съдържащи различни гробни или други съоръжения.

V. ГЕОФИЗИЧНИ ПРОУЧВАНИЯ НА ТРАКИЙСКИ НАДГРОБНИ МОГИЛИ (ПОЛЕВИ ПРИМЕРИ, АНАЛИЗ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА ДАННИТЕ И СРАВНЕНИЕ С РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ АРХЕОЛОГИЧЕСКИТЕ РАЗКОПКИ)

В представените по-долу примери са включени преимуществено могили проучвани през последните 5 години, след 2006 г., с прилагането на обоснованата по-горе методика, съчетаваща електросъпротивително картиране с двумерна и тримерна електросъпротивителна томография и магнитна градиометрия с използването на новата апаратура, периферни устройства (многожилни кабели, електродни превключватели) и програмно обезпечение. Изключение правят могилите от района на Шипка, които са проучвани през 1992 г. (Малката могила), 1995 (Зарева и Голяма Арсеналка), 1997 г. (Атьова) и 2004 г. (Светица), заради много добрите резултати, които са отлични примери за възможностите на електросъпротивителния метод. За да не се натоварва прекомерно, в изложението по-долу са включени не всички могили проучени през последните години, а само такива с различни размери, съдържащи разнообразни гробни други съоръжения, които илюстрират възможностите и ограниченията на предлаганата методика.

V. 1. МОГИЛИ ОТ РАЙОНА ГР. ШИПКА.

Геофизичните проучвания на могили от некропола при Шипка-Шейново започнаха през 1992 г. Както и другаде, всъщност пряк повод за започналите широкомащабни археологически разкопки в района на Казанлък бяха бруталните опити на иманярите да се доберат до скритите в тракийските могили богатства. Разкопките бяха предшествани от геофизични проучвания. Целта им бе да се набележат най-перспективните могили, откъдето да започнат археологическите дейности. В последствие задачата бе усложнена, като трябваше да се прогнозира вида на очакваните съоръжения, за да могат да се планират предварително разкопките за най-ефективното им провеждане.

За четири полеви сезона електропроучване бе извършено на сравнително голям брой могили – над 10, един сам по себе си положителен факт, който позволи да се добие по-ясна представа за някои общи закономерности и особености в геолого-геофизичните характеристики на могилните насипи и околния терен, както и за амплитудата на аномалиите, предизвикани от обекти от археологически интерес; да се въведат своевременни корекции в методиката и така да се получат по-добри резултати. С малки изключения могилните насипи в района са натрупани от чакъл с включения от по-дребни или по-едри камъни изкопани от повърхността на околния терен - материалът от наносните конуси, образувани от свличането на скални маси от южните склонове на Балкана (Чешитев, Кънчев, 1989). Това определя и като правило

високото фоново електрическо съпротивление на насипите, като ниското съдържание на глина, от своя страна, обуславя изключително голямата зависимост на това съпротивление от съдържанието на влага. Така например, ако един могилен насип през месец май или в началото на юни, когато падат много дъждове, е с фонови стойности на привидното съпротивление от порядъка на 150-200 ohm. m, то през август тези стойности могат да надхвърлят 1000 и даже 2000 ohm. m.

V.1.1. Малката могила (прил. V.1.1.1).

Височина около 4 м, диаметър в основата около 25 м.

Малката могила беше сред първите 4 могили, с които бе сложено началото на геофизичните измервания през 1992 г. и която след обработката на получените данни беше препоръчана като най-перспективна за археологически разкопки.

Измерванията бяха извършени със схема Шлюмбереже по 12 радиални профила (през 30°) и шест кръгови профила през 2 м. За радиалните профили бяха използвани дължини на схемата n=1 и n=3 (AB=3 и 7 м), а за кръговите n=1 и n=2, при MN=1 м (a=1 м). В резултат, южно от центъра на могилата се очерта интензивна аномалия с неправилна елипсовидна форма и размери приблизително 6x4 м (прил. V.1.1.2, V.1.1.3, V.1.1.4). Прави впечатление, че аномалията е по-добре изразена за измерванията по радиалните профили.

При нормални условия, в зоната на аномалията трябваше да се извършат детайлизационни измервания по правоъгълна мрежа с цел съвсем точното определяне положението и размерите на смутителя. За да не се подсказва обаче с нищо на иманярите от района, къде може да се очаква евентуално съоръжение, детайлизационните измервания бяха ограничени само до два надлъжни и два напречни профила през средата на аномалията (n=1÷4). За щастие те се оказаха напълно достатъчни и дадоха точните размери и местоположение на смутителя. В случая интересното е, че стойностите на привидното съпротивление измерени със схема n=1 регистрират горната част на съоръжението, докато двата пика при тези измерени с n=3 или n=4 маркират точно границите на смутителя (прил. V.1.1.5). Направената прогноза за съществуването под могилния насип на неразрушена, а вероятно и неограбена гробница се оказаха верни. Само два часа след началото на разкопките археолозите достигнаха до примитивна каменна гробница, пред която от огромни каменни плочи е бил изграден саркофагоподобен гроб (прил. V.1.1.6). В гробницата е бил положен тракийски владетел, а заедно с него две златни огърлици, златен пръстен-печат, златен нагръдник и множество златни украси за дреха, две сребърни огърлици, бронзова ситула, множество други сребърни, бронзови и глинени съдове и други предмети (Китов 1994, 46-76).

V.1.2. Зарева могила.

Височина около 4.5 м, диаметър в основата около 30 м.

Мрежа: радиални профили през 30°, кръгови профила през 2 м.

Иполвана схема: Шлюмберже - n=1, 2, 3; MN=1 м (a=1 м).

Югоизточно от върха на Зарева могила беше регистрирана аномалия с овална, почти изометрична форма (прил. V.1.2.1). Тя е типичен пример на плитко разположено и недобре издържано в дълбочина локално каменно струпване. Именно за това говореше фактът, че най-високите стойности на привидното съпротивление са получени от измеренията с най-малката схема n=1 (AB=3 м), като за по-дългите схеми n=2 и 3 (AB=5 и AB=7 м) тези стойности постоянно намаляват. Такова струпване наистина

бе разкрито чрез археологическите разкопки, а под него и погребение на войн и неговия кон заедно със съответния погребален инвентар – шлем, мечове, копия, щит и т. н. (прил. V.1.2.2) (Kitov 1995).

V.1.3. Голяма Арсеналка (прил. V.1.3.1).

Височина около 10 м, диаметър в основата около 50 м.

Мрежа: радиални профили през 20^g, кръгови профила през 2 м.

Използвана схема: Шлюмберже - n=1, 3, 5; MN=1 м (a=1 м).

Измерените стойности на привидното електрическо съпротивление са сравнително високи – в рамките на 300-800 ohm. m (прил. V.1.3.2, V.1.3.3). Цялата югоизточна четвърт на могилата се характеризира с високи стойности на измереното привидно електрическо съпротивление. Това може да се обясни с начина на натрупване на насипа във връзка с процеса на строителство на откритата по-късно гробница. На този фон южно, съвсем леко югоизточно, от центъра на могилата се регистрира положителна аномалия. Тя не е толкова интензивна, като описаната по-горе при Малката могила. Всъщност, аномалията се регистрира само с по-дългите схеми n=3 и 5, но не и с n=1. Това говори, че смутителят е разположен на по-голяма дълбочина. Това наложи допълнително да се проведат серия от детайлизационни измервания със същите схеми по правоъгълна мрежа с гъстота 1x1 м ориентирана перпендикулярно на очаквания обект (виж прил. V.1.3.2б). Те успяха да очертаят на около 12 м от периферията на могилата съоръжение с приблизително правоъгълен план и размери около 5x6 м (прил. V.1.3.4-11). Това даде основание на археолозите да ограничат разкопките си само в сектора пред очакваното съоръжение и така да покажат откритата по-късно гробница-мавзолей във вида, в който е била посещавана от древните траки преди повече от 24 столетия (V.1.3.12) (Kitov 1995; Kitov 1996). Сравнявайки резултатите от измерванията по детайлизационните профили с резултатите от разкопките може да се направи изводът, че надлъжните (радиални) профили регистрират гробницата много по-добре от напречните (кръгови). При последните, аномалията над фасадата е много по-слаба, а над камерата въобще липсва. Освен това ясно се вижда, че при надлъжните профили фасадата, която е по-близко до повърхността, се регистрира много добре и с трите използвани схеми, за разлика от гробната камера, която се засича само с по-дългите схеми и то с максимум изместен на един-два метра от центъра й, т. е. от най-високата й част.

V.1.4. Атьова могила

Височина около 7 м, диаметър в основата около 45 м.

Мрежа: радиални профили през 20^g.

Използвана схема: Шлюмберже - n=1, 3, 5; MN=1 м (a=1 м).

На представените резултати от измерванията (прил. V.1.4.1) правят впечатление много по-високите стойности на привидното съпротивление на околния терен (900-1300 ohm. m) в сравнение с тези на могилния насип (500-600 ohm. m). На този фон ясно се отеля една линейна аномалия с формата на полудъга в южната периферия на могилата с повишени стойности на привидното съпротивление. Както можеше да се предположи, тя се оказа предизвикано от крепида, изградена от един ред големи каменни блокове, опасващ южната част на могилата (прил. V.1.4.2) (непубликувани резултати на др. Георги Китов). Участъците с понижени стойности на привидното съпротивление в тази полудъга съответстват на местата, където липсваха камъни от

крепидата. Това позволи на археолозите да започнат разкопките точно от едно от тези места, за да могат да достигнат по-лесно до аномалията регистрирана югоизточно от центъра на могилата. Тук в основата ѝ бе разкрито разрушено и ограбено още в древността неголямо гробно съоръжение. В този случай задължително трябва да се отбележи, че тази аномалия на привидното съпротивление е свързана по-скоро с покъсно нарушаване на известна част от могилния насип, отколкото със самото гробно съоръжение.

V.1.5. Могилата Светица.

Могилата "Светица" се намира на около 4 км югоизточно от град Шипка, северно от централния път за Казанлък. Висока е около 8 м и има диаметър около 55 м (прил. V.1.5.1).

Историята на проучването на тази могила е твърде интересна. Всъщност това е третата могила в България, на която някога са правени геофизични изследвания. През есента на 1963 г., в рамките на една итало-българска културна спогодба, екип на италианската фондация Леричи извършва опитно-методични геофизични проучвания на 6 могили от района на град Казанлък, една от които е тази могила. Проучванията на могилата включват протонна магнитометрия и електросъпротивителни измервания по радиална мрежа с профили през 10^{g}. Магнитните измервания са правени със стъпка 1 м. За електросъпротивителните измервания е използвана една Венерова схема с разстояние между съседните електроди 1.5 м, и съответно стъпка - 1.5 м. В представения от фондация Леричи доклад се обръща внимание на регистрирана магнитна аномалия в югозападния сектор на могилата, "където може да се очаква a chamber tomb" (Fondazione Lerici 1963, 10-11). Аномалия на привидното електрическо съпротивление не е регистрирана и, съответно, не е докладвана. Въз основа на данните от геофизичните проучвания археолози от градския музей в Казанлък изкопават един сондаж за проверка на магнитната аномалия, но не достигат до каквото и да е съоръжение (по сведения на др. Г. Китов). Тридесет години по-късно, през 1993 г., археолозите решават, че италианският екип е обърkал севера с юга и изкопават с тежки машини две големи траншеи в югоизточния сектор на могилата, при което отново не попадат на никакво съоръжение (непубликувани разкопки на др. Г. Китов). В последвалите години целият могилен насип е бил нарушаван непрестанно от нови иманярски изкопи. През лятото на 2004 г., във връзка с подновените след седем годишно прекъсване разкопки в района на Казанлък, беше решено да се направи едно последно детайлно геофизично проучване на ненарушения югозападен сектор на могилата и при положителна прогноза да се проведат археологически разкопки.

Геофизичните измервания бяха проведени в периода 11-13 август 2004 г. чрез прилагане на електросъпротивителния метод. Използвана беше схема Венер-Шлюмберже с три основни дължини на захранващата линия - AB = 3, 7 и 11 м, при разстояние между приемните електроди MN = 1 м и стъпка на измерване 1 м. Проучвателната мрежа беше радиална, съобразена с характерната осева симетрия на могилите, с профили през 10^{g}. За ускоряване на измерванията бяха използвани многожилни кабели и автоматичен превключвател. В зоните с аномални стойности на привидното електрическо съпротивление бяха прокарани допълнителни профили с използване-

то на по-голям брой дължини на захранващата линия.

Регистрираните в резултат на измерванията стойности на привидното съпротивление в проучената част от могилата са сравнително високи (300-700 ohm. m)[27], но слабо смутени (прил. V.1.5.2). Това говори за един хомогенен могилен насип с високо съдържание на песъчлива фракция и скални материали. На този фон се отделя една обширна аномалия в южната част на могилата, която се регистрира по различен начин с трите измервателни схеми. Тя е особено интензивна за стойностите на съпротивлението за AB = 3 и 7 м, които достигат 1300-1500 ом. м (прил. V.1.5.2а, б). По профил 200g аномалията е с малко по-нисък интензитет за тези схеми, но тук тя се регистрира много отчетливо с най-дълбочинната електродна конфигурация - AB=11 м (прил. V.1.5.2в). По данните от последната, на около 1 м навътре от видимата периферия на могилата, може добре да се отдели един смутител с приблизителна дължина 2-3 м в посока юг-север (прил. V.1.5.3а). На 2-3 м северно от тази аномалия се отделя втора с почти двойно по-нисък интензитет. За да се определи с по-висока степен на вероятност характера на смутителите и на самия могилен насип в дълбочина, бе измерен един дълбочинен (2-D) профил по линията 200g. За целта беше използвана схема Венер-Шлюмберже с разстояние между токовите електроди нарастващо прогресивно от 3 до 23 м (т. е. 11 дължини на схемата) при постоянно разстояние от 1 м между приемните електроди. Резултатите от измерванията са обработени с инверсионната програма Res2Dinv. Чрез нея е получен компютърен модел на разпределението на електричното съпротивление в дълбочина (прил. V.1.5.4). Инверсионната обработка на данните е осъществена чрез използване на оптимизирания метод на най-малките квадрати при ограничено изглаждане (the smoothness-constrained least-squares optimization method (Loke, Dahlin 2002)). Тъй като се очакваше наличие на гроб с резки граници беше използвана блокова нормализация (Loke, Acworth, Dahlin 2003) с мощност на блоковете от 0.5 м. Дебелината на първия слой беше заложена на 0.25 м, като за всеки следващ се увеличаваше с 15%.

От модела ясно се вижда, че на фона на сравнително ниските и слабо смутени стойности на съпротивлението на могилния насип и на околния терен се отделя една обширна аномална зона, която започва буквално от самата периферия (точка 0) и продължава до около 12 метра навътре в могилата. Във вертикална посока тя започва директно от повърхността и достига дълбочина от около 2-2.5 м. На фона на това повишение много отчетливо се очертава една много интензивна аномалия с почти правилна правоъгълна форма и размери в хоризонтална посока около 2.5 м и около 1.5 м (от около 0.6 м до около 2.1 м от повърхността), във вертикална. Почти на същата дълбочина на около 2 м зад тази аномалия се отделя втора, по-слаба и по-неясно очертана. Очевидно първата аномалия е предизвикана от неголямо каменно съоръжение с правилна форма, докато втората е по-скоро част от по-аморфната регионална аномалия, която най-вероятно се дължи на изменение в характера на могилния насип. За съжаление, поради натрупаната в непосредствена близост пръст от съседния изкоп, нямаше възможност да бъдат определени размерите на регистрираното съоръжение в посока изток-запад.

Археологическите разкопки, ръководени от покойния вече доц. Георги Китов, започнаха три дни след извършване на геофизичните проучвания и разкриха на по-

27 Като цяло, те са в рамките на „нормалните“ стойности на насипите на другите могили в района, проучвани през предишните години.

соченото място в самата периферия на могилата каменен гроб с много богат инвентар (прил. V.1.5.5) (Китов 2005б).

Съвсем естествено възниква въпросът: защо италианският екип не успява да засече гроба. Причините са две. Първо, магнитометрията не е подходяща за проучване на големи могили. Интензитетът на очакваните аномалии е нисък, особено в случаите на нисък контраст в магнитните свойства на гробната конструкция и могилния насип. Още повече, че особено при ползването на магнитометър само с един сензор, в измерванията трябва да се въведат корекции за релеф за елиминиране влиянието на самата могила като релефна форма. На второ място, както беше споменато по-горе, италианският екип прави измервания само с една дължина на схема Венер. Тя е почти идентична със схемата Шлюмберже с AB=5, използвана от нас при двумерните изследвания. Както се вижда от прил. V.1.5.3б, в този случай е регистрирана само една обширна зона с високи съпротивления, но не и гробът, който се отделя еднозначно чак при AB=11 м. Очевидно, една схема Венер с разстояние между съседните електроди от 1.5 м не е в състояние да регистрира отчетливо подобна конструкция разположена на дълбочина 1-1.5 м.

Съпротивителните измервания на могилата Светица дадоха и още един важен резултат. Изометричната форма на аномалията за AB=3 и 7 м (прил. V.1.5.2а, б), както и разпределението на съпротивлението при инверсионния модел, показват че гробът най-вероятно е бил изграден след като в южната част на оригиналния могилен насип е направен голям изкоп, който след това е бил запълнен с пръст с високо съдържание на камъни и чакъл, което е причината за високите съпротивления. Това наблюдение е в подкрепа на съществуващата хипотеза, че някои от гробниците от това време са изграждани във вече издигнати могили.

V.2. МОГИЛИ ПРИ С. БРАТЯ ДАСКАЛОВИ.

В района на с. Братя Даскалови бяха проучени пет могили. Три от тях – Момина, Читашката и Каракочова са разположени на един склон непосредствено североизточно от селото, а останалите две – непосредствено северозападно от съседното село Гранит. В Момина могила, след многократни опити, иманярите бяха успели с един от изкопите си да достигнат до каменна гробница, разположена в южната част на могилата, което даде повод за провеждането на широкомащабни археологически проучванията по проект финансиран по механизъма на Европейското икономическо пространство.

V.2.1. Момина могила (прил. V.2.1.1).

Височина около 7 м, диаметър в основата около 50 м.

Целта на проучванията на могилата беше да се установи точното положение, размери и ориентация на достигнатата от иманярите гробница; наличието или отсъствието на други гробни съоръжения; други конструкции и особености на натрупване на могилния насип, с което да се даде информация за най-ефективното провеждане на разкопките.

Мрежа: радиални профили през 8^g, стъпка на измерване 1 м.

Използвана схема: Шлюмберже - n=1, 3, 5; MN=1 м (a=1 м).

Поради наличието на голям иманярски изкоп в източната част на могила с площ около 200 кв. м, тук измервания не бяха извършени.

За получаването на допълнителни данни за гробницата и за характеристиките

на могилния насип бяха извършени детайлизационни измервания по метода на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране - НВЕС (двумерна електросъпротивителна томография). Измерени бяха общо 9 профила с дължина между 34 и 47 м (виж прил. V.2.1.2). Използвана беше схема Шлюмберже с десет дължини, n=1÷10, при MN=a=1 м и стъпка на измерване – също 1 м.

Стойностите на измереното привидно електрическо съпротивление и за трите използвани електродни схеми са високи и силно смутени (прил. V.2.1.2, прил. V.2.1.3). В най-голяма степен това важи за стойностите измерени с най-„плитката" схема – AB=3 м. Това говори за нехомогенен могилен насип изграден от пръст с много високо съдържание на скални материали. Най-високи и смутени са стойностите в южната и западната части на могилата. На няколко места тук се регистрират обширни безформени аномалии, които са предизвикани най-вероятно от каменни струпвания.

Най-ясни и информативни са резултатите получени с най-„дълбоката" електродна схема AB=11 м (n=5). От тях се вижда, че като цяло в дълбочина могилният насип е по-хомогенен. Обширната зона с високи стойности на привидното електрическо съпротивление обхващаща почти цялата северозападна част на могилата е свързана с по-голямото съдържание на скални материали в насипа. За останалата част на могилата стойностите са значително по-ниски.

На този фон много добре се отделят три характерни интензивни положителни аномалии южно от центъра на могилата. Първите две са линейни, с приблизителна ориентация изток-запад (перпендикулярни на оста север-юг). Регистрират се съответно на 6 и 11 м от периферията на могилата и имат дължина около 9-10 м. Очевидно те са предизвикани от значителни каменни струпвания с линейни очертания в план. От приложите инверсионни модели, получени от измеренията по метода на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране (прил. V.2.1.4, прил. V.2.1.5) се вижда ясно, че първото струпване (това на 6-тия метър) се развива много добре в дълбочина като достига ширина от 2.5 м в основата си, която се намира на 1-1.5 м от повърхността на могилата. За разлика от него второто (на 11-тия метър) е разположено близко до повърхността и не се развива в дълбочина. Третата аномалия се регистрира между 14-тия и 18-тия метър от периферията на могилата, съответно между 11 и 7 м от центъра. Тя очевидно е предизвикана от каменната гробница в могилата. Интересното е, че аномалията няма ясно изразени линейни очертания в план. Това може да се обясни от една страна със значителна дълбочина от повърхността, на която се намира гробницата, което възпрепятства успешното й регистриране, или с евентуална недобра запазеност на самата конструкция – от друга. За съжаление, поради смущаващото влияние на многобройните иманярски изкопи в тази част на могилата, резултатите от инверсионното моделиране извършено на няколкото допълнително измерени профила по метода НВЕС не позволяват еднозначна интерпретация и допълнително прецизиране. Прокараните напречни дълбочинни профили южно от гробницата не дават основание да се очаква тя да е снабдена с коридор, водещ към периферията на могилата. По-скоро една локална положителна аномалия говори за наличие на каменно струпване на нивото на пода пред самия вход на гробницата (прил. V.2.1.6). Проведените археологически разкопки, потвърдиха направените прогнози, както за положението на гробницата, така и за каменните струпвания пред нея (Тонкова, Иванов 2011) (прил. V.2.1.8).

Данните, както от съпротивителното картиране, така и от двумерната електросъпротивителна томография не дават основание да се предполага наличието на втора

гробна конструкция. В дълбочина насипа в страни и зад гробницата е хомогенен с отчетливо ниски стойности на съпротивлението (прил. V.2.1.4, прил. V.2.1.7).

V.2.2. Читашката могила (прил. V.2.2.1).

Височина около 6.5 м, диаметър в основата около 40 м.

Мрежа: радиални профили през 10^g, стъпка на измерване 1 м.

Използвана схема: Шлюмберже - n=1, 3, 5; MN=1 м (a=1 м).

За получаването на допълнителни данни за наличието на аномални обекти в дълбочина и за характеристиките на могилния насип бяха извършени детайлизационни измервания по метода на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране - НВЕС (двумерна електросъпротивителна томография). Измерени бяха общо 9 профила с дължина между 34 и 47 м (виж прил. V.2.2.2). Използвана беше схема Шлюмберже с десет дължини, n=1÷10, при MN=a=1 м и стъпка на измерване – също 1 м.

Стойностите на измереното привидно електрическо съпротивление са сравнително високи, но слабо смутени (прил. V.2.2.2, прил. V.2.2.3). Това говори за един хомогенен могилен насип, изграден от предимно песъклива пръст с ниско съдържание на глинеста компонента и много малко или пълна липса на скални материали. Много високи стойности на съпротивлението се регистрират единствено по самата периферия на могилата и извън самия могилен насип. Те се дължат на влиянието на много плитко разположените коренни скали. С най-„плитката" електродна схема AB=3 м (прил. V.2.2.2) по цялата южна и западна периферия на могилата се регистрира една линейна аномалия с формата на полукръг. Тя най-вероятно е предизвикана от каменна крепида, която опасва тази част на могилата, като се разполага на около 2-3 м от периферията на насипа. Дебелината ѝ между 0.5 и 1 м, като не е постоянна в размерите си по цялото си протежение. Възможно е да има участъци където е по-дебела, и други – където е по-тънка. Други аномалии на привидното съпротивление не се регистрират. Инверсионните модели на съпротивлението по допълнително измерените профили по метода НВЕС също не отделят никакви аномални обекти в дълбочина. Много добре се регистрира крепидата, която по данните от инверсионното моделиране е с ширина до 3 м и височина до 1 м (прил. V.2.2.4, V.2.2.5). В повърхностния слой до около 1 м от повърхността се набелязват и някои незначителни отклонения, които могат да се свържат с неоднородности в повърхностния слой свързани със самия начин на насипване на могилата или с по-късни нарушения на могилния насип. Инверсионните модели по напречните профили в южната част на могилата (прил. V.2.2.6) също не регистрират какъвто и да е смутител в дълбочина. Всичко това говори, че в могилата не може да се очаква наличие на гробница или друго голямо каменно съоръжение.

Последвалите археологически разкопки разкриха очакваната крепида (прил. V.2.2.7). При разкопките в повърхностните части на насипа бяха открити и множество вторични гробове от късната античност и средновековието (Димитров, Тонкова 2011б). Те обаче, представляваха малки гробни ями, запълнени с пръст, която по нищо не се различава от околната. Регистрирането им очевидно е извън възможностите на геофизиката. Същото се отнася и за каменното струпване разкрито в основата на могилата (прил. V.2.2.7). То е с овална форма и размери около 2 на 5 м и височина около 1 м. Съвсем естествено е една такава структура да не може да бъде регистрирана на дълбочина от над шест метра.

V.2.3. Каракочова могила (прил. V.2.3.1).

Височина около 2.5 м, диаметър в основата около 25 м.

Мрежа: правоъгълна с профили през 1 м, стъпка на измерване 1 м.

Използвана схема: Шлюмберже - n=1, 3, 5; MN=1 м (a=1 м).

За получаването на допълнителни данни за наличието на аномални обекти в дълбочина и за характеристиките на могилния насип бяха извършени детайлизационни измервания по метода на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране - НВЕС (двумерна електросъпротивителна томография). Измерени бяха общо 2 профила с дължина 34 м (виж прил. V.2.3.2). Използвана беше схема Шлюмберже с десет дължини, n=1÷10, при MN=a=1 м и стъпка на измерване – също 1 м.

Стойностите на измереното привидно електрическо съпротивление като цяло са високи, но са сравнително слабо смутени (прил. V.2.3.2). Това говори за един хомогенен насип с високо съдържание на песъклива фракция, чакъл и скални материали и ниско съдържание на глина. Най-високите стойности на съпротивлението и за трите използвани електродни схеми се регистрират в южната периферия на могилата и извън самия могилен насип и са предизвикани от много плитко разположените коренни скали. В самата могила положителни аномалии не се регистрират, което означава, че не може да се очаква наличието на каменно съоръжение в насипа. На около 2-3 м южно от центъра на могилата се регистрира една изометрична зона с размери в план около 3x3 м, характеризираща се с много ниски стойности на привидното съпротивление. Много добре се отделя тази аномалия и на инверсионните модели по вертикалните профили измерени над нея (прил. V.2.3.3). Възможните причинители на тези ниски стойности са няколко: 1) вкопаване в могилния насип запълнено с пръст с по-високо съдържание на глина; 2) вкопаване в коренната скала запълнено с пръст; 3) малка могилка от пръст с високо съдържание на глина в основата на могилата. Във всички случаи тази структура може да е свързана или да е индикатор за извършено погребение в древността. Такава структура наистина беше открита при археологическите разкопки (Димитров, Тонкова 2011а) (прил. V.2.3.4). Става въпрос за кремация върху самия античен терен, която след падане на кладата е била засипана, но след полагането на много и твърде богати гробни дарове. Дължината на гробното ложе, изгорено в кладата е 3 м, а широчината почти 2 м. Очевидно кладата, както и малката могилка от глинеста пръст натрупана над нея са причината за толкова отчетливите ниски съпротивления регистрирани от двумерното инверсионно моделиране. Възможно е самата гробна клада да води до рязко повишаване на проводимостта на средата вследствие на високото съдържание на въглерод, аналогично на притежаващите електронна проводимост дървени въглища (Франтов, Пинкевич 1966, 84), както и на графитовите или въглищните шисти (Пищалов 1976, 18, таблица 2).

V.2.4. Могила 1 при с. Гранит (V.2.4.1а).

Височина около 3 м, диаметър в основата около 30 м.

Мрежа: радиални профили през 10^{g}, стъпка на измерване 1 м.

Използвана схема: Шлюмберже - n=1, 3, 5; MN=1 м (a=1 м).

Магнитна градиометрия: квадратна мрежа 40x40 м; профили през 0.5 м; стъпка по профилите 0.25 м. Използван апарат: флуксгейт градиометър GRAD 601-1, Bartington в автоматичен режим.

За получаването на допълнителни данни за наличието на аномални обекти в

дълбочина и за характеристиките на могилния насип бяха извършени детайлизационни измервания по метода НВЕС. Измерени бяха общо 5 профила с дължина между 34 и 47 м (виж прил. V.2.4.2). Използвана беше схема Шлюмберже с десет дължини, n=1÷10, при MN=a=1 м и стъпка на измерване – също 1 м.

Стойностите на измереното привидно електрическо съпротивление и за трите използвани електродни схеми са ниски (10-30 ohm. m) и слабо смутени (прил. V.2.4.2, прил. V.2.4.3а). В най-голяма степен това важи за стойностите измерени с най-„дълбоката" схема – AB=11 м. Това говори за един хомогенен могилен насип изграден от пръст с много високо съдържание на глина, ниско съдържание на пясък и чакъл и почти пълна липса на скални материали, каквато, всъщност е пръстта от околния терен – резултата от наносите на протичащата в близост река Гюлдере. На този фон, се отделят няколко локални положителни аномалии на стойностите на привидното електрическо съпротивление, измерени със схема AB=3 м. Те, обаче, са с много нисък интензитет и не могат да бъдат свързвани с евентуални археологически структури, а по-скоро са предизвикани от слабо изразени и плитко разположение неоднородности в могилния насип. Инверсионните модели по профили 160-360 и 200-0 (прил. V.2.4.4) също говорят за един хомогенен насип със стойности между 20 и 40 ohm. m.

При стойностите на съпротивлението измерени със схемите AB=7 и AB=11 м се отделя една по-добре изразена изометрична аномалия ситуирана на няколко метра югозападно от центъра на могилата. Инверсионните модели на измерените в зоната на аномалията профили по метода НВЕС (прил. V.2.4.5) потвърждават наличието на аномален обект в дълбочина. Той е с приблизителни размери в план 3х3 м и се разполага на дълбочина между 0.7 и 1.7 м от повърхността на могилата, т. е. долния му край е на нивото на основата на могилата. Компактната форма на смутителя предполага, че най-вероятно става въпрос за каменно струпване върху древния терен, което в последствие е затрупано с могилен насип. Такова струпване беше открито наистина, но за съжаление, вследствие на иманярски изкоп направен през лятото на 2011 г. (V.2.4.1б). На дълбочина около 1 м от повърхността иманярите са попаднали на варовикови камъни, които са започнали да изхвърлят, но бяха спрени своевременно, а изкопът – затрупан. Така че, размерите на самото струпване останаха неустановени.

Резултатите от обработката на геомагнитните измервания не отделят никакъв аномален обект в могилния насип (прил. V.2.4.3б). Регистрираните няколко характерни аномалии с положителна и отрицателна компонента и малки размери в план са предизвикани, най-вероятно, от плитко разположени съвременни железни предмети. В случая е по-важно да коментираме, защо геомагнитните измервания не регистрират структурата регистрирана при електросъпротивителните. Първото нещо, което прави впечатление са много ниските стойности на измерения градиент на магнитното поле. Те са в рамките на -2÷2 nT. Това говори, че самата пръст, от която е натрупана могилата е с много ниска магнитна възприемчивост. Следователно, и каменното струпване от варовикови камъни (магнитна възприемчивост на варовиците е близка до 0) няма да предизвика никакви отклонения в магнитното поле и, оттам, регистрирането на струпването.

Резултатите от геомагнитните измервания ни дават възможност да оценим какво е влиянието на могилния насип като релефна форма и има ли нужда от коригирането му. За целта е разгледана кривата на магнитното поле по профили с направление юг-север през центъра на могилата (пр. 0), т. е. през най-високата й част, и на пет метра западно (пр. -5) (прил. V.2.4.6). Много ясно се вижда, че нормалното изменение

на магнитното поле по профила е близко до нула и, следователно, корекция на магнитното поле предизвикано от могилата като релефна форма не се налага. Този факт може да се дължи, както на много ниските магнитни свойства на насипа, така и на използването на магнитометър в градиентометрична конфигурация, при която автоматично се елиминират „регионалните" изменения на магнитното поле.

V.2.5. Могила 2 при с. Гранит(прил. V.2.5.1).

Височина около 4.5 м, диаметър в основата около 35 м.

Мрежа: радиални профили през 10^g, стъпка на измерване 1 м.

Използвана схема: Шлюмберже - n=1, 3, 5; MN=1 м (a=1 м).

Магнитна градиометрия: радиални профили през 10^g; стъпка по профилите 0.5 м. Използван апарат: флуксгейт градиометър GRAD 601-1 Bartington в ръчен режим на измерване. За да се поддържа фиксирано разстояние на сензорите от повърхността на могилата беше използвана пластмасова приставка с височина 20 см монтирана в долния край на уреда.

За получаването на допълнителни данни за гробницата и за характеристиките на могилния насип бяха извършени детайлизационни измервания по метода на ВЕС. Измерени бяха общо 4 профила с дължина между 34 и 47 м (виж прил. V.2.5.2). Използвана беше схема Шлюмберже с десет дължини, n=1÷10, при MN=a=1 м и стъпка на измерване – също 1 м.

Стойностите на измереното привидно електрическо съпротивление и за трите използвани електродни схеми са ниски и слабо смутени (прил. V.2.5.2, прил. V.2.5.3а). В най-голяма степен това важи за стойностите измерени с най-„дълбоката" схема – AB=11 м. Това говори за един хомогенен могилен насип изграден от пръст с много високо съдържание на глина, ниско съдържание на пясък и чакъл и почти пълна липса на скални материали. Сравнително по-високи стойности на съпротивлението са измерени с електродна схема AB=3 м. Този факт, обаче, е нормално да бъде обяснен с естествените изветрителни процеси, водещи до загубата на проводящи минерали в повърхностната част на могилния насип. Единствената регистрирана аномалия се ситуира на върха на могилата. Тя е с неправилна форма в план и е сравнително интензивна. Регистрира се еднакво добре и с трите измервателни схеми. Инверсионните модели на измерените в зоната на аномалията профили по метода ВЕС (прил. V.2.5.4) потвърждават наличието на аномален обект в тази част на могилата. Той е с приблизителни размери в план 3х4 м и се разполага от самата повърхност на могилата до дълбочина около 1.5 м. Най-вероятно регистрираната аномалия е предизвикана от голям изкоп (вероятно, иманярски), който в последствие е бил запълнен и в момента няма видими следи на повърхността. Разбира се, не може напълно да бъде изключено и съществуването на някаква вкопана археологическа структура, която е запълнена с материали с по-високо съпротивление от околния могилен насип. Освен това инверсионните модели регистрират едно област с повишени стойности на съпротивлението в западната част на могилата. Тя, обаче, е толкова обширна и аморфна, че по-скоро е свързана с изменения в могилния насип предизвикани от самия начин на натрупването му, отколко с конкретна археологическа структура.

Резултатите от извършените геомагнитните измервания (прил. V.2.5.3б) също регистрират единствено аномалията на върха на могилата. Интензивните аномалии извън и по самата периферия на могилата са предизвикани, най-вероятно, от големи модерни железни предмети, с каквито изобилстваше повърхността на околния

терен.

И в този случай, резултатите от геомагнитните измервания бяха използвани, за да се оцени влиянието на могилния насип като релефна форма и има ли нужда от коригирането му. За целта са разгледани кривите на магнитното поле по профили с направление юг-север и запад-изток през центъра на могилата, т. е. през най-високата ѝ част (прил. V.2.5.5). Много ясно се вижда, че нормалното изменение на магнитното поле по профилите може да се опише с полином от втора степен, като максималното отклонение е между 2 и 5 nT. В сравнение с регистрираните аномалии, чийто интензитет е 15-20 nT, то не е толкова значително и последните съвсем добре се отделят на неговия фон. Все пак, явно е, че при други обстоятелства корекцията на магнитното поле за влиянието на могилния насип може да е наложителна и използването на полиномна регресия (в случая, от втора степен) би трябвало да даде добри резултати. Най-удачно би било тази регресия да се извършва в двумерен вариант (т. е. по всяка профилна линия), а не за всички данни, за да се избегнат изкривявания в края на площта, където липсват измервания.

V.3. МОГИЛИ ПРИ С. КАБИЛЕ.

Могилите се намират(ха) северно от с. Кабиле в подножието на Зайчи връх и непосредствено на югозапад от античния град. Проучването беше извършено във връзка със спасителните разкопки по трасето на АМ „Тракия".

V.3.1. Могила 1 при с. Кабиле (прил. V.3.1.1)

Височина около 4.5 м, диаметър в основата около 30 м.

Мрежа: радиални профили през 10^g, стъпка на измерване 1 м.

Използвана схема: Шлюмберже - n=1, 3, 5; MN=1 м (a=1 м).

За получаването на допълнителни данни за наличието на аномални обекти в дълбочина и за характеристиките на могилния насип бяха извършени детайлизационни измервания по метода на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране - НВЕС (двумерна електросъпротивителна томография). Измерени бяха общо 2 профила с дължина 47 м (виж прил. V.3.1.2). Използвана беше схема Шлюмберже с десет дължини, n=1÷10, при MN=a=1 м и стъпка на измерване – също 1 м.

Магнитна градиометрия: квадратна мрежа 40x40 м; профили през 0.5 м; стъпка по профилите 0.25 м. Използван апарат: флуксгейт градиометър GRAD 601-1, Bartington в автоматичен режим.

Стойностите на измереното привидно електрическо съпротивление и за трите използвани електродни схеми са ниски (15-30 ohm. m) и слабо смутени (прил. V.3.1.2, прил. V.3.1.3а). Това говори за един хомогенен могилен насип изграден от пръст с много високо съдържание на глина, ниско съдържание на пясък и чакъл и почти пълна липса на скални материали. На този фон, цялата югоизточна четвърт на могилата се характеризира с едно слабо общо повишение на съпротивленията. То, обаче, е с нисък интензитет (стойности от 30 до 50 ohm. m) и е предизвикано от изменения в характеристиките на насипа, свързани със самия начин на натрупването му. Инверсионните модели по профили 150-350 и 200-0 (прил. V.3.1.4) също говорят за един хомогенен насип със стойности между 10 и 30 ohm. m. Прави впечатление и фактът, че не се отделя характерния повърхностен слой с отчетливо по-високи съпротивления, което може да се обясни с високото съдържание на влага – проучванията се проведоха в началото на май, в условията на почти ежедневни дъждове. Инверсионните модели

отделят добре и описаната по-горе област с по-високи съпротивления със стойности между 40 и 80 ohm. m. Тя започва от самата периферия на могилата и достига до 3-4 м от върха ѝ. Развива се от повърхността и достига до основата ѝ, като се стеснява с увеличаване на дълбочината. Формата на областта с повишени съпротивления в разрез говори, по-скоро за едно по-късно нарушение (изкоп) на могилния насип, което е запълнено с пръст с малко по-различни характеристики. Гробна или друга конструкция не се отделя.

Много „интересна" е картината от геомагнитните измервания (прил. V.3.1.3б). За разлика от могилите при Гранит, тук стойностите на вертикалния градиент на магнитното поле варират в много широки граници – от под -50 до 50 и повече nT. Това означава, че могилата е натрупана с пръст с висока магнитна възприемчивост. В североизточната част на проучената площ, в самата периферия на могилата и извън нея, се отделят две интензивни положителни аномалии. И двете, обаче, се оказаха предизвикани от ями запълнени със съвременни отпадъци. Освен това прави впечатление един пояс с формата на полудъга с отчетливи отрицателни стойности на магнитното поле по самата северна периферия на могилата. Това отклонение, най-вероятно е предизвикано от образувалия се рязък ръб на могилния насип с височина над половин метър, вследствие на селскостопанската обработка на околния терен. Така че, това е една типична релефна аномалия. Единствената аномалия, което може да се свърже с наличието на археологическа(и) структура е разположена в югоизточната периферия на могилата. Тя е с овална форма, размери около 4 на 4 м и максимална амплитуда в централната си част от порядъка на 100 nT.

Резултатите от геомагнитните измервания ни дават възможност да оценим какво е влиянието на могилния насип като релефна форма и има ли нужда от коригирането му. За целта е разгледана кривата на магнитното поле по профил 0 с направление юг-север през центъра на могилата, т. е. през най-високата и част (прил. V.3.1.5). Очевидна е плавната тенденция за повишаване на магнитното поле от южната периферия към центъра на могилата и, след това, за понижение – към северната. За оценка на теренния ефект от могилния насип е използван методът предложен от Тонков (Tonkov 1996a) чрез полиномна апроксимация с полином от четвърта степен. От получената крива се вижда, че „регионалното" поле, предизвикано от могилата като релефна форма, се изменя плавно, магнитудът му надхвърля 50 nT, като максимумът се разполага на 2-3 м южно от центъра. Остатъчната крива, получена от разликата между реалните измерени стойности и полинома от четвърта степен е със средно аритметична стойност равна на нула. По нея много добре се отделят интензивните локални аномалии с малки размери, предизвикани най-вероятно от близко разположени до повърхността съвременни метални предмети, както и тази предизвикана от северния ръб на могилата. Подобна е картината и при други два профила – -3 и 1 (прил. V.3.1.6), което показва, че предложения метод за отстраняваме на полето на могилния насип е абсолютно резонен. Отстраняването на регионалното поле по профила през описаната по-горе аномалия в югоизточната част на могилата (профил 5, прил. V.3.1.7) отделя отлично обект с ширина около 3 м. Аномалията, предизвикана от този обект е положителна, с много високи стойности – амплитуда над 70 nT, което означава, че може да е предизвикана от структура изградена от материали с много високи магнитни свойства или подложена на нагряване и, следователно, притежаваща термоостатъчна намагнитеност.

Извършените археологически разкопки разкриха на това място в могилата две

първични погребения извършени чрез трупоизгаряне в стъпаловидни ями (Лозанов, Христов 2010, 420) (прил. V.3.1.8).

Опитът за отстраняване на влиянието на могилния насип чрез полиномна регресия по всички данни от геомагнитните измервания като че ли не е толкова успешен (прил. V.3.1.9). Очевидно максимумът на полето не е в центъра на могилата, както би трябвало да се очаква, а в нейната западна част. Това се дължи, най-вече, на влиянието на двете интензивни и обширни аномалии в североизточната част на площта, както и изкривяването на апроксимацията от аномалиите по ръба на могилата и изобщо заради стойностите извън могилния насип. Очевидно в такива сложни случаи отделянето на полето е по-добре да се извършва по отделните измервателни профили, а не в тримерен вариант – по всички налични данни.

V.3.2. Могила 2 при с. Кабиле (прил. V.3.2.1).

Височина около 7 м, диаметър в основата около 35 м.

Мрежа: радиални профили през 10^g, стъпка на измерване 1 м.

Използвана схема: Шлюмберже - n=1, 3, 5; MN=1 м (a=1 м).

За получаването на допълнителни данни за наличието на аномални обекти в дълбочина и за характеристиките на могилния насип бяха извършени детайлизационни измервания по метода на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране - НВЕС (двумерна електросъпротивителна томография). Измерени бяха общо 3 профила с дължина 47 м (виж прил. V.3.2.2). Използвана беше схема Шлюмберже с десет дължини, n=1÷10, при MN=a=1 м и стъпка на измерване – също 1 м.

Стойностите на измереното привидно електрическо съпротивление и за трите използвани електродни схеми са ниски (10-40 ohm. m) и слабо смутени (прил. V.3.2.2, прил. V.3.2.3). Това говори за един хомогенен могилен насип изграден от пръст с много високо съдържание на глина, ниско съдържание на пясък и чакъл и почти пълна липса на скални материали. Освен локалните повърхностни аномалии с нисък интензитет не се регистрират никакви други, които да предполагат наличието на гробно съоръжение или други археологически структури.

Поради липсата на каквито и да са аномални участъци трите измерени дълбочинни профила бяха заложени равномерно един от друг – по линиите 340-140^g, 280-80^g и 200-0^g. Резултатите са представени на прил. V.3.2.4. Потвърждава се наблюдението за хомогенен могилен насип с ниско съпротивление. Добре се отделя един повърхностен слой с дебелина от няколко десетки сантиметра до около 1 м предизвикан от липсата на проводящи съединения и влага. В този слой се отделят няколко малки положителни аномалии, които най-вероятно са свързани с по-късни плитки нарушения на могилния насип. Обширната положителна аномалия в северната част на могилата по профил 200-0^g (прил. V.3.2.4в) е свързана по-скоро с обширно и не особено интензивно изменение в характеристиките на могилния насип и не би могло директно да маркира откритата в тази част на могилата, в нейната основа, голяма клада (Стоянов, Миков, Джанфезова 2010, 240). За съжаление, съпротивителните измервания не бяха допълнени с геомагнитни. Склоновете на могилата, особено северните и западните, бяха толкова стръмни, че провеждането на такива измервания беше физически невъзможно.

V.4. МОГИЛЕН НЕКРОПОЛ ПРИ С. КРУШАРИ, СЛИВЕНСКО.

Некрополът в м. Могилите на около 1 км северно от село Крушаре се състои от

три могили разположени в почти права линия с посока запад-изток. Могила 1 е най-западната. Геофизичните проучвания бяха извършени през 2008 и 2009 г. като през първата година бяха проучени могили 2 и 3, а на следващата – могила 1.

V.4.1. Могила 1 (Китова могила) при с. Крушаре (прил. V.4.1.1).

Височина около 6 м, диаметър в основата около 60 м. Част от северозападния сектор на могилата беше силно нарушена от големи съвременни изкопи. По повърхността й личаха още няколко по-малки нарушения.

Мрежа: радиални профили през 8^g, стъпка на измерване 1 м.

Използвана схема: Шлюмберже - n=1, 3, 5; MN=1 м (a=1 м).

За получаването на допълнителни данни за наличието на аномални обекти в дълбочина и за характеристиките на могилния насип бяха извършени детайлизационни измервания по метода на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране - НВЕС (двумерна електросъпротивителна томография). Измерени бяха общо 2 профила с дължини 60 и 73 м (виж прил. V.4.1.2). Използвана беше схема Шлюмберже с десет дължини, n=1÷10, при MN=a=1 м и стъпка на измерване – също 1 м.

Като цяло стойностите на измереното привидно съпротивление са не много високи и са слабо смутени (прил. V.4.1.2, прил. V.4.1.3). За преобладаваща част на насипа те са между 20 и 70 ohm. m. Това говори за един сравнително хомогенен могилен насип, изграден от чакълести фракции. Повърхностния слой на могилата е с доста по високи стойности на съпротивлението. Това се обяснява с по-ниското съдържание на влага в този слой, както и на загубата на проводящи карбонатни съединения в резултат на изветрителни процеси.

На този фон за измерванията с най-„плитката" схема (прил. V.4.1.2б) се отделят няколко зони с повишени съпротивления. Една такава зона има в югоизточната част на могилата, а друга – в северната. Отклоненията от нормалните стойности и при двете не са особено интензивни и затова трудно могат да бъдат свързани с археологически структури. Те са по-скоро предизвикани от локални изменения в характера на насипа образувани в самия процес на натрупване на могилата. Една доста по-интензивна аномалия се регистрира в западната част на могилата. Тя е предизвикана най-вероятно от съществуващите тук съвременни изкопи.

По цялата западна периферия на могилата се отделя един пояс от високи стойности на съпротивлението измерени с двете по-дълбоки схеми (AB=7 и AB=11 м). Вероятността тези високи стойности да са предизвикани от наличието на крепида е малка. По-скоро те са предизвикани от използването на пръст с по-високо съдържание на чакъл или други скални материали при самото натрупване на насипа. Високи са стойностите и в запад-северозападната част на могилата, в областта на описаните по-горе съвременни изкопи. Не е изключено на това място да има останки от някакви съвременни строителни дейности.

За да се установят характеристиките на насипа (особено в централната част на могилата) бяха измерени два дълбочинни профила. Те бяха заложени по линиите на профили 208-8^g и 152-352^g. Използвани бяха 10 дължини на измервателни схеми Wenner-Schlumberger (AB – от 3 до 21 м). На получените разрези много добре се отделя една обширна област с отчетливо по-ниски стойности на съпротивлението, разположена почти в центъра на могилния насип. Тя е с ширина около 10-15 м и височина около 3 м. Започва приблизително от основата на могилата, до около 2 м под най-високата й точка. Най-вероятно става въпрос за първична могила насипа от пръст с

високо съдържание на глина. Тази могила в последствие е била донатрупана с пръст с по-високо съдържание на пясък и чакъл, при което се е оформил окончателния насип. Не е изключено тази първична могила да е косвена индикация са съществуването и на първично погребение, което е извършено, било то, на древния терен или в яма, която на тази дълбочина от 6 м не е възможно да бъде регистрирана.

Такъв гроб наистина беше разкрит при последвалите археологически разкопки (Димитрова , Сираков, Марков 2010). Той е вкопан в древния хумус почти в центъра на могилата, като освен скелет са открити и множество златни накити и други гробни дарове.

V.4.2. Могила 2 (Станимирова) при с. Крушаре (прил. V.4.2.1).

Височина около 5.5 м, диаметър в основата около 45 м. Разположена е на около 50 м източно от могила 1. Част от източната периферия на могилата е нарушена от минаващ тук коларски път, а част от западната й периферия е отнета от селскостопанска обработка. Така в план могилният насип оформя овал, чиято дълга ос е с приблизителна ориентация югоизток-северозапад. В северозападната периферия и изкопан дълъг и дълбок ров.

Мрежа: радиални профили през 8^{g}, стъпка на измерване 1 м.

Използвана схема: Шлюмберже - n=1, 3, 5; MN=1 м (a=1 м).

За получаването на допълнителни данни за наличието на аномални обекти в дълбочина и за характеристиките на могилния насип бяха извършени детайлизационни измервания по метода на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране - HBEC (двумерна електросъпротивителна томография). Измерени бяха общо 6 профила с дължини 34 м (виж прил. V.4.2.2). Използвани бяха триелектродна схема и схема Шлюмберже с десет дължини, n=1÷10, при MN=a=1 м и стъпка на измерване – също 1 м.

Като цяло стойностите на измереното привидно съпротивление са не много високи и слабо смутени. За преобладаваща част на насипа те са между 20 и 70 ohm. m (прил. V.4.2.2, прил. V.4.2.3). Това говори за един сравнително хомогенен могилен насип, изграден от чакълести фракции с високо съдържание на глина. Повърхностния слой на могилата е с доста по високи стойности на съпротивлението. На фона на посочените по-горе стойности се отделят три аномални зони:

1. Регистрира се в западната част на могилата. Не е особено интензивна и добре изразена. Не може категорично да се свърже с археологическа структура. По-скоро е резултат от локално изменение в характера на могилния насип.

2. Регистрира се в северозападната част на могилния насип. Тя е доста по-добре изразена и с по-високи стойности на съпротивлението. За съжаление в непосредствена близост до тази част на могилата е описания по-горе ров. Той пречи на извършването на допълнителни детайлизационни измервания. Затова не може категорично да се твърди дали аномалията е предизвикана от археологическа структура или е резултат от съвременни намеси.

3. Това е най-интересната зона. Регистрира се в юг-югоизточната част на могилата. Особено интензивна е тя за измерванията с по-дълбоките схеми AB=7 и AB=11 м, като стойностите на привидното електрическо съпротивление достигат 150-170 ohm. m. Това означава, че аномалията е предизвикана от добре изразен смутител, който е добре развит и в дълбочина.

За да се установи характера на причинителя на тази аномалия бяха измери ня-

колко детайлизационни профила по метода на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране (НВЕС). Профилите минават през средата на аномалията (. Два са надлъжни - по линии 184g и 188g, и четири напречни през два метра по точки -2 – 4 на линия 188g. На получените разрези много добре се отделя аномален смутител (прил. V.4.2.4, прил. V.4.2.5). Той е с приблизителни размери около 6 м (в посока ЮИ-СЗ) и около 5 м (в посока ЮЗ-СИ). Разполага се на дълбочина около 1-1.5 м под повърхността и продължава до дълбочина 2.5-3 м. Сравнението между инверсионните модели по измерванията със схема Шлюмберже (V.4.2.4а) и триелектродната (V.4.2.4б) показва, че резултатите са почти идентични. Постигнати се еднакви аномалии на съпротивлението и еднаква дълбочинност. Триелектродната схема е с малко по-добро хоризонтално покритие, но остава неудобството от нуждата от използване на дълги кабели за отдалечения електрод. Въпреки добре изразените правоъгълни очертания на структурата, не може да се отдели наличието на ограждащи го каменни стени. Това означава, че става въпрос за голяма негативна структура запълнена с камъни или пръст с високо съдържание на чакъл. При извършените от екипа на Диана Димитрова разкопки се е оказало, че аномалният действително е предизвикана от подобен смутител, голяма яма запълнена с чакъл, който обаче има геоложко естество и вероятно е образуван при разливанията в далечното минало на протичащата наблизо река Тунджа.

V.4.3. Могила 3 (Якимова) при с. Крушаре (прил. V.4.3.1).

Височина около 4.5 м, диаметър в основата около 40 м. Разположена е на около 400 м североизточно от могила 2. Голяма част от западната периферия на могилата е отнета при съвременни изкопни работи, които в югозападния сектор са „навлезли" доста навътре в насипа й. По повърхността на могилата личат следи от няколко стари иманярски изкопа.

Мрежа: радиални профили през 10g, стъпка на измерване 1 м.

Използвана схема: Шлюмберже - n=1, 3, 5; MN=1 м (a=1 м).

За получаването на допълнителни данни за наличието на аномални обекти в дълбочина и за характеристиките на могилния насип бяха извършени детайлизационни измервания по метода на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране - НВЕС (двумерна електросъпротивителна томография). Измерени бяха общо 3 профила с дължини от 47 до 58 м (виж прил. V.4.3.2). Използвани бяха триелектродна схема и схема Шлюмберже с десет дължини, n=1÷10, при MN=a=1 м и стъпка на измерване – също 1 м.

Като цяло измерените стойности на привидното съпротивление са ниски и слабо смутени (прил. V.4.3.2, прил. V.4.3.3). В най-голяма степен това важи за измерванията с най-дълбоката схема. Това говори за един хомогенен насип изграден пръст с високо съдържание на глина. Повърхностния слой се характеризира с по-високи стойности на съпротивлението, но както беше посочено по-горе, това е резултат от естествени процеси. На този фон се отделя една аномална зона в северозападната част от могилния насип. Тя обаче не е достатъчно добре изразена и трудно може да

се свърже със структура представляваща археологически интерес. Много вероятно е тя да е предизвикана от локална нееднородност образувана при самото натрупване на могилния насип. Освен това в повърхностния слой се отделят няколко локални аномалии, но те може да са предизвикани от по-късни нарушения, които да са незабележими в момента на терена. Негативната аномалия югозападно от центъра на могилата (прил. V.4.3.2) е предизвикана от описаното по-горе голямо съвременно нарушение на насипа.

Резултатите от инверсионното моделиране по измерените профили по метода HBEC (прил. V.4.3.4) също не отделят никакви смутители. Насипа на могилата е абсолютно хомогенен със стойности на съпротивлението между 10 и 20 ohm. m. Много добре се отделя повърхностният слой се дебелина 60-70 см и отчетливо по-високи стойности – от 100 до 300 ohm. m. Сравнението между моделите получени от измерванията с триелектродна схема (прил. V.4.3.4б) и схема Шлюмберже (прил. V.4.3.4в) потвърждават напълно направените по-горе при разглеждането на могила 2 изводи – резултатите и от двете схеми са почти идентични.

При проведените в последствие разкопки, освен няколко култови ями, не е било открито никакво гробно съоръжение (Димитрова, Сираков, 2009).

V.5. МОГИЛА ПРИ ГР. ОПАКА.

Могилата се намира в турското гробище в южните покрайнини на гр. Опака. Разположена е на лек склон, който се понижава в посока юг-север. Могилата е с височина между 1 (от юг) и 3.5 м (от север) и видим диаметър около 30 м (прил. V.5.1а).

На тази могила за пръв път в света беше експериментирана тримерна електросъпротивителна томография с използването на диполна схема[28]. Могилата беше подходяща за този опит по няколко причини. Тя беше не много висока и сравнително разлата, което благоприятстваше използването на правоъгълна, а не на радиална мрежа. Пръстта, от която беше натрупана, беше глинеста и позволяваше отлично заземяване на електродите, за което допринасяше и влажното време в началото на месец май. Очакваше се могилата да е от римската епоха, което предполагаше евентуалното наличие на малки гробни съоръжения, за които е нужна максимална прецизност. В близост до могилата имаше съвременни метални конструкции и огради, което правеше невъзможно прилагането на геомагнитния метод.

Диполната схема беше предпочетена за извършване на измерванията по няколко причини:

1. По-добрите резултати в сравнение с триелектродната схема и схема Шлюмберже, демонстрирани при моделните изчисления (виж IV.3.1 по-горе).

2. По-доброто площно покритие в сравнение със схема Шлюмберже.

3. Отличните условия за заземяване на електродите, при което се елиминира един от основните й недостатъци – възможността за внасяне на голяма грешка при недостатъчно добър галваничен контакт.

4. Наличието на препятствия, които правеха невъзможно използването на отда-

---

28 Единственият публикуван досега опит за тримерна електросъпротивителна томография на могила е на една такава с подобни размери от Северна Гърция (Papadopoulos et al. 2010) (виж IV.2.1 по-горе). При нея е използвана триелектродна схема, която е предпочетена заради резултатите от моделните изследвания. Представените резултати от 3D инверсионното моделиране (Papadopoulos et al. 2010, 204), обаче са изключително смутени и „неясни", а направените прогнози не са проверени чрез археологически разкопки.

лечен електрод и, съответно, прилагането на триелектродната схема.

Мрежата на измерване беше правоъгълна с размери 26Х30 м. Поради наличието на съвременни гробове в източната периферия на могилата (участък, който не беше проучен), проучвателната мрежа беше ориентирана с отклонение от 10^{g} от севера, с цел да се покрие максимална площ. За да може в последствие да бъдат внесени корекции за релефа на могилата предварително беше извършена прецизна нивелация по всеки от измервателните профили (прил. V.5.1.б). Измервателните профили бяха през 1 м с точки по профилите – също през 1 м. Използвана беше диполна схема с разстояние между токовите и приемните електроди AB=MN=a=1 и 2 м (a=1 и 2 м) и десет дължини на схемата – n=1÷7 при a=1 м и n=3÷5 при a= 2 м, т. е. обща дължина на схемата от 3 до 14 м.

Резултатите от измерванията на привидното електрическо съпротивление с различните дължини на схемата са представени на прил. V.5.2 – прил. V.5.5. Стойностите на съпротивлението на ниски – 20-40 ohm. m. Регистрирани са множество малки локални аномалии. Те са предимно в повърхностите части на насипа и са с много нисък интензитет. Възможно е да са предизвикани от съвременни нарушения на могилния насип.

За да се направи сравнение между различните видове инверсионно моделиране на данните от измерванията то бе извършено в два етапа.

1. Двумерно (2D) инверсионно моделиране по всеки индивидуален профил. Резултатите са представени чрез вертикални разрези (прил. V.5.6÷V.5.12).

Потвърждават се наблюденията, че стойностите на електрическото съпротивление на могилния насип са ниски и слабо смутени (20-25 oh. m). Това говори за един хомогенен насип от пръст с високо съдържание на глина и пълна липса на скални материали. Добре се отделя нивото на естествения терен (съпротивления над 35 ohm. m), върху който е натрупана могилата. По него може да се съди, че дебелината на насипа в в най-високата й част не надвишава два метра. В централната част на могилата, по профили 12-16 и метри 12-16, се регистрира зона със слабо повишение (до 40 ohm. m) на съпротивлението, което започва почти от повърхността, като се развива и в дълбочина до самата основа на могилата (прил. V.5.9). То е предизвикано, най-вероятно, от слабо изразена промяна в характеристиките на могилния насип. Възможно е тази промяна косвено да маркира наличието на гробна яма в центъра на могилата.

2. Тримерно (3D) инверсионно моделиране по всички налични данни от измерванията (общо 7344). Резултатите са представени чрез хоризонтални разрези на съпротивлението за различни дълбочини, вертикални разрези (подобно на тези от двумерното моделиране) (прил. V.5.13÷V.5.17) и тримерно съчетание на хоризонтални и вертикални разрези. По резултатите от тримерното моделиране много по-добре се отделя аномалията на съпротивлението в централните части на могилата. Вижда се, че тя не започва от повърхността, а на около 0.75 м от нея, в дълбочина се разширява и издължава в източна посока, като в основата на могилата има формата на овал дължина около 10 м и ширина около 6 м. Особено добре се очертава аномалията на тримерния модел с използването на изоповърхност (прил. V.5.17). Най-вероятно става въпрос за малка могилка натрупана от пръст различаваща се от околния насип, която косвено може да индикира наличието на погребение извършено на самия терен или във вкопана в него яма, без самата тя да може да бъде „засечена" на такава дълбочина.

Регистрират се и две линейни аномалии с по-високи стойности на съпротивлението, съответно, в южната и северната периферия на могилата (прил. V.5.13). Интензитетът им, обаче, също е нисък, което предполага, че по-скоро са предизвикани от изменения в могилния насип в резултат от самия начин на натрупването му или от влиянието на основния терен, отколкото от евентуална крепида. Тези аномалии може да са и изкуствено „привнесени" при инверсионното моделиране вследствие на екстраполирането на съпротивленията в краищата на модела, където няма достатъчно данни от самите измервания.

Археологическите разкопки на могилата бяха проведени през лятото на 2011 г., затова все още не са публикувани[29]. Те разкриха непосредствено източно от центъра й два гроба (№1 и №2) с трупоизгаряне в ями вкопани в основния терен, които впоследствие са били затрупани с обща могилка (прил. V.5.18).

V.6. МОГИЛЕН НЕКРОПОЛ ПРИ С. ВЕТРИЩЕ.

Могилите се намират в м. Коджа тепе северно от с. Ветрище. Могилните насипи са натрупани на западния ръб на платото, издигащо се източно от р. Боклуджадере, ляв приток на Голяма Камчия. На могилите не са извършени археологически разкопки, но те са включени в примерите, поради вероятността по резултатите от инверсионното моделиране да са регистрирани вкопавания на дълбочина от над 3 м в основата на могилите, което е още едно доказателство за големите възможности на метода.

V.6.1. Могила 1 при с. Ветрище (прил. V.6.1.1).

Могилата се намира на около 200 м от последните къщи на с. Ветрище. Има неправилна конусовидна форма. Височината й е между 3.2 (от изток) и 4.4 м (от запад). Източната й периферия е отнета от съществуващ коларски път. Дължината на сравнително полегатите й склонове е около 20 м, а диаметърът й – 35-40 м. Площта на могилата е около 1200 кв. м.

Мрежа: радиални профили през 10^g, стъпка на измерване 1 м.

Използвана схема: Шлюмберже - n=1, 3, 5; MN=1 м (a=1 м).

За получаването на допълнителни данни за наличието на аномални обекти в дълбочина и за характеристиките на могилния насип бяха извършени детайлизационни измервания по метода на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране. Измерени бяха общо 3 профила с дължини между 47 и 60 м (виж прил. V.6.1.2). Използвана беше схема Шлюмберже с десет дължини, n=1÷10, при MN=a=1 м и стъпка на измерване – също 1 м.

Като цяло стойностите на измереното привидно съпротивление са ниски и слабо смути. За повърхностната част на насипа те са между 40 и 70 ohm. m (прил. V.6.1.2а), като в дълбочина този диапазон се стеснява до 25-35 ohm. m (прил. V.6.1.2б, прил. V.6.1.3). Това говори за един хомогенен могилен насип, изграден от пръст с високо съдържание на глина и почти пълно отсъствие на скални материали. На този фон се отделят няколко локални аномалии. Интензитетът и размерите им, обаче, са малки и трудно може да се свържат със структури представляващи археологически интерес, а по-скоро са предизвикани от слабо изразени нееднородности в могилния насип.

Интерес представляват данните за най-голямата дълбочина, измерени със схема

29 Разкопките бяха проведени от Никола Русев от ИМ-Попово.

AB=11 м (прил. V.6.1.3). На представената карта се отделя една обширна зона в централната част на могилата, характеризираща се с много ниски стойности на привидното съпротивление (15-20 ohm. m). В план тази зона има приблизително формата на кръг с диаметър 10-12 м.

Резултатите от инверсионното моделиране (прил. V.6.1.4) много добре отделят един повърхностен слой с дебелина около 1 м и сравнително високо съпротивление (75-120 ohm. m). Той може да е образуван както при самото натрупване на могилата от материали с по-ниско съдържание на глинеста компонента, така и да е получен в резултат на изветрителни процеси, предизвикали загубата на проводими карбонатни съединения в повърхностния слой. В дълбочина могилния насип е хомогенен със съпротивления от порядъка на 25-35 ohm. m. На този фон в центъра на могилата много добре се отделя една ясно изразена област на ниски съпротивления (8-15 ohm. m). Това най-вероятно е първоначалната могила с диаметър около 12 м и височина 2-2.5 м, натрупана от пръст с много високо съдържание на глина, която в последствие е била допълнително засипана. Възможно е тя индиректно да маркира наличието на гроб в централната част на могилата. На инверсионния модел по профил 180-380 се наблюдава едно „изкривяване" на нискоомната зона в дълбочина. За съжаление, то е много слабо изразено и трудно може категорично да се твърди, дали е свързано с някакво вкопаване в основата на могилата и, съответно, с наличие на вкопано гробно съоръжение.

V.6.2. Могила 2 при с. Ветрище (прил. V.6.2.1).

Намира се на около 1 км северно от могила 1. Има форма и размери почти идентични с тези на могила 1 – диаметър 35-40 м и височина между 3.2 (от изток) и 5 м (от запад). Част от югоизточната ѝ периферия е силно нарушена от съвременен изкоп и не подлежеше на проучване.

Мрежа: радиални профили през 10^g, стъпка на измерване 1 м.

Използвана схема: Шлюмберже - n=1, 3, 5; MN=1 м (a=1 м).

За получаването на допълнителни данни за наличието на аномални обекти в дълбочина и за характеристиките на могилния насип бяха извършени детайлизационни измервания по метода на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране. Измерени бяха общо 4 профила с дължина по 47 м (виж прил. V.6.2.2). Използвана беше схема Шлюмберже с десет дължини, n=1÷10, при MN=a=1 м и стъпка на измерване – също 1 м.

Резултатите от проучването на могила 2 са почти идентични с тези на могила 1. Стойностите на измереното привидно съпротивление са ниски и слабо смути. За повърхностната част на насипа те са между 40 и 70 ohm. m (прил. V.6.2.2а), като в дълбочина този диапазон се стеснява в рамките на 25-35 ohm. m (прил. V.6.2.2б, прил. V.6.2.3). Могилният насип е хомогенен, изграден от пръст с високо съдържание на глина и почти пълно отсъствие на скални материали. По югозападната периферия на могилата се очертава един пояс с ширина около два метра с повишени стойности на съпротивлението. Стойностите, обаче, не са толкова високи, че да говорят за наличие на каменна крепида.

И при могила 2, приблизително в центъра ѝ, добре се отделя област на ниски съпротивления, регистрираща се с най-дълбоката схема AB=11 м (прил. V.6.2.3). Резултатите от инверсионното моделиране с са представени на приложение V.6.2.4. И при тях, както при тези от могила 1, добре се отделя повърхностния високоомен слой, под

който заляга по-нискоомния могилен насип. Добре се отделя и централната могилка с много ниски съпротивления – 8-15 ohm.m. При могила 2, обаче, „изкривяването" на нискоомната област в основата на могилата е много по-добре изразено. Много вероятно е тази аномалия да е предизвикана от голямо вкопаване в основата на могилата, което да е свързано, съответно, и с наличие на гробно съоръжение.

V.7. МОГИЛА VI ОТ НЕКРОПОЛА ПРИ С. ГОРСКО АБЛАНОВО, ОБЩИНА ОПАКА (прил. V.7.1а).

На 1.5 км изток-североизточно от с. Горско Абланово, непосредствено на изток от обитаваната територия на проучвания тук римски викус, е разположен компактен некропол, състоящ се от шест могили (Торбатов, Русев 2009). С изключение на могила VI, всички останали са били обект на брутална иманярска намеса и не подлежаха на геофизично проучване. Тъй се предполагаше, че могилите са свързани с римския викус, беше интересно да се проверят възможностите на геомагнитния метод за регистриране на гробни ями с трупоизгаряне в тях, каквито можеха да се очакват в могили от това време.

Могила VI е системно обработвана от десетилетия, като максималната й височина сега е 1 м, при диаметър до 40 м.

Поради трудния достъп до могилата, проучванията се ограничиха само до геомагнитно заснемане. Мрежата беше правоъгълна – 4 квадрата 20х20 м с обща точка в центъра на могилата, ориентирана по посоките на света. Профилите бяха през 50 см, а измерванията по профилите – през 12.5 см.

Цялото проучване на могилата отне два часа.

На картата на магнитното поле (прил. V.7.2) се регистрират две интензивни аномалии с малки размери – едната в центъра на могилата, а втората – в североизточната периферия. Първата е предизвикана от иманярски изкоп, а втората, най-вероятно, от плитко разположен железен предмет.

Единствената аномалия, която може да е предизвикана от гробна яма е разположена в северозападната периферия на могилата. Тук беше заложен сондаж, в който беше разкрита яма вкопана в стерилния терен на дълбочина до 0.60 м от сегашната повърхност, съдържаща останките от погребение чрез кремация извършена на друго място (прил. V.7.1б) (Торбатов, Русев 2009).

При археологическите разкопки в южната половина на могилата, под най-високата част на могилния насип са проучени три гроба на дълбочина 0.60-0.90 м от съвременната повърхност. Гробните съоръжения са вкопани в заварения терен ями с приблизително четириъгълен план и заоблени ъгли, с дължина от 1.75 до 2.13 м, ширина 0.65-0.80 м и дълбочина 0.37-0.40 м. Всички те съдържат погребения чрез кремация извършена на място. В резултат на горенето, стените на ямите са се отухлили на дълбочина от 1 до 3 см (Торбатов, Русев 2009). Очевидно, погребения чрез трупоизгаряне на място в ями с подобни размери и отухляване на стените не могат да се регистрират на дълбочина над 50 см.

Сравнението между резултатите от геомагнитното проучване и археологическите разкопки показва още, че с метода могат да се откриват и обикновени гробни ями, но само, ако са много близко разположени до повърхността. Разбира се от основно значение, в случая, са размерите на ямите.

Резултатите от геомагнитните измервания са използвани, отново, за оценка на влиянието на релефа на могилата върху стойностите на магнитното поле. По кривите

на магнитния градиент (прил. V.7.3) по два профила през най-високата част на могилата се вижда, че такова влияние не съществува и, следователно, при проучването на могили с подобни размери и характеристики на насипа, не е нужно отстраняването му.

V.8. ОБОБЩЕНИЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Посочените по-горе примери нагледно демонстрират ефективността на предложената методика за проучване на тракийски надгробни могили. Комплексът от електросъпротивително картиране, двумерна и тримерна електросъпротивителна томография и магнитна градиометрия дава отлични резултати при откриването на разнообразни гробни и други съоръжения. Успешно са регистрирани високо съпротивителни структури като зидани гробове (V.1.1, V.1.5), монументални гробници (V.1.3, V.2.1), каменни струпвания, крепиди (V.1.4, V.2.2). Чрез прилагането на двумерното инверсионно моделиране са получени данни за характеристиките на могилните насипи, като са определени размерите и дълбочината на залягане на каменни струпвания (V.2.1, V.2.4, V.4.2). Освен това са отделени нискосъпротивителни структури на голяма дълбочина като първични могили (V.4.1), както и вкопавания в основата на могилите, които може индиректно да свидетелстват за наличие на гробни съоръжения (V.6.1, V.6.2). В случая с Каракочова могила при с Братя Даскалови, може да се предполага, че интензивната негативна аномалия в центъра ѝ (V.2.3) е предизвикана от гробната клада и, съответно, от рязкото повишаване на проводимостта на средата вследствие на високото съдържание на въглерод, аналогично на притежаващите електронна проводимост дървени въглища, на графитовите или въглищните шисти, което дава още един неочакван практически резултат. С геомагнитния метод успешно са регистрирани структури, които са извън възможностите на електросъпротивителния – обикновени гробни ями с трупоизгаряне (V.3.1, V.6).

За първи път в света, при проучванията на могилата Светица край Шипка (V.1.5), по резултатите от двумерната електросъпротивителна томография е разкрит зидан гроб, като при това са определени точните му размери и дълбочината, на която се намира. Освен това са получени много важни данни за начина на натрупване на могилата. Те показват, че гробът най-вероятно е бил изграден след като в южната част на оригиналния могилен насип е направен голям изкоп, който след това е бил запълнен с пръст с по-високо съдържание на камъни и чакъл.

При проучванията на могилата в Опака (V.5) за първи път в света е приложена тримерна електросъпротивителна томография на надгробна могила с използването на диполна схема. В резултат на 3D инверсионното моделиране е направена прогнозата за наличие на първична могилка непосредствено източно от центъра на голямата могила. При последвалите археологически разкопки такава наистина е открита. Тя е натрупана над два гроба с трупоизгаряне в ями вкопани в основния терен. Направените сравнения показаха, че в случая с могилата при Опака тримерното инверсионно моделиране дава много по-добри резултати от двумерното и, следователно, трябва винаги да бъде прилагано при подходящи условия, т. е. при могили с височина до 2-3 м.

Нуждата от постигане на максимална дълбочинност при проучването на могили, както и фактът, че най-атрактивните съоръжения – тракийските гробници и градени гробове са всъщност едни високосъпротивителни структури, предопределя водещата роля на електросъпротивителния метод. Използването на няколко дължи-

ни на схемите позволява картиране на различни дълбочини. От докладваните по-горе данни се вижда, че като цяло при почти всички моделни изследвания диполната схема показва най-добри резултати, следвана от триелектродната и Шлюмберже и затова при нормални обстоятелства би трябвало да бъде предпочетена. При избора на наистина най-подходящата, работеща в реални условия обаче, трябва да се вземат под внимание и други показатели за отделните схеми, които са описани по-горе в глава II. 2. Разбира се, от първостепенна важност е съобразяването с конкретните условия на терена. При малките могили с височина до около 2-3 м със землени насипи най-удачно е използването на диполна схема, където не се изисква голяма дълбочинност, а в същото време най-успешно могат да бъдат регистрирани зидани или цистови гробове. В условия на невъзможност за осъществяване на добър галваничен контакт на електродите или наличие на повърхностни смутители (каквито често се срещат при могили в планинските и предпланински райони, натрупани от скални материали или чакъли) в измерванията с диполната схема е възможно да бъде внесена значителна грешка. В такъв случай може да се предпочете триелектродната схема или схема Шлюмберже.

Най-леки за качествена интерпретация при картирането на могилите са измерванията със схема Шлюмберже. За разлика от нея, триелектродната е асиметрична и дава изместване на аномалиите на съпротивлението, а диполната може да даде даже двойни аномалии, което в условията на нехомогенни могилни насипи може значително да усложни качествената интерпретация на данните от съпротивителното картиране. Освен това, прилагането на триелектродната схема е до голяма степен лимитирано от нуждата от използване на отдалечен електрод. Така, че в някои случаи схемата Шлюмбереже може да се окаже единствената алтернатива. Както от моделните изследвания, така и от полевите резултати се вижда, че няма нужда от използването на дълги схеми с геометричен фактор n над 6-7. В преобладаващата част от случаите е достатъчно n да е в рамките на 1-6. Така или иначе, вероятността да се регистрира една археологическа структура на дълбочина по-голяма от размерите й (височината й) е минимална, което означава, че предложените дължини на схемите са напълно достатъчни за проучването на преобладаващата част от могилите. Освен това използването на по-дълги схеми намалява площното покритие, което ще доведе до забавяне и, съответно, оскъпяване на проучванията. Следователно, при картиращите измервания е добре да се изберат няколко размера като n е равно на 1, 3 или 4 и 5 или 6.

Прилагането на непрекъснатото вертикално електрическо сондиране (НВЕС) и инверсионно моделиране и, съответно, на двумерната и тримерна електросъпротивителна томография (2D и 3D ЕСТ) е една нова възможност за по-детайлно изследване характеристиките на могилните насипи, за прецизно очертаване на регистрираните при съпротивителното картиране аномални обекти или регистрирането на нови такива. За съжаление, използването на едноканални резистивиметри и нуждата от застъпване на измерванията по профилните линии, правят едни такива измервания по-бавни и цялостното проучване на дадена могила с такива измервания може да се окаже необосновано. Освен това, използването на радиална мрежа не позволява извършването на тримерно инверсионно моделиране. Така че, такова може да се извършва само по отделните профили в двумерен вариант. За да се получат данни за общите характеристики на могилния насип са достатъчни няколко профила през цялата могила с възможно най-дълги схеми, за да може да се достигне максимална дълбочина в центъра й. Най-подходящи схеми, в случая, са Шлюмберже и три-

електродна. Прилагането на последната, както бе отбелязано вече, е ограничено от нуждата за използване на отдалечен електрод. Стъпката на измерване по-профилите трябва да е стандартната – 1 м. При профилите HBEC трябва да се използват схеми с геометричен фактор n до 10 и по-голям. При много големите могили, където се търси най-голяма дълбочинност и, съответно, са нужни много дълги схеми, може да се използва увеличено разстояние между двойката близки електроди – до 2 м при също такава стъпка на измерване. Ролята на инверсионното моделиране не се ограничава само до изследване характеристиките на могилните насипи. То може да даде много ценна информация при определяне точното положение, размери и дълбочина на смутителите регистрирани при съпротивителното картиране. При това броят и ориентацията на профилите HBEC трябва да е такъв, че да осигури максимална полезна информация. В най-добрия случай тези измервания трябва да се извършат по правоъгълна мрежа с последващо 3D инверсионно моделиране на получените данни. Като правило тракийските гробници са разположени в южните или източните части на могилите. Ето защо при големите могили е удачно използването и на допълнителни измервания по напречни профили HBEC в южните и източните части, където може да се очакват гробни съоръжения и които са на такава дълбочина, при която може да не са регистрирани от съпротивителното картиране. При могили с височина до 2-2.5 и диаметър до 30 м, където се използва правоъгълна мрежа и няма нужда от застъпване на измерванията по профилите, цялостното проучване чрез 3D инверсионно моделиране може да се извърши достатъчно бързо и, следователно, е напълно приложимо.

Проучвателната мрежа трябва да се съобразява с големината на могилите. Правоъгълната мрежа е подходяща при могилите с височина до 2-2.5 м и диаметър до 30-35 м. Елементарните изчисления показват, че в този случай максималните отклонения на крайните точки при профилите минаващи през центъра на могилата не надхвърлят 30-40 см. При по-големите могили радиалната мрежа на измерване е много удобна, защо съответства на тяхната характерна осева симетрия. Гъстотата на радиалните профили трябва да е такава, че да осигури достатъчно детайлно проучване на всички части на могилата.

Геомагнитното изследване на могили има до някъде второстепенна роля, тъй като съвременните градиометри, конструирани за археологически цели, са най-чувствителни спрямо структури разположени в рамките на първия метър. Независимо от това, те са незаменими при откриването на гробни ями с трупоизгаряне в малките могили или ако са разположени в периферията на по-големите, което е извън възможностите на електросъпротивителния метод. В това отношение, ако има предварителни данни от археологически разкопки, че могилите от даден некропол съдържат гробни ями с трупоизгаряне, магнитната градиометрия може да се използва и напълно самостоятелно.

Приведените конкретни примери от геомагнитното проучване на могили показват, че елиминирането на теренния ефект при използването на флуксгейт градиометри в голяма част от случаите става автоматично. С особена сила това важи за могилни насипи с ниски стойности на магнитната възприемчивост (виж V.2.4, V.2.5, V.6). Това е валидно както за малките могили, така и за могили с височина до 4-5 м. Единствено в райони с високи магнитни свойства на повърхностните наслаги, какъвто е случаят с Могила 1 при Кабиле (V.3.1), може да се наложи внасянето на корекции за неутрализиране на теренния ефект. В това отношение, предложения метод с поли-

номна регресия показва много добри резултати.

Големината на могилите влияе в по-малка степен върху вида на използваната мрежа при геомагнитните проучвания. Правоъгълна мрежа спокойно може да се използва на могили с височина до 3-4 м, особено, ако не са много стръмни. При това измененията предизвикани от наклона на терена лесно могат да се елиминират като се използват еластични въжета с маркери. По този начин разликите между хоризонталните и наклонените разстояния ще се разпределят по цялата дължина на профилите и на точките по профилите. Лесно може да се изчисли, че максималните отклонения няма да надхвърлят 2-3 см. При това е възможно съчетаване на радиална мрежа за електросъпротивителните измервания с квадратна за геомагнитните. При по-високите и стръмни могили очевидно правоъгълната мрежа ще стане неприложима. От една страна, коригирането на теренните отклонения няма да е толкова елементарно. От друга, движението по профилите ще бъде затруднено. Затова може да се използва радиалната мрежа от съпротивителните измервания. Невъзможността да се поддържа равномерна скорост на движение по профилите вследствие на стръмния терен налага измерванията да се правят в ръчен режим, като фиксираната височина на сензорите от терена може да се осигури чрез една проста приставка монтирана в долната част на уреда. При използването на правоъгълна мрежа се прилагат същите процедури, както при равнинните обекти, описани по-горе в глава II.2. – Clipping, DeStagger и DeStripe и т. н. Очевидно тези процедури не могат да се извършат при измерванията по радиална мрежа. Затова пък, работата в ръчен режим и, оттам, възможността за поддържане на фиксирана височина и ориентация на уреда до голяма степен елиминират нуждата от прилагането им.

Резултатите от полевите изследвания, както и моделни изчисления, позволяват да се направи една категоризация на могилите по размери от геофизична гледна точка. Въз основа на използваната измервателна мрежа, прилаганите методи, нуждата от въвеждане на корекции за релеф при геомагнитните измервания, видовете структури, които могат да бъдат успешно регистрирани и необходимото времето за проучване на могилите, те могат да бъдат разделени в пет групи.

1. Много малки могили – височина до 1 м. Могат да се проучват по правоъгълна мрежа, като се прилага само геомагнитния метод или електросъпротивителния с двуелектродна схема. При това успешно могат да бъдат регистрирани гробни ями с трупоизгаряне или цистови гробове, ако последните не са в централните части и вкопани в древния терен. Изследването на могила с такива размери няма да отнеме повече от един ден. С прилагането 3D ECT могат да се регистрират вкопани зидани гробове дори и в центъра на могилата, като работата ще отнеме 3-4 дни.

2. Малки могили – височина до 2-2.5 м и диаметър до 25-30 м. Могат да се проучват по правоъгълна мрежа с прилагане на електросъпротивителния и геомагнитния метод. Геомагнитните измервания обикновено не се нуждаят от корекции за полето на могилата. Успешно могат да се регистрират зидани гробове, дори и да са в центъра на могилата, както и цистови – ако са на неголяма дълбочина. Изследването на една такава могила ще отнеме 2-3 дни, а при използването на 3D ECT 3-4 дни.

3. Средно големи могили – височина до 5-6 м и диаметър до 40-50 м. Проучват се по радиална мрежа през 10 или 8^{g}. Резултатите от геомагнитните измервания в повечето случаи се нуждаят от корекции за полето на могилата. Вероятността да бъде регистрирана гробница, дори тя да е в центъра на могилата, е голяма. Могат да се регистрират и зидани гробове, ако са в периферията. Проучването на една такава

могила ще отнеме 5-6 дни.

4. Големи могили – височина до 10 м и диаметър около 60-70 м. Проучването се провежда както при предишната група с радиални профили през 5^{g}. Големи съоръжения, като гробници, могат да се регистрират, ако не са в центъра на могилата или, при положение, че са в центъра, ако имат коридор или фасада, които са по-близо до периферията и, съответно, са на по-малка дълбочина. Проучването на една такава могила ще отнеме 7-8 дни.

5. Много големи могили – над 10 м. Проучването се провежда както при предишната група. Големи гробни съоръжения могат да се регистрират, ако не са в центъра на могилата или ако имат коридори или фасада, която да е на по-малка дълбочина. Като цяло проучването на такива могили е бавно и трудоемко и трябва да се извършва след детайлно предварително планиране – гъстота на мрежата, използвани електродни конфигурации съобразени с конкретните им размери и характеристиките на насипа и т. н.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният дисертационен труд е първото по рода си изследване на състоянието и постиженията на археологическата геофизика в България в контекста на развитието на този тип изследвания в света. В него са анализирани възможностите на различните геофизични методи за целите на археологията, както и тяхното приложение в проучванията на селищни обекти и надгробни могили в България. Един от основните постигнати резултати е разработването на методика за проучване на може би най-атрактивните паметници, останали по българските земи от древността – тракийските надгробни могили. Всички моделни изчисления, полеви измервания, компютърната обработка, анализа, интерпретацията и представянето на резултатите са лично дело на автора.

Нуждата от разработването на ефективни методи за документиране и опазване на културно-историческото наследство води до появата една нова интердисциплинарна наука – археологическата геофизика. Първите опити с използването на електросъпротивителния и геомагнитния метод при проучването на археологически обекти са направени в Англия много скоро след края на Втората световна война. Добрите резултати дават тласък за използването им и в другите развити индустриални държави – Италия, Франция и Западна Германия, а по-късно и в по-голямата част от останалите европейски страни. Особено видимо е развитието на археологическата геофизика след средата на 80-те години на XX век, когато тя се налага като интегрална част от археологическите проучвания. Това, от една страна, е свързано с нововъведенията в областта на електрониката и микрокомпютърната техника, както и с осъзнатата от археолозите необходимост от подобен род изследвания, от друга.

Съпоставката между развитието на археологическата геофизика в световен мащаб и състоянието ѝ в България показва, че с изключение на проучванията на надгробни могили, българската археологическа геофизика изостава за дълъг период от световното ниво. Това преди всичко се дължи на липсата на съвременна апаратура, произтичаща от недостига на елементарни средства. Едва след 2006 г., с набавянето на последните модели флуксгейт градиометри и резистивиметри, окомплектовани с подходящи периферни устройства и програмно обезпечение, нивото на извършваните геофизични проучвания на археологически обекти в България до голяма степен съответства на световното. Нещо повече, прилаганата вече от няколко години у нас двумерна и тримерна електросъпротивителна томография е извън възможностите и компетенциите на голяма част от екипите, занимаващи се с изследвания на археологически обекти в чужбина. В тази област представените тук резултати са новаторски и за световната археологическа геофизика.

За съжаление възможностите и преимуществата на геофизичните изследвания все още са недостатъчно познати за голяма част от българските археолози. Така например, от проучваните с разкопки през 2010 г. над 220 обекта, на не повече от 20 е било извършвано предварително геофизично проучване. Особено показателен в това отношение е и фактът, че от проучените чрез спасителни археологически разкопки

над 40 обекта по трасето на АМ „Тракия" между Стара Загора и Карнобат на не повече от ¼ е извършено предварително геофизично проучване.

Критичната оценка на възможностите на основните геофизични методи за приложението им в археологията дефинира водещата роля на геомагнитния и електросъпротивителния метод. Прецизността на използваната апаратура, методиката на провеждане на полевите измервания, както и програмните продукти за обработка на данните са на ниво, което позволява да се посрещнат нуждите на археолозите от бързо и евтино картиране на разнообразни по своя характер археологически обекти с плитко разположени (в рамките на първия метър) структури. От друга страна, чрез прилагането на двумерната и тримерна електросъпротивителна томография може да се получи информация за структури, разположени на много по-голяма дълбочина. В това отношение, с големи перспективи е и използването на последната новост в археологическата геофизика – високочестотните електромагнитни уреди, известни като „георадари".

Достигнатото ниво на геофизичните проучвания в България е демонстрирано чрез резултатите от изследванията, извършени от автора през последните няколко години на общо седем селищни археологически обекти (шест от България и един от БЮР Македония). Те са подробно анализирани, като са сравнени с резултатите от археологическите разкопки. Основните заключения направени на тази база са изложени обстойно в последната точка от глава III („III.8. Изводи и препоръки").

Ролята на магнитната градиометрия е водеща при бързото проучване на разнообразни като характеристика и датировка обекти. Електросъпротивителният метод също има своите преимущества: картирането с двуелектродна схема – при изследването на малки площи с плитко залягащи структури; двумерната и тримерна електросъпротивителна томография – при проучванията на обекти разположени на голяма дълбочина.

Прилагането на посочения комплекс от методи с оглед оптималното съчетаване на техните възможности е отлично демонстрирано чрез резултатите от многослойния селищен обект в м. Халка бунар при с. Горно Белево, който е най-пълно проученият от геофизична гледна археологически обект в България. Въз основа на двумерното електросъпротивително инверсионно моделиране е определена дълбочината на залягане на коренните скали и, съответно, дебелината на културния слой. Чрез геомагнитното картиране са регистрирани различни структури – глинобитни жилища от късния неолит и елинистическата епоха, пещи и ями. Съпротивителното картиране с двуелектродна и диполна схема, независимо от някои добри резултати, се оказа неподходящо при проучване на такъв тип обекти. Последният много важен резултат е, че въз основа на геомагнитното картиране бяха очертани границите на обекта, което позволи през 2011 г. Министерството на културата да определи и неговата охранителна зона.

Предимствата на магнитната градиометрия при проучването на негативни контексти са илюстрирани чрез откритите ямни комплекси и ровове при селата Сърнево и Ябълково, разположени на трасетата на магистралите „Тракия" и „Марица". На обекта при Сърнево са регистрирани ями от късния неолит, късната желязна и римската епоха. В резултат на проучванията при с. Ябълково са засечени три концентрични раннонеолитни рова. За пръв път в света, чрез прилагането на 2D съпротивително инверсионно моделиране, са определени размерите (ширина, дълбочина, разстояние от повърхността) на рововете.

Много показателни за широките възможности на магнитната градиометрия са проучванията на два сходни селищни обекта от II-IV в. при селата Горско Абланово и Скобелево. Съответно, с ниски отрицателни и високи положителни стойности на магнитния градиент бяха очертани големи сградни комплекси от римската епоха. Различията в отчетените аномални стойности се обясняват с магнитните характеристики на използвания строителен материал – варовик (при Горско Абланово) и горнокредни андезити (при Скобелево). Данните за съществуването на подобни сгради на цялата покрита с геомагнитни измервания площ от над 120 дка при с. Скобелево позволи на археолозите да интерпретират проучвания обект като селска агломерация (коме, викус).

Отлична илюстрация за ползата от комбиниране на електросъпротивителното картиране с 2D инверсионно моделиране са резултатите от проучванията на светилището на нимфите при с. Каснаково. Чрез картиране с двуелектродна схема са очертани стените на сграден комплекс. По няколко профила измерени по метода HBEC е установено, че стените му са с дебелина около 70 см и са запазени до дълбочина 1.5-2 м. Поради геофизичните прогнози за наличието на добре запазени археологически останки и много дълбок културен плат, от една страна, и липсата на достатъчно предвидени средства за консервационно-реставрационни дейности, от друга, беше решено този участък да не бъде изследван с археологически разкопки. В резултат на геофизичното проучване обаче, една от основните задачи на проекта беше изпълнена. То доведе до откриване мястото на т. нар. „театър" и изработването на общ план на архитектурния комплекс.

Проучванията на обекта при с. Баница, Македония са един от малкото примери за приложение на тримерната електросъпротивителна томография при проучване на археологически обекти. Изследвана е площ от около 500 кв. м, при което, в резултат на тримерното инверсионно моделиране на данните от измерванията, са регистрирани археологически структури, разположени на много голяма дълбочина - между 2 и 3.5 м.

Резултатите от проучванията на тези селищни обекти дава възможност да се обоснове нуждата от покриването с геофизични измервания на възможно най-големи площи, включително такива, които едва ли ще бъдат обект на разкопки в обозримо бъдеще. По този начин разкритите при археологическите разкопки структури могат да бъдат поставени в техния естествен пространствен контекст. При това тези площи може да не са обхванати в обща геодезична мрежа. Проучванията може да се извършат по локални мрежи с ориентация позволяваща максимално покритие, които са прецизно привързани към някоя от световните координатни системи WGS84 или UTM.

Основна цел и един от най-важните приноси на настоящото изследване е разработването на оптимална методика за проучването на тракийски надгробни могили.

Досега в света тези изследвания имат експериментален характер, като не е правен опит за обосноваване на подходяща комплексна методика за проучването на такъв тип археологически обекти. Голямото разнообразие на тракийските надгробни могили, както като размери, така и като откривани в тях конструкции, обуславя сложността на задачите, които се поставят пред тяхното геофизично проучване. Обосноваването на методиката за тяхното проучване е следствие от анализа на формалните характеристики на могилите като релефни форми и насип, както и от вида

на търсените при геофизичните проучвания обекти – гробните и други съоръжения, които се откриват в тях.

Представената цялостна методика за проучване на тракийски надгробни могили включва комплекс от електросъпротивително картиране по правоъгълна или радиална мрежа, магнитна градиометрия и двумерна и тримерна електросъпротивителна томография. В основата ѝ залягат направените моделни изчисления за възможностите на различните, като вид и размери, електродни конфигурации при регистрирането на най-често срещаните и най-атрактивни паметници откривани в тракийските могили – гробници и зидани гробове. Тези обекти са уподобени на тела с правилни геометрични форми (призми) с предварително зададени размери, съпротивления и дълбочина на залягане, разположени в хомогенни могилни насипи. Установено беше, че при почти всички моделни изследвания диполната схема показва най-добри резултати, следвана от триелектродната и Шлюмберже. При това се оказа, че в преобладаваща част от случаите за регистрирането на тези структури не е нужно използването на дълги схеми, т. е. с геометричен фактор n над 6-7. Освен това, резултатите от моделните изчисления показаха, че вероятността да се регистрира една археологическа структура на дълбочина по-голяма от височината ѝ е минимална. Върху избора на подходяща електродна схема влияят и други фактори, като условията на заземяване на електродите, възможността за внасяне на грешка в измерванията, използването на отдалечен електрод и др. С най-високо отношение сигнал-шум е схемата Шлюмберже, а с най-ниско диполната. В някои случаи ниското отношение сигнал-шум може да доведе до регистрирането на лъжливи аномалии, съизмерими с тези от реално съществуващите обекти. Използването на дълги кабели към отдалечения захранващ електрод при триелектродната схема също може да до внасяне на външни смущения в измерванията.С особена сила това важи при използването по метода HBEC, когато този електрод трябва да е разположен на 100 и повече метра от измервателната линия.

Резултатите от предварителните изследвания на автора на могили от некропола при Свещари с използването на протонни магнитометри показаха, че геомагнитният метод има второстепенна роля при търсенето на гробници. При това, влиянието на могилите като релефни форми върху резултатите от измерванията е значително и то задължително трябва да бъде елиминирано, за да се отделят аномалиите от търсените археологическите структури. Използването на съвременните флуксгейт градиометри, независимо че те са най-чувствителни спрямо обекти разположени в рамките на първия метър, дава нови перспективи пред този вид изследвания, поради способността им да регистрират структури подложени на нагряване.

Възможностите на предлаганата методика за регистриране на различни археологически структури са илюстрирани с проучванията на 19 могили от различни райони на страната. Заключенията направени на базата, както на моделните изследвания, така и на реалните полеви резултати, са подробно изложени в последната част на глава V („V.8. Изводи и препоръки"). За това по-долу ще бъдат посочени само онези резултати, които са абсолютна новост за световната практика.

Чрез прилагането на комплекса от електросъпротивително картиране, двумерна и тримерна електросъпротивителна томография и магнитна градиометрия са регистрирани зидани гробове, монументални гробници, каменни струпвания, крепиди, гробна клада, гробни ями с трупоизгаряне, първични могили, индикиращи косвено наличието на вкопани гробни ями. Всички те представят почти цялото разнообра-

зие от откриваните в тракийските могили гробни и други съоръжения с изключение единствено на обикновените гробни ями с трупополагане. Чрез прилагането на двумерното инверсионно моделиране са получени данни за характеристиките на могилните насипи, като са определени размерите и дълбочината на залягане на каменни струпвания. Освен това са отделени нискосъпротивителни структури на голяма дълбочина като първични могили (V.4.1), както и вкопавания в основата на могилите, които може индиректно да свидетелстват за наличие на гробни съоръжения.

За първи път в света, при проучванията на могилата Светица край Шипка, въз основа на резултатите от двумерната електросъпротивителна томография е разкрит зидан гроб от късножелязната епоха, като при това са определени точните му размери и дълбочината, на която се намира. Освен това са получени много важни данни за начина на натрупване на могилата. Те показват, че гробът най-вероятно е бил изграден след като в южната част на оригиналния могилен насип е направен голям изкоп, който след това е бил запълнен с пръст с по-високо съдържание на камъни и чакъл. Това наблюдение е в подкрепа на съществуващата хипотеза, че някои от гробниците от това време са изграждани във вече издигнати могили.

При проучванията на могилата в Опака за пръв път в света е приложена тримерна електросъпротивителна томография на надгробна могила с използването на диполна схема. В резултат е засечена първичната могила, което не би било възможно с други методи, под която археологическите разкопки разкриват две гробни ями с трупоизгаряне на място. Направената съпоставка между извършеното 2D и 3D инверсионно моделиране на данните от измерванията показва, че последното дава много по-добри резултати.

Въз основа на прилагането на магнитната градиометрия за пръв път е направена оценка за възможностите на този вид измервания при регистрирането на гробни структури „невидими" за електросъпротивителните проучвания – гробни ями с трупоизгаряне на място. Бе установено, че това е напълно възможно, като резултатът зависи от размерите им и интензитета на придобитата термоостатъчна намагнитеност. Оказа се, че ямите с по-малки размери и по-слабо опалване могат да бъдат регистрирани само в рамките на първите няколко десетки сантиметри (виж Горско Абланово, V.7), докато по-големите и подложени на по-силно нагряване – на метър и повече (виж могила 1 при Кабиле, V.3.1). Освен това, бе направена оценка на нуждата от коригиране на геомагнитните измервания заради влиянието на могилата като релефна форма. Бе установено, че в голяма част от случаите (при по-ниските могили и тези насипани с пръст с ниска магнитна възприемчивост) това влияние се коригира автоматично чрез използването на магнитометри работещи в градиометричен режим. В останалата част от случаите, когато това се налага, предложената полиномна регресия дава отлични резултати, като напълно отстранява теренния ефект (виж могила 1 при Кабиле, V.3.1).

Резултатите от полевите изследвания, както и от моделни изчисления, позволяват да се направи една категоризация на могилите по размери от геофизична гледна точка.

При много малките могили (с височина до 1 м) геофизичните изследвания могат да регистрират гробни ями с трупоизгаряне или гробове облицовани с плочи, ако последните не са в централните части и вкопани в древния терен. С прилагането на 2D и 3D ЕСТ могат да се регистрират вкопани зидани гробове дори и в центъра на могилата.

В малките могили (с височина до 2-2.5 м) успешно могат да се регистрират зидани гробове, дори и да са в центъра на могилата, както и цистови, ако не са на голяма дълбочина.

При средно големите могили (с височина до 5-6 м) вероятността да бъде регистрирана гробница, дори тя да е в центъра на могилата, е голяма. Могат да се регистрират и зидани гробове, ако са в периферията.

В големите могили (с височина до 10 м) могат да се регистрират големи съоръжения, като гробници, ако те не са в центъра на могилата или, при положение, че са в центъра, ако имат коридор или фасада, които са по-близо до периферията.

Проучването на много големите могили (с височина над 10 м) е свързано с предварително детайлно планиране, съобразено с конкретната могила. Големи гробни съоръжения могат да се регистрират, ако не са в центъра на могилата или ако имат коридори или фасада, които са на по-малка дълбочина.

Постигнатите на този етап резултати позволяват да се очертаят и някои от насоките за развитието на археологическата геофизика в България и в частност на методиката при проучванията на тракийските надгробни могили. Перспективите в бъдеще са преди всичко в прилагането на тримерната електросъпротивителна томография на селища и на абсолютно всички могили, включително и на много големите. В това отношение, за ускоряване процеса на самото измерване, са нужни многоканални резистивиметри, каквито вече се прилагат в геоложките проучвания в света, както и на по-съвършени инверсионни програми за обработка на данните от измерванията. Другата многообещаваща перспектива е използването на последната новост в проучвателната геофизика – георадарите. Прилагането на тези иновация в бъдеще е обвързано с различно финансово обезпечаване на археологията и археологическата геофизика като цяло, в частност, с подходящо програмно обезпечение, както и с много висока степен на квалификация на специалистите и натрупан опит в този вид изследвания.

БИБЛИОГРАФИЯ

Авдев, С., Р. Радков, П. Ставрев, И. Лозенски 1983. Геофизични методи при проучване на антични некрополи. *Известия на Националния исторически музей*, 4, 184-190

Бекер Х. 1980. Геофизични проучвателни методи в археологията. *Интердисциплинарни изследвания*, V-VI, 11-17

Боганик, Г., И. Гурвич 2006. *Сейсморазведка*. Тверь: Издателство АИС

Бъчваров, К., М. Тонкова, П. Лещаков, П. Калчев, П. Караилиев, Ц. Попова, М. Гюрова, П. Зидаров, К Максуини, М. Янева 2010. Спасителни разкопки на ритуални комплекси от късноенеолитната, ранножелязната, късножелязната и римската епоха при с. Сърнево, Радневско (обект 5, ЛОТ 2, АМ Тракия, км 226+600 – км 226+850). В *Археологически открития и разкопки през 2009 г.*, София, 47-51

Бъчваров, К., М. Тонкова, П. Лещаков, П. Калчев, П. Караилиев 2011. Спасителни разкопки на ритуални комплекси от късноенеолитната, ранножелязната, късножелязната и римската епоха при с. Сърнево, Радневско (обект 5, ЛОТ 2, АМ Тракия, км 226+600 – км 226+850). В: *Археологически открития и разкопки през 2009 г.*, София, 53-57

Венедиков И., Т. Герасимов 1974. *Тракийското изкуство*. София: Български художник

Вълчева Д. 1996. Погребения с трупоизгаряне в могили от римската епоха в Тракия. В: Г. Китов, К. Зарев, Б. Лилова (ред.) *Първи международен симпозиум „Севтополис" „Надгробните могили в Югоизточна Европа"*, 2, Велико Търново: ИК „Витал", 94–97

Ганецовски Г., П. Зидаров 2010. Недеструктивно теренно проучване на праисторическото селище в местността „Лапчовец" край село Бороване, област Враца. В: *Археологически открития и разкопки през 2009 г.*, 88-89.

Гергова Д. 1996. Могили № 13 и № 12 на Сборяново. В: Д. Гергова (ред.) *Обредът на обезсмъртяването в Древна Тракия*, София: Агато, 178-184.

Гетов Л. 1970. Погребални обичаи и гробни съоръжения у траките през римската епоха. *Археология*, 1, 1-12.

Джаков Ив., 1978. Геофизично проучване на археологически обекти у нас. *Интердисциплинарни изследвания*, I, 37-40.

Димитров З., М. Тонкова 2011а. Археологически разкопки на обект: Каракочова могила, с. Братя Даскалови, Чирпанско. В: М. Гюрова и др. (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2010 г.*, София, 231-234.

Димитров З., М. Тонкова 2011б. Археологически разкопки на обект: Читашка могила, с. Братя Даскалови, Чирпанско. В: М. Гюрова и др. (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2010 г.*, София, 234-236.

Димитрова Д., Н. Сираков 2009. Спасителни археологически проучвания на могили в землището на с. Крушаре. В: Д. Гергова и др. (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2008 г.*, София, 290-293.

Димитрова Д., Н. Сираков, М. Марков 2010. Спасителни разкопки на Китова могила в землището на с. Крушаре, община Сливен. В: *Д.* Гергова и др. (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2009 г.*, София, 255-258.

Долапчиева М. 1984. *Плътностна и магнитна характеристика на скалите от Южна България и закономерности на тяхното изменение*. Автореферат на дисертация за получаване на научната степен „Кандидат на физическите науки", София

Инкова М., Н. Тонков 2009. Електросъпротивително проучване на късноантична и средновековна крепост Калята до гр. Якоруда. В: *Д.* Гергова и др. (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2008 г.*, София, 755-756.

Катевски И. 1996. Принос на геофизиката при проучване на могили № 12 и № 13. В: *Д.* Гергова (ед.), *Обредът на обезсмъртяването в Древна Тракия*, София: Агато, 178-184.

Катевски И., В. Янев, *Л.* Никова 1983. Особености на геофизичните изследвания при търсене и изследване на археологически обекти. *Известия на националния исторически музей*, IV, 173-177.

Кацарова В. 2008. Археологически проучвания на „Извора на нимфите и Афродита" при с. Каснаково, община Димитровград. В: *Д.* Гергова (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2007 г.*, София, 488-492.

Кисьов К. 2005. *Тракия и Гърция в древността. Част I. Могилни гробници от класическата епоха в община Калояново*. Пловдив

Кисьов К. 2009. *Погребални практики в Родопите (II-I хил. пр. Хр.)*. Пловдив

Китов Г. 1993. Тракийските могили. *Thracia*, 10, 39-80

Китов Г. 1994. Долината на царете в Казанлъшката котловина. *Анали*, 2-3, 46-76

Китов Г. 2001. *Тракийски култов център Старосел*. Варна.

Китов Г. 2005а. *Долината на тракийските царе*. Варна.

Китов Г. 2005б. Проучвания на надгробната могила Светица край Шипка. *Археология*, 1-4, 137-146.

Колюбакин В., М. *Л*апина 1960. *Обзор способов решения прямой и обратной задач магнитной разведки* (Труды института физики земли им. *Д.* Ю. Шмидта, Академия наук СССР, № 13.180), Москва: Издателство Академии наук СССР

*Л*ещаков К. 2010. Спасителни археологически разкопки на раннонеолитния обект Ябълково. В: *Д.* Гергова и др. (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2009 г.*, София, 45-47.

*Л*ещаков К., В. Петрова, Н. Тодорова, И. Борисова, Г. Кацаров, Н. Спасов, Р. Златева 2008. Спасителни разкопки на обект Ябълково – праисторическо селище: сектори югозапад и север в района на строеж на жп линия Пловдив-Свиленград и на АМ „Марица". В: *Д.* Гергова и др. (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2007 г.*, София, 38-41.

*Л*ещаков К., Н. Тодорова, В. Петрова, Г. Кацаров, Р. Златева, Н. Спасов 2009. Спасителни разкопки на раннонеолитното селище Ябълково по трасето на АМ „Марица" през 2008 г. В: *Д.* Гергова и др. (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2008 г.*, София, 57-61.

*Л*озанов И., М. К. Христов 2010. Спасително проучване по трасето на АМ „Тракия", *Л*ОТ 4, км. 281+500-281+600, обект № 6, в землището на село Кабиле, община Тунджа. В *Д.* Гергова и др. (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2009 г.*, София, 419-422.

Меламед К., Ж. Аладжов 2006. Археологически разкопки до с. Ябълково, Димитровградско. Средновековно селище и некропол. В: В. Николов, Г. Нехризов, Ю. Цветкова (ред.), *Спасителни археологически разкопки по трасето на железопътната линия Пловдив-Свиленград през 2004 г.*, Велико Търново, 244-262

Миков В. 1957. Надгробните могили в България. В *Археологически открития в България*, София, 217-241

Ненов Н., А. Петков 1995. Подводна археометрия. *Анали*, II.1-2, 126-135.

Николова *Л*. 1992. Поява и разпространение на надгробните могили в Карпато-Балканския регион (ранна бронзова епоха). *Археология*, 1992, 3, 1-9.

Петков А. 1988. Мотоделтапланерите – една възможност за българската археология. – *ActaTAB*, III, 1988, 265-269.

Петков А. 1994. Археометрията – още една археологическа интердисциплинарна наука. – *Анали*, I, 1994, 2-3, 130-134.

Петков А., Н. Ненов 1988. Подводна геофизика и археология. – *ActaTAB*, III, 284-289.

Пищалов С. 1976. *Електрически методи на проучване*. Държавно издателство „Техника", София, 1976.

Пищалов С., В. Иванова, Хр. Рязков, Ст. Шанов 1972. *Геофизични изследвания в археологията*. Фонд НЕК, София.

Попов Хр., К. Петкова 2009. Сондажни археологически проучвания на обект № 15, км 267+200 – 267+300, *Л*ОТ 3, АМ „Тракия", землище на с. Скобелево, община Сливен. – в: *Д*. Гергова (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2008 г., София*, 2009, 496-499.

Попов Хр., П. Георгиев 2010. Спасителни археологически проучвания на обект 15, км. 267+850-268+300, *Л*ОТ 3, АМ „Тракия" при с. Скобелево, Сливенска област. – в: *Д*. Гергова (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2009 г.*, София, 2010, 410-412.

Радков Р. 1966. Възможности за прилагане на геофизичните методи в археологията. – *Археология*, 1966, 2, 14-20.

Радков Р., П. Ставрев, И. *Л*озенски 1974. *Методика за комплексно геофизично проучване на археологически обекти (надгробни могили) в района на Исперих – Разградски окръг*. Отчет по Договор № 412/73. Фонд ВМГИ, 1974.

Радков Р., П. Ставрев, И. *Л*озенски, Ст. Авдев, Ч. Гюров 1978. Геофизични изследвания на археоложки обекти в Североизточна България. – *Годишник на ВМГИ*, XXIV, 2, 1978, 300-306.

Русева М. 1995. Опит за тълкуване на погребалните паметници в Тракия като модел на света. – *Анали*, 1-2, 28-37.

Русева М. 2000. *Тракийска култова архитектура*. Ямбол, 2000.

Русева М. 2002. *Тракийската гробнична архитектура в българските земи V-III в. пр. н. е*. Ямбол, 2002

Стоянов Т., Р. Миков, Т. *Д*жанфезова 2010. Спасително археологическо проучване на обект 7 – надгробна могила и околомогилното й пространство и сондажи по корекцията на трасето на шосето с. Кабиле – с. Жельо войвода. – в: *Д*. Гергова (ред.), *Археологически открития и разкопки през 2009 г.*, София, 2010, 239-243.

Тонков Н. 2001. Геофизично проучване на тракийски надгробни могили в Казанлъшко – *Годишник на археологическия институт с музей*, 1, 2001, 253-268.

Тонков Н. 2003. Някои методически новости при електросъпротивителните изследвания на тракийски могили край Старосел. - В: А. Фол (ред.) *"Пътят, Сборник научни статии, посветен на живота и творчеството на д-р Георги Китов"*, *s. l.*, 2003, 210-215.

Тонков Н. 2007. Геофизично проучване на могилата Светица край град Шипка. – *Годишник на националния археологически музей*, 11, 2007, 2007, 252-260.

Тонков Н. 2007. Геофизично проучване на късноримски обект в м. Гарагашкин чаир (м. Могилите) при с. Помощник, община Гълъбово, през 2006 г. - в: Хр. Попов и др. (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2006 г.*, София, 2007, 386-387.

Тонков Н. 2008а. Геофизично проучване на две надгробни могили в землището на с. Ветрище, Шуменско. – в: Д. Гергова (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2007 г.*, София, 2008, 287-290.

Тонков Н. 2008б. Геофизично проучване на тел Провадия-Солницата. - в: В. Николов (ред.) *Праисторически солодобивен център Провадия-Солницата. Разкопки 2005-2007 г.*, София, 2008, 51-58.

Тонков Н., И. Катевски 1996. Геофизично изследване на могили от некропола на Шипка-Шейново. – в Г. Китов, К. Зарев, Б. Лилова (ред.) *Първи международен симпозиум „Севтополис" „Надгробните могили в Югоизточна Европа"*, 2, ИК „Витал", В. Търново, 1996, 122-128.

Тонков Н., И. Катевски.2007. Геофизични изследвания за определяне дебелината на културния слой в района на обект „Водната централа" в археологическия резерват Сборяново. – в: Stefanovich M., C. Angelova (eds.) *PRAE, In Honorem Henrieta Todorova*, Sofia, 2007, 333-336, Faber Ltd.

Тонкова М. 2002. Новооткрит тракийски център от ранноелинистическата епоха при извора Халка Бунар в землището на с. Горно Белево. – *Годишник на археологическия институт и музей*, 2, 2002, 148-196.

Тонкова М. 2008. Тракийски център в м. „Халка бунар", с. Горно Белево, община Братя даскалови, Старозагорска област. – в: Д. Гергова (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2007 г.*, София, 2008, 222-225.

Тонкова М., И. Караджинов, Н. Тонков 2009. Геофизични проучвания и сондажни археологически разкопки на обект от къснонеолитната, ранножелязната и късножелязната епоха при с. Сърнево, община Раднево (АМ „Тракия", ЛОТ 2, обект № 5 км 226+600 – км 226+850). – *Археологически открития и разкопки за 2008 г.*, София, 2009, 162-165.

Тонкова М., А. Сидерис 2010. Съвместни българо-гръцки проучвания на обект от I хил. пр. Хр. и неолитната епоха при извора Халка бунар, с. Горно Белево, община Братя даскалови, Старозагорска област през 2009 г. – в: Д. Гергова (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2009 г.*, София, 2010, 195-199.

Тонкова М., А. Сидерис 2011а. Геофизично и археологическо проучване на многослоен обект от късния неолит и от I хил. пр. Хр. при извора Халка бунар при с. Горно Белево, община Братя Даскалови, Старозагорска област. – в: М. Гюрова и др. (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2010 г.*, София, 2011, 165-166.

Тонкова М., А. Сидерис 2011б. археологическо проучване на многослоен обект от късния неолит и от I хил. пр. Хр. при извора Халка бунар при с. Горно Белево, община Братя Даскалови, Старозагорска област. – в М. Тонкова (ред.) *Тракоримски династичен център в района на Чирпанските възвишения*, София, 2011, 80-92.

Тонкова М., Я. Иванов 2011. Тракийска куполна гробница от края на IV или началото на III в. пр. Хр., с. Братя Даскалови, Старозагорска област. – в: М. Гюрова и др. (ред.)

Археологически открития и разкопки през 2010 г., София, 2011, 229-231.

Торбатов С., Н. Русев 2008. Сондажни проучвания на римски викус край Горско Абланово, община Опака. – в: *Д*. Гергова (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2007 г.*, София, 2008, 462-463.

Торбатов С., Н. Русев 2009. Археологически проучвания на могилен некропол от римската епоха край Горско Абланово, община Опака. – в: *Д*. Гергова (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2008 г.*, София, 2008, 486-489.

Торбатов С., Н. Русев 2009. Сондажни проучвания на римски викус край Горско Абланово, община Опака. – в: *Д*. Гергова (ред.) *Археологически открития и разкопки през 2008 г.*, София, 2008, 484-486.

Филов Б. 1934. *Надгробните могили при Дуванлий, Пловдивско*. София, 1934.

Франтов Г., А. Пинкевич 1966. *Геофизика в археологии*. *Л*енинград, 1966.

Чешитев Г., Мл. Кънчев 1989. *Геоложка карта на България*. – Комитет по геология - ПГПиГК, София, 1989.

Шлайфер Н., С. Ангелова, В. Петрова 2006. Нови геофизични данни за трасето на историческата крепостна стена на Силистра (*Д*уросторум, *Д*ръстър), България. *Интердисциплинарни изследвания*, 19, 30-40.

Эйткин М. 1963. *Физика и археология*. Москва

Янев В., Ил. Катевски 1972. Възможности на геоелектричните методи при изследванията на Велики Преслав. – *Археология*, 1972, 4, 56-62.

Янев В., Г. Хаджиев, *Л*. Богданова, Ил. Катевски, Ал. Цветков 1976. Геофизични проучвания на вътрешния град на Плиска. – *Музеи и паметници на културата*, 1976, 2, 40-43.

Янев В., Ив. Петков, Ил. Катевски, *Л*. Никова 1983. Геофизични методи в археологията – проблеми и насоки на развитие. – *Известия на националния исторически музей*, IV, 1983, 26-33.

Янков *Д*., Р. Колева, Ч. Кирилов 2008. Спасителни археологически разкопки на обект „Средновековно селище и некропол в м. Бялата вода, с. Златна ливада" км 19+900 – 20+250 на АМ „Тракия". – *Археологически открития и разкопки през 2007 г.*, 736-738 г.

Aitken M. 1974. *Physics and Archaeology*. Clarendon Press, Oxford, 1974.

Annan A. P. 2009. Electromagnetic Principles of Ground Penetrating Radar. – In: H. M. Jol (ed.) *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, 2009, 3-40, Elsevier Science.

Aspinall A., J. Lynam 1968. Induced polarization as a technique for archaeological surveying. – *Prospezioni archaeologiche*, 3, 1968, 91-93.

Aspinall A., J. Lynam 1970. An induced polarization instrument for the detection of near surface features. – *Prospezioni archaeologiche*, 5, 1970, 67-75.

Aspinall A., C. Gaffney, L. Conyers 2008. Archaeological prospection – the first fifteen years. – *Archaeological Prospection*, 15, 2008, 241–245.

Astin T., H. Eckardt, S. Hay 2007. Resistivity imaging survey of the Roman barrows at Bartlow, Cambridgeshire, UK. – *Archaeological Prospection*, 14, 2007, 24–37.

Artoli G. 2010. *Scientific methods and cultural heritage*. Oxford, 2010.

Aubry L., C. Benech, E. Marmet, A. Hesse 2001. Recent achievements and trends of research for geophysical prospection of archaeological sites. – *Journal of Radioanalytical and Nuclear*

Chemistry, 247, 3, 2001, 621-628.

Batayneh A., J. Khataibeh, H. AlRshdan, , U. Tobasi, N. Al-Jahed 2006. The use of microgravity, magnetometry and resistivity surveys for the characterization and preservation of an archaeological site of Umm er-Rasas, Jordan. – *Archaeological Prospection*, 14, 2006, 60–70.

Bellerby T., M. Noel, K. Brannigan 1992. Recent developments in thermal archaeological prospection. – in: P. Spoerry (ed.) *Geoprospection in the archaeological landscape*, Oxbow Monograph, 18, 1992, 101-111.

Bevan B. W. 2000. An Early Geophysical Survey at Williamsburg, USA. – *Archaeological Prospection*, 7, 2000, 51-58.

Blake V. 1995. The simulation of side-scan sonar images. – *Archaeological Prospection*, 2, 1995, 29-56.

Boyd M. 2007. Geophysical survey and rural settlement architecture on the Lower Danube at the transition to Late Antiquity. – in: A. Poulter (ed.) *The Transition to Late Antiquity On the Danube and Beyond*, Proceedings of the British Academy, 141, Oxford, 2007, 597-609.

Campana S., S. Piro 2009. *Seeing the unseen. Geophysics and landscape archaeology*. Taylor&Francis, London, 2009.

Carabelli E. 1955. Richerce geofisiche sperimentali su antiche necropolis. – *Revista geofisica applicata*. A 16, no. 1-2, 1955.

Carabelli E. 1966. A new tool for archaeological prospection – a sonic spectroscope for the detection of cavities. – *Prospezioni archaeologiche*, 1, 1966, 25-35.

Chiozzi P., V. Pasquale, M. Verdoya, P. De Felice 2000. Practical applicability of field γ-ray scintillation spectrometry in geophysical survey. – *Applied Radiation and Isotopes*, 53, 2000, 215-220.

Clark 1990 A. *Seeing Beneath the Soil*. B. T. Batsford Ltd., London, 1990.

Conyers L. 2001. Ground-penetrating radar.- in: J. P. Hornak (ed.) *Encyclopedia of Imaging Science and Technology*, John Wiley and Sons, New York, 2001, 463-476

Conyers L. 2004. *Ground-penetrating radar for archaeology*. AltamiraPress, 2004.

Dahlin T., B. Zhou 2004. A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. – *Geophysical Prospecting*, 52, 2004, 379–398.

Dahlin T., B. Zhou 2006. Multi-gradient array measurements for multichanel 2D resistivity imaging. - *Near Surface Geophysics*, 4, 2, 2006, 113-123.

Dahlin T., C. Bernstone, M. H. Loke 2002. A 3-D resistivity investigations of a contaminated site at Lernacken, Sweden. – *Geophysics*, 67, 6, 2002, 1692-1700.

Dahlin T., M. H. Loke 1997. Quasi-3D resisistivy imaging-mapping of three dimensional structures using two dimensional DC resistivity techniques. – *Proceedings of the 3rd Meeting Environmental and Engineering Geophysics*. Aarhus, Denmark, 1997, 143-146.

Dahlin T., P. Sjodahl, S. Johansson, J. Friborg 2003. *Dammsäkerhet. Long term resistivity and self potential monitoring of embankment dams*. Stockholm, 2003.

Davis J., A. Annan1989. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. – *Geophysical Prospecting*, 37, 5, 1989, 531-551.

Dearing J., K. Hay, S. Baban, A. Huddleston, E. Wellington, P. Loveland 1996. Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set. – *Geophysical Journal International*, 127, 1996, 728-734.

Dobrin M., C. Savit 198**8.** *Introduction to Geophysical Prospecting*. Forth Edition. McGraw-Hill International Editions, **1988**.

Drahor M. G. 2004. Application of the self-potential method to archaeological prospection: some case histories. – *Archaeological Prospection*, 11, 2, 2004, 77-105.

Drahor M. G., A. L. Akyol, N. Dilaver 1996. An application of the self-potential (SP) method in archaeogeophysical prospection. – *Archaeological Prospection*, 3, 1996, 159-161.

Edwards L. S. 1977. A modified pseudosection for resistivity and IP. – *Geophysics*, 42, 5, 1977, 1020–1036.

Fajklewicz A., A. Glinski, J. Sliz 1982. Some applications of the underground lower gravity vertical gradient. – *Geophysics*, 47, 1982, 1688-1692.

Evstatiev D., D. Gergova, V. Rizzo 2005. Geoarchaeological characteristics of the Thracian tumuli in Bulgaria*л* – *Helis*, III, 2005, 156-168.

Fasbinder J., H. Stanjek 1993. Occurrence of bacterial magnetite in soils from archaeological sites. – *Archaeologia Polona*, 31, 1993, 117-128.

Fol Al., M. Chichikova, T. Ivanov, T. Teofilov 1986. *The Thracian tomb near the village of Sveshtary*. Svyat Publishers, Sofia.

Fondazione Ing. C. M. Lerici 1963. *Relazione sulla esplorazione geofisica N. A-5 per conto Kazanlik, Bulgaria*. 1963, Фонд ГИМ-Казанлък.

Forte E., M. Pipan 2008. Integrated seismic tomography and ground-penetrating radar (GPR) for the high-resolution study of burial mounds (tumuli). – *Journal of Archaeological Science*, 35, 9, 2008, 2614-2623.

Fröhlich Gugler A., P. Gex 1996. Electromagnetic survey of a Celtic tumulus. – *Journal of Applied Geophysics*, 35, 1, 1996, 15-25.

Gaffney C., J. Gater, S. Ovenden 1991. *The Use of Geophysical Techniques in Archaeological Evaluations*. IFA Technical Paper No. 9, IFA, the KPC Group, London, 1991.

Gaffney C. 2008. Detecting trends in the prediction of the buried past: a review of geophysical techniques in archaeology. – *Archaeometry*, **50, 2,** 2008, **313-336.**

Gaffney C., J. Gater 2003. *Revealing the buried past. Geophysics for Archaeologists*. Tempus Publishing Ltd., 2003.

Gautam P., S. Raj Pant, H. Ando 2000. Mapping of subsurface karst structure with gamma ray and electrical resistivity profiles: a case study from Pokhara valley, central Nepal. – *Journal of Applied Geophysics*, 45, 2000, 97-110.

Georgiev M., A. Petkov, N. Nenov, D. Georgiev, Ch. Angelova 1991. Prospecting of underwater archaeological sites using geophysical methods. – *Thracia Pontica*, 4, 1991, 451-470.

Georgiev M., A. Petkov, D. Stoev, K. Velkovski 1994. Geophysical prospecting of the aquatoria of the southern Black sea coast aimed at reconstructing of the paleorelief. – *Thracia Pontica*, 5, 1994, 317-328.

Goodman D., S. Piro, Y. Nishimura, K. Schneider, H. Hongo, N. Higashi, J. Steinberg, B. Damiata 2009. GPR Archaeometry. – In: H. M. Jol (ed.) *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, 2009, 479-508, Elsevier Science.

Gribbin J. 1998. *Q is for Quantum: Particle Physics from A to Z. London*, 1998, Weidenfeld & Nicolson..

Hensel W. 1970. Recherches archéologiques polonaises a Styrmen (district Roussé) en

Bulgarie (1962-1968). – *Archaeologia Polona*, 12, 1970, 151-186.

Herbich T. 2003. Archaeological geophysics in Egipt, the Polish contribution. – *Archaeologia Polona*, 41, 2003, 13-55.

Hildebrand J. A., S.Wiggins, J. Driver, M. Waters 2007. **Rapid seismic reflection imaging at the Clovis period Gault site in central Texas.** – *Archaeological Prospection*, 14, 4, 2007, 245-250.

Imai T., T. Sakayama, T. Kanemori 1987. Use of ground-probing radar and resistivity surveys for archaeological investigations. – *Geophysics*, 52, 2, 1987, 137-150.

Jones D. 2008. *Geophysical survey in archaeological field evaluation*. English Heritage Publishing, 2008.

Kamei H., Y. Marukawa, H. Kudo, Y. Nishimura, M. Nakai 2000. Geophysical survey of Hirui-Otsuka mounded tomb in Ogaki, Japan. – *Archaeological Prospection*, 7, 2000, 225–230.

Karastathis V., S. Papamarinopoulos, R. Jones 2001. 2-D Velocity Structure of the Buried Ancient Canal of Xerxes: An Application of Seismic Methods in Archaeology. – *Journal of Applied Geophysics*, 47, 2001, 29-43.

Karastathis V., S. Papamarinopoulos 1997. The detection of the Xerxes Canal by the use of shallow reflection and refraction seismics - preliminary results. – *Geophysical Prospecting*, 45, 1997, 389-401.

Katevski 1986. Etude géophysique d'une nécropole Thrace sous tumulus en Bulgarie du nord-est. - In: Liritzis Y., T. Hackens (eds.) Proceedings of the First South-European Conference on Archaeometry, *Pact*, 15, 1986, 169-173.

Katevski I. 1992. Geophysical Prospecting of Tumuli in Sboryanovo. Approaches and Effectiveness. – *Helis*, 2, 1992, 115-117.

Katevski I. 1996a. A Contribution of the Geoelectrical Studies to Expedient Archaeological Excavations of a Thracian Tumulus as a Part of the Necropolis - the Village of Sveshtary in the North-East of Bulgaria. - In: Liritzis Y., T. Hackens (eds.) Proceedings of the Second South-European Conference on Archaeometry, *Pact*, 45, Louvain-La-Neuve, 1996, 395-400.

Katevski I. 1996b. The position of geophysical prospecting in the study of Pistiros. – in: J. Bouzek, M. Domaradski, Z. Archibald (eds.) *Pistiros*, 1, Prague, 175-180.

Katevski I. 2002. New data from the geophysical survey on emporion Pistiros. – in: J. Bouzek, L. Domaradska, Z. Archibald (eds.) *Pistiros*, 2, Prague, 299-302.

Kitov G. 1995. Les tumuli royaux dans "La vallée des rois". – *Orpheus*, 5, 1995, 5-21.

Kitov G. 1996. The Thracian Valley of the Kings in the Region of Kazanlak. – *Balkan Studies*, 37-1, 1996, 5-34, Thessaloniki.

Kvamme K. 2005. Terrestrial Remote Sensing in Archaeology. – In: H. Maschner, Ch. Chippindale (eds.) *Handbook of Archaeological Methods*, 1, AltaMira Press, 2005, 423-477.

Lasaponaro R., N. Masini 2007. Detection of archaeological crop marks by using satellite QuickBird multispectral imagery. – *Journal of Archaeological Science*, 34, 2007, 214-221.

Le Borgne E. 1955. Susceptibilite Magnetique Anormale du Sol Superficiel. – *Annales de Geophysique*, 11, 1955, 399-419.

Le Borgne E. 1960. Influence du Feu Sur Les Proprietes Magnetiques du Sol et Sur Celles du Schist et du Granite. – *Annales de Geophysique*, 16, 1960, 159-96.

Leckebusch J. 2001. *Die Anwendung des Bodenradars (GPR) in der archaologischen Prospektion*. Verlag Marie Leidorf GmbH, Rahden/Westf, 2001.

Lenkiewicz T., W. Stopinski 1969. The application of electric resistivity method to archaeological research in towns. – *Archaeologia Polona*, 11, 1969, 173-198.

Lerici C. 1955. *Prospezioni Archeologiche*. Fondatione Ing. M. Lerici, Politecnico di Milano, 1955.

Lerici C. 1958. *I nuovi metodi di recerca archeologica con prospezioni geofisiche e rinvenimento della tomba delle Olimpiadi*. C. M. Lerici Editore, Milano, 1958.

Lerici C. M. 1960a. *Applicazioni geofisiche nella ricerca archeologica. La ricerca scientifica*. A. 30, 1, 1960.

Lerici C. M. 1960b. *I nuovi metodi di prospezione archeologica alla scoperta delle cicilta sepolte*. Lerici editori, Milano, 1960.

Lerici C. 1961. Methods Used in the Archaeological prospecting of Etruscan Tombs. – *Studies in Conservation*, 6, 1, 1961, 1-8.

Leopold M., E. Gannaway, J. Völkel, F. Haas, M. Becht, T. Heckmann, M. Westphal, G. Zimmer 2011. Geophysical prospection of a bronze foundry on the southern slope of the acropolis at Athens, Greece. – *Archaeological Prospection*, 18, 2011, 27-41.

Linford N. 2006. The application of geophysical methods to archaeological prospection. – *Reports on progress in physics*, 69, 2006, 2205-2257.

Linnington R. E. 1966. The test use of a gravimeter on Etruscan chambered tombs at Cerveteri. – *Prospezioni Archeologiche,* 1, 1966, 37–41

Linzen S., A. Chwala, V. Schultze, M. Schulz, T. Schuler, R. Stolz, N. Bondarenko, H. G. Meyer 2007. A LTS-SQUID System for Archaeological Prospection and Its Practical Test in Peru. – *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 17, 2, 2007, 750-755.

Loke M. 2010. *Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys*. Налична на: http://www.geoelectrical.com/downloads.php, 2010.

Loke M., I. Acworth, T. Dahlin 2003. A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys. – *Exploration Geophysics*, 34, 2003, 182-187.

Loke M., T. Dahlin 2002. A comparison of Gauss-Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion. – *Journal of Applied Geophysics*, 49, 2002, 149-162.

Lowrie W. 2007. *Fundamentals of Geophysics*. Cambridge University Press, 2007.

Majewski K. 1970. Recherches archéologiques polonaises a Novae. – *Archaeologia Polona*, 12, 1970, 351-372.

Milsom J. 2003. *Field Geophysics*. John Wiley & Sons Ltd., 2003.

Misievicz K. 2002. How we tried to show invisible – history of archaeological geophysics in Poland. – *Archaeologia Polona*, 40, 2002, 111-124.

Misiewicz K. 2003. Geophysical reconnaissance at the site of Tanais (Russia) in 1993-2003. – *Archaeologia Polona*, 41, 2003, 57-78.

Møller I. 2006. Ground penetrating radar. – In: R. Kirsch, H. M. Rumpel, W. Scheer, H. Wiederhold (eds.) *Groundwater Resources in Buried Valleys. A Challenge for Geosciences*. Hannover, 2006, 99-106.

Moussa M. 2001. Gamma-ray spectrometry: a new tool for exploring archaeological sites; a case study from East Sinai, Egypt. – *Journal of Applied Geophysics*, 48, 2001, 137-142.

Müller C., S. Woelz, J. Boyce, G. Wendt, W. Rabbel, Y. Ersoy, T. Jokisch 2009. Ultra-high-

resolution marine 2D–3D seismic investigation of the Liman Tepe/Karantina Island archaeological site (Urla/Turkey). – *Journal of Applied Geophysics*, 68, 2009, 124–134.

Music B. 1999. Geophysical prospecting in Slovenia: overview with some observations related to the natural environment. – *Arheološki vestnik*, 50, 1999, 349-405.

Music B. 2005. Primjena geofizičkih istraživanja u arheologiji. – *Hrvatski arheološki godišnjak*, 2, 2005, 253-265.

Nuzzo L., G. Leucci, S. Negri 2009. GPR, ERT and magnetic investigations inside the Martyrium of St Philip, Hierapolis, Turkey. – *Archaeological Prospection*, 16, 2009, 177–192.

Oldenburg D., Y. Li 1999. Estimating depth of investigation in dc resistivity and IP surveys. – *Geophysics*, 64, 2, 1999, 403–416.

Panisova J., R. Pasteka 2009. The use of microgravity technique in archaeology: A case study from the St. Nicolas Church in Pukanec, Slovakia. – *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 39, 3, 2009, 237–254.

Papadopoulos N., A. Sarris, Y. Myeong-Jong, K. Jung-Ho 2009. Urban archaeological investigations using surface 3D Ground Penetrating Radar and Electrical Resistivity Tomography methods. – *Exploration Geophysics*, 2009, 40, 56–68.

Papadopoulos N., Y. Myeong-Jong, K. Jung-Ho, P. Tsourlos, G. Tsokas 2010. Geophysical investigation of tumuli by means of surface 3D Electrical Resistivity Tomography. – *Journal of Applied Geophysics*, 70, 3, 2010, 192-205.

Parcak S. H. 2009. *Satellite remote sensing for archaeology.* Routledge. Abingdon, 2009.

Pattantyus M. 1986. Geophysical results in archaeology in Hungary. – Geophysics, 51, 3, 1986, 561-567.

Payne A. 1996. The Use of Magnetic Prospection in the Exploration of Iron Age Hillfort Interiors in Southern England. – *Archaeological Prospection*, 3, 1996, 163-184.

Persson K., B. Olofsson 2004. Inside a mound: applied geophysics in archaeological prospecting at the Kings' Mounds, Gamla Uppsala, Sweden. – *Journal of Archaeological Science*, 31, 5, 2004, 551–562.

Petrova P. 1992. Remote investigation of Ancient and Medieval settlements in the area of Isperih municipality. – *Helis*, 2, Sofia, 1992, 40-49.

Pinar R., Z. Akcig 1997. Geophysical investigation of Kosemtug Tumulus, Bandirma, (Northwest Turkey). – *Archaeological Prospection*, 4, 1997, 15–23.

Pipan M., L. Baradello, E. Forte, I. Finetti 2001. Ground penetrating radar study of Iron Age tombs in southeastern Kazakhstan. – *Archaeological Prospection*, 8, 2001, 141–155.

Poulter A. 1999. "Gradishte" near Dichin: A New Late Roman Fortress on the Lower Danube.- In: G. v. Buelov, A. Milceva (eds), *Der Limes an der unteren Donau von Diokletian bis Heraklios*, Sofia, 1999, 207-227.

Sarris A., G. Poulioudis, A. Gkiourou, Kevgas, D. Triantaphyllos, D. Terzopoulou 2000. Geophysical investigation of tumuli in Thrace, N. Greece. – *Proceedings of the 32nd International Symposium Archaeometry*, Mexico Sity, CD-ROM.

Schleifer N., A. Weller, S. Schneider, A. Junge 2002. Investigation of a Bronze Age plankway by spectral induced polarization. – *Archaeological prospection*, 9, 4, 2002, 243-253.

Schleifer N. 2007. Geophysical prospecting in Pliska (Bulgaria): applied methods and results. – in: J. Henning (ed.) *Post-Roman Towns, Trade and Settlement in Europe and Byzantium, 2, Byzantium, Pliska, and the Balkans*, Millennium Studies, 2007, 341-350.

Schmidt A. 2001. *Geophysical data in archaeology: a guide to good practice*. Oxford, Oxbow Books, 2001.

Schrott L., O. Sass 2008. Application of field geophysics in geomorphology: Advances and limitations exemplified by case studies. – *Geomorphology*, 93, 2008, 55-77.

Sheriff R. E. 2002. *Encyclopedic Dictionary of Applied Geophysics. Geophysical references series*, 13, Society of Exploration Geophysicists, 2002.

Strange P. 1995. The geophysical programme. – in: A. Poulter (ed.), *Nicopolis ad Istrum: a Roman, late Roman and early Byzantine City. Excavation 1985-1992 (Journal of Roman Studies Monograph N 8)*, London,1995, 259-267.

Tabbagh A. 1986a. Application and advantages of the Slingram electromagnetic method for archaeological prospecting. – *Geophysics*, 51, 3, 1986, 576-584.

Tabbagh A. 1986б. What is the best coil orientation in the Slingram electromagnetic method? – *Archaeometry*, 28, 2, 1986,185-196.

Tabbagh A., G. Bossuet, H. Becker 1988. A comparison between magnetic and electromagnetic prospection of a Neolithic ring ditch in Bavaria. – *Archaeometry*, 30, 1, 1988, 132-144.

Tabbagh A., M. Dabas 1996. Absolute Magnetic Viscosity Determination using Time-domain Electromagnetic Devices. – *Archaeological Prospection*, 3, 1996, 199-208.

Tabbagh A., G. Bossuet, H. Becker 1988. A comparison between magnetic and electromagnetic prospection of a Neolithic ring ditch in Bavaria. – *Archaeometry*, 30, 1, 1988, 132-144.

Tirpak J. 1983. Geofyzikalny prieskum archeologickych lokalit na Slovensku. – *Slovenska archeologia*, XXXI-1, 1983, 149-171

Tite M., C. Mullins 1971. Enhancement of the magnetic susceptibility of soils on archaeological sites. – *Archaeometry*, 13, 1971, 209–219.

Tonkov N. 1996a. Geophysical Survey of Tumuli in the Valley of the Kings, Central Bulgaria. Prognosis and Archaeological Evidence. – *Archaeological Prospection*, 3, 1996, 209-217.

Tonkov N. 1996b. Some Observations on the Magnetic Prospecting of Tumuli near the Village of Sveshtary, Northeastern Bulgaria. – In: Liritzis Y., T. Hackens (eds.) Proceedings of the Second South-European Conference on Archaeometry, *Pact*, 45, 1996, 459-469, Louvain-La-Neuve.

Tonkov N. 2002. Geophysical prospecting. – In: Bozkova A., P. Delev (eds.), *Koprivlen*, 1, Sofia, Nous, 2002, 273-279, 437-446.

Tonkov N. 2006. Possibilities of magnetic method in tumulus prospection (the case of Sveshtari necropolis). – *Interdisciplinary studies*, 19, 2006, 41-52.

Tonkov N. 2008. Resistivity survey of Thracian burial mounds. - in: R. Kostov (ed.) *Geoarchaeology and Archaeomineralogy*, Proceedings of the International Conference, 29-30 October 2008, Sofia, Publishing house "St. Ivan Rolski", Sofia, 2008, 327-330.

Tonkov N., M. H. Loke**2006**. **A resistivity survey of a burial mound in the 'Valley of the Thracian Kings'.** – *Archaeological Prospection***, 13, 2006,** 129-136.

Tsokas G., B. Papazachos, A. Vafidis, M. Loukoyiannakis, G. Vargemezis, K. Tzimeas 1995. The detection of monumental tombs buried in tumuli by seismic refraction. – *Geophysics*, 60, 6, 1995, 1735–1742.

Tsokas G., A. Rocca 1987. Field investigation of a Macedonian tumulus by resistivity soundings. – *Geoexploration*, 24, 1987, 99–108.

Tsokas G., P. Tsourlos, A. Stampolidis, D. Katsonopoulou, S. Soter 2009. Tracing a major

Roman road in the area of ancient Helike by resistivity tomography. – *Archaeological Prospection*, 16, 2009, 251–266.

Turco R., V. Rizzo (eds.) 1987. *Primi risultati delle ricerche sulla collina di Cozzo Rotondo. Atti della coferenza Bisignano 15 novembre 1986 ed opinioni di alcuni studiosi*. Pelegrini Editore, *s. l.*

Vagalinski L. 2011. Light industry in Roman Thrace: the case of lime production. – in: I. Haynes (ed.), *Early Roman Thrace. New evidence from Bulgaria*, 2011, 40-58.

Von Hermann P., A. Nagler, A. Gotlib 2010. Der tagrazeitliche Großkurgan von Barsučij Log in Chakassien. Ergebnisse der deutsch-russischen Ausgrabungen 2004-2006. – *Eurasia Antiqua*, 16, 2010, 169-282.

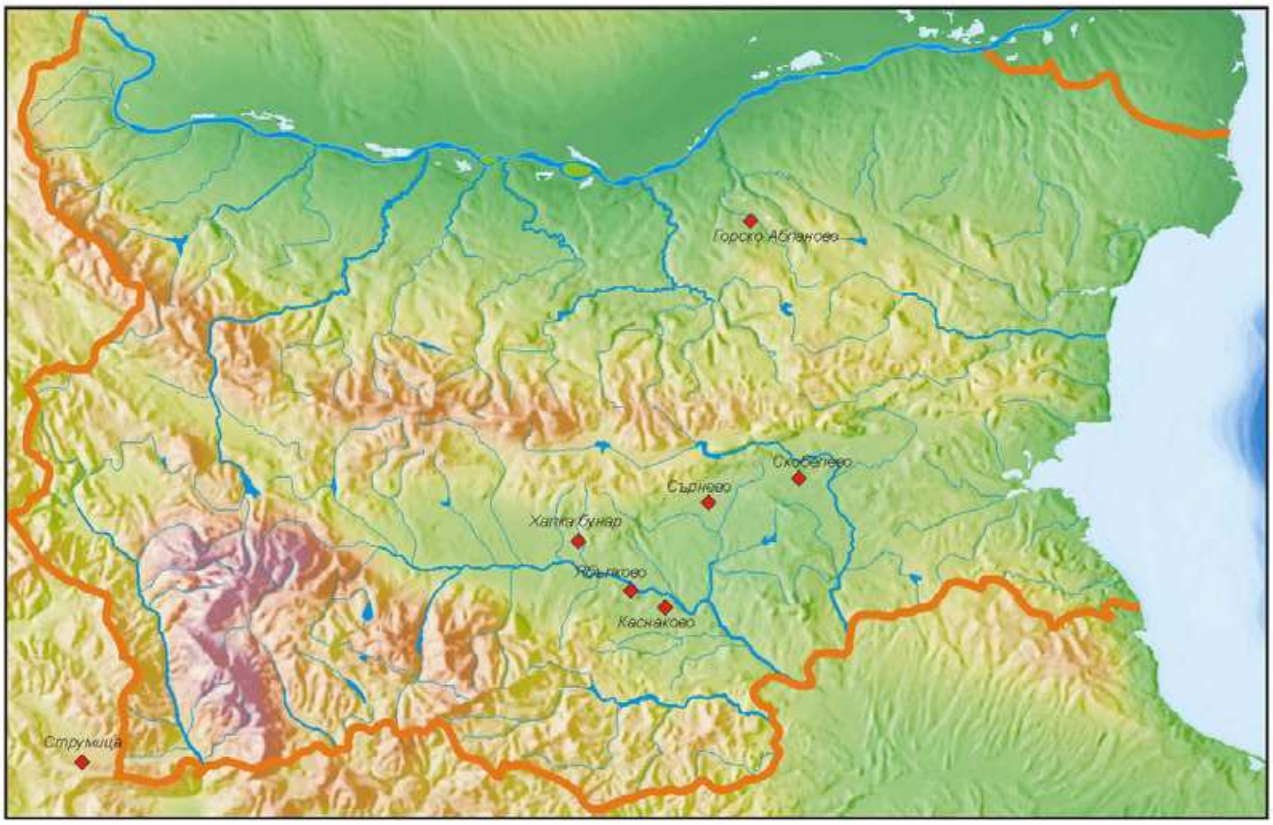
Wildenschild D., J. Roberts, E. Carlberg 2000. On the relationship between Microstructure and electrical and hydraulic properties of sand-clay mixtures. – *Geophysical Research Letters*, 27, 19, 2000, 3085-3088.

Wynn J., S. Sherwood 1984. The Self-Potential (SP) Method: An Inexpensive Reconnaissance and Archaeological Mapping Tool. – *Journal of Field Archaeology*, 11, 2, 1984, 195-204.

Yuan B., S. Liu, G. Lu 2006. . An integrated geophysical and archaeological investigation of the emperor Qin Shi Huang mausoleum. – *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 11, 2006, 73-81.

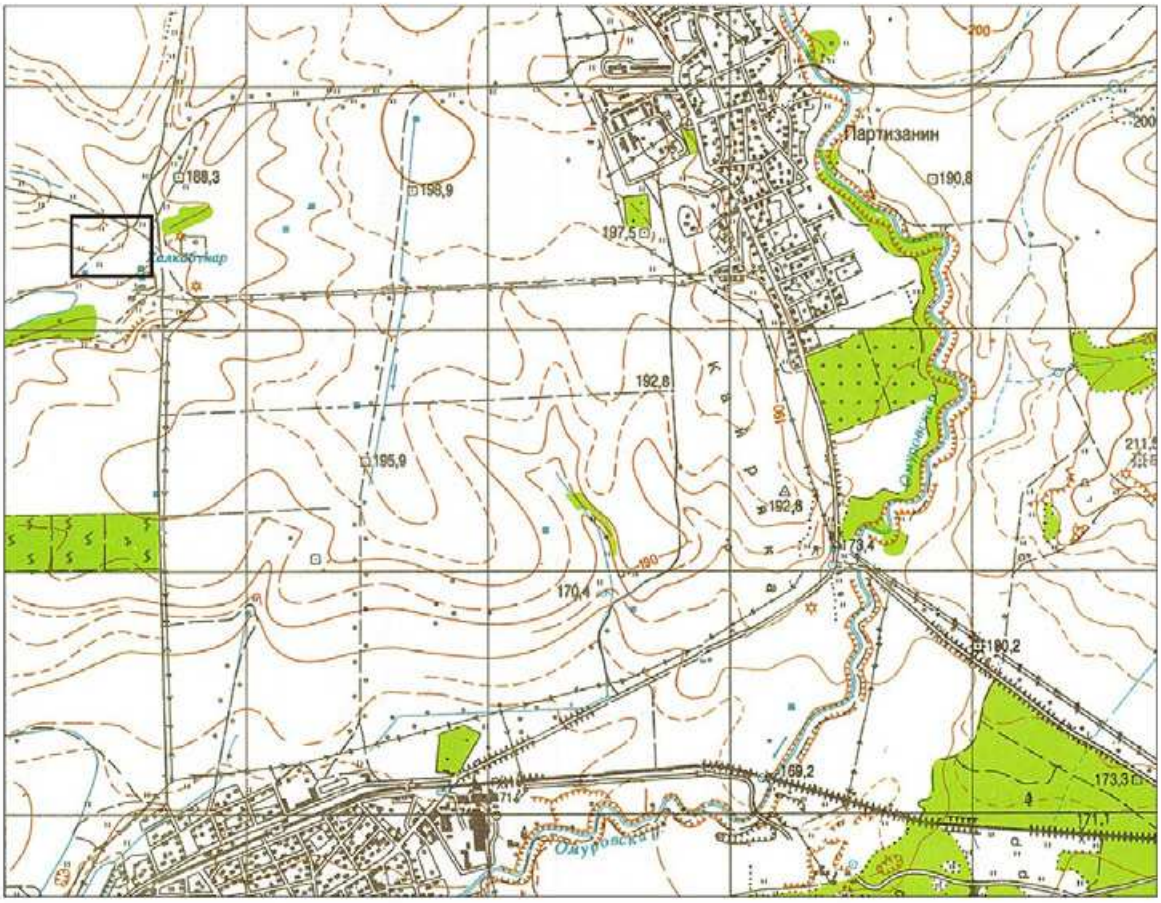
Zhou B., T. Dahlin 2003. Properties and effects of measurement errors on 2D resistivity imaging survey. – *Near Surface Geophysics*, 1, 3, 2003, 105-117.

Zickgraf B. 1999. *Geomagnetische un geoelectrische Prospektion in der Archaologie*. Verlag Marie Leidorf GmbH, Rahden/Westf, 1999.



Карта на разположението на коментираните в текста археологически обекти

а



М 1:30000

Карта на района на обекта при Халка бунар

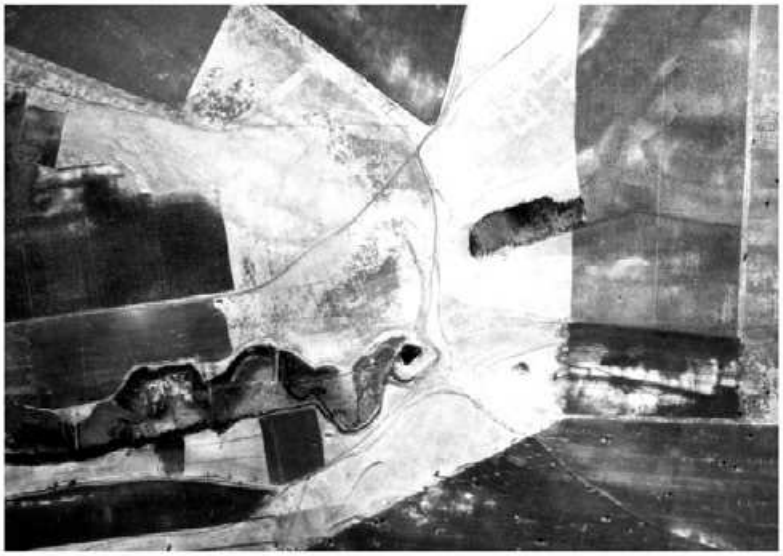
б



М 1:35000

Халка бунар. Аерофотоснимка на района на обекта от 1952 г.

а



М 1:11600

Аерофотоснимка на района на обекта от 1952 г.

б



М 1:8000

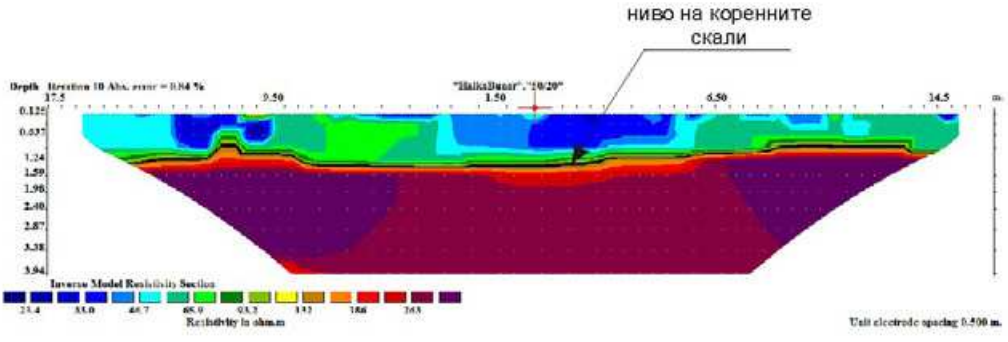
Аерофотоснимка на района на обекта от 1995 г.



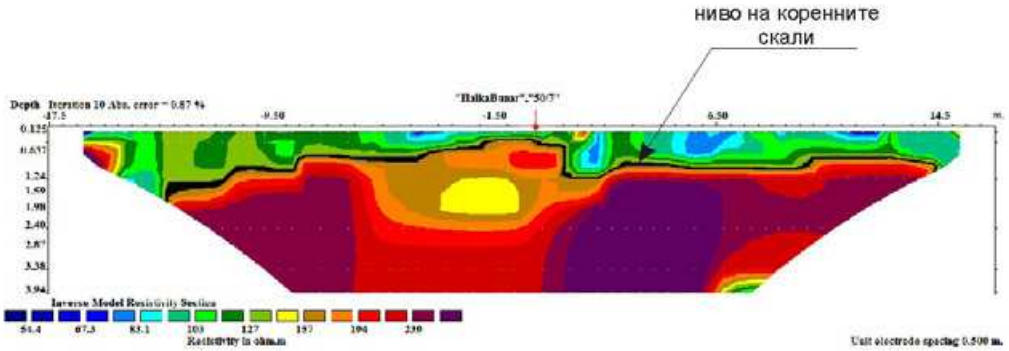
а

М 1:3000

Спътникова снимка на обекта при Халка бунар с нанесена план квадратната мрежа и първия заложен сондаж (сондаж 1)



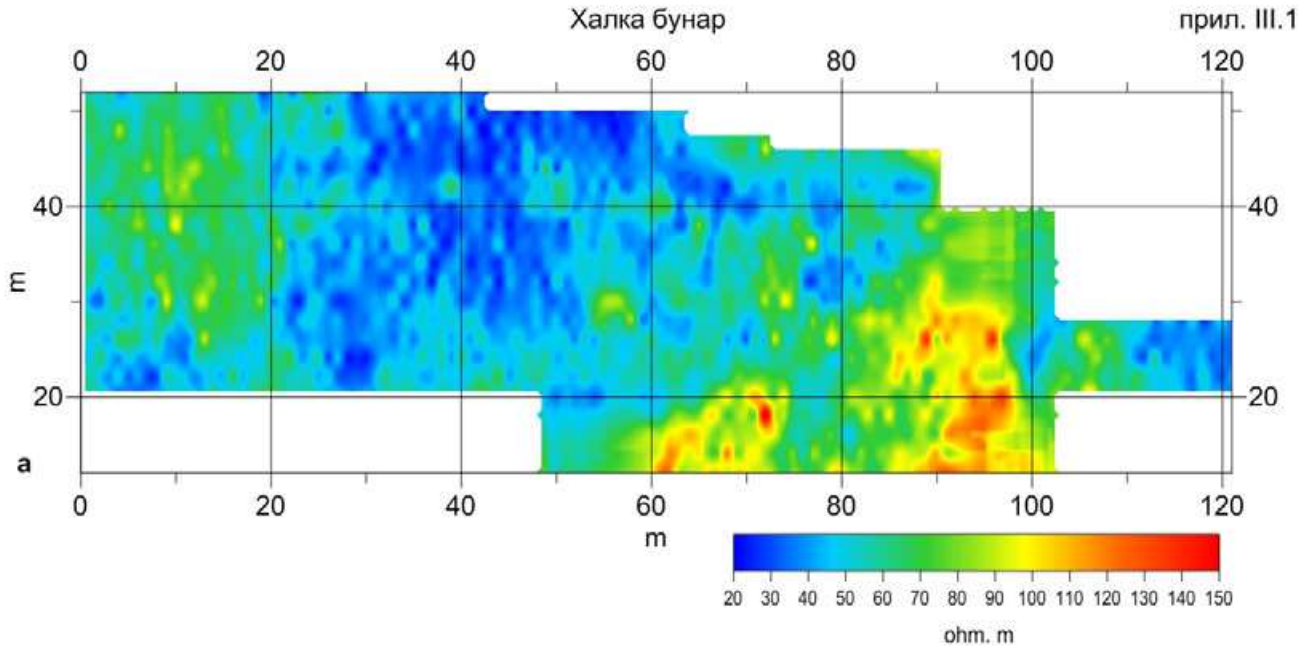
а



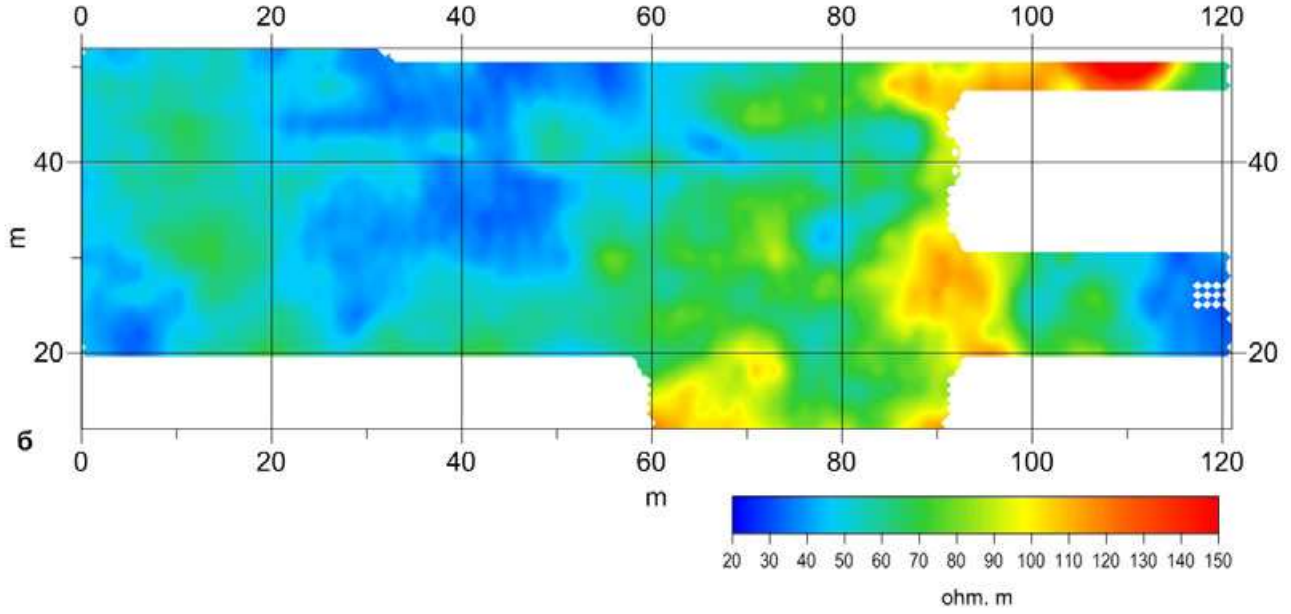
б

б

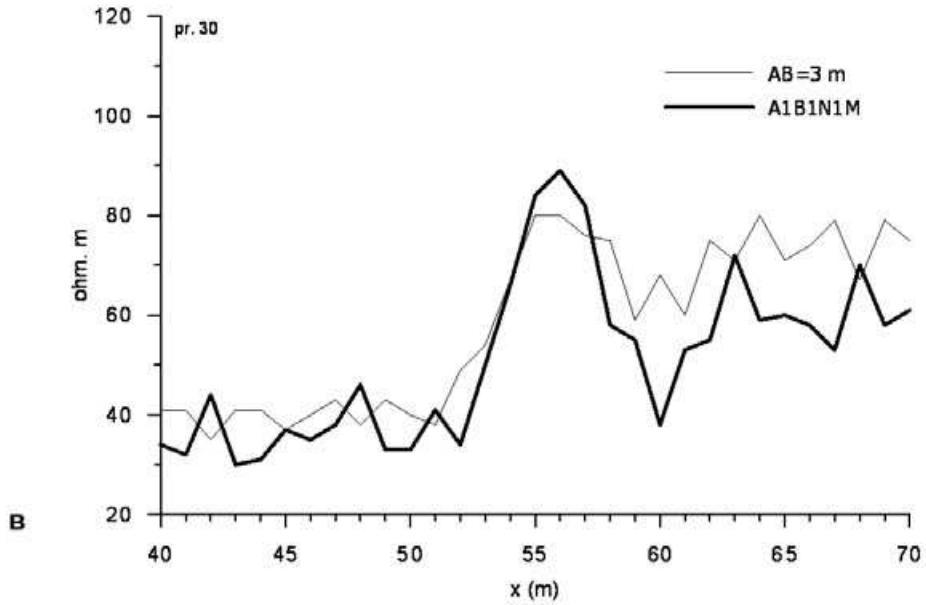
Резултати от двумерното електросъпротивително инверсионно моделиране по профили 50/20 и 50/7



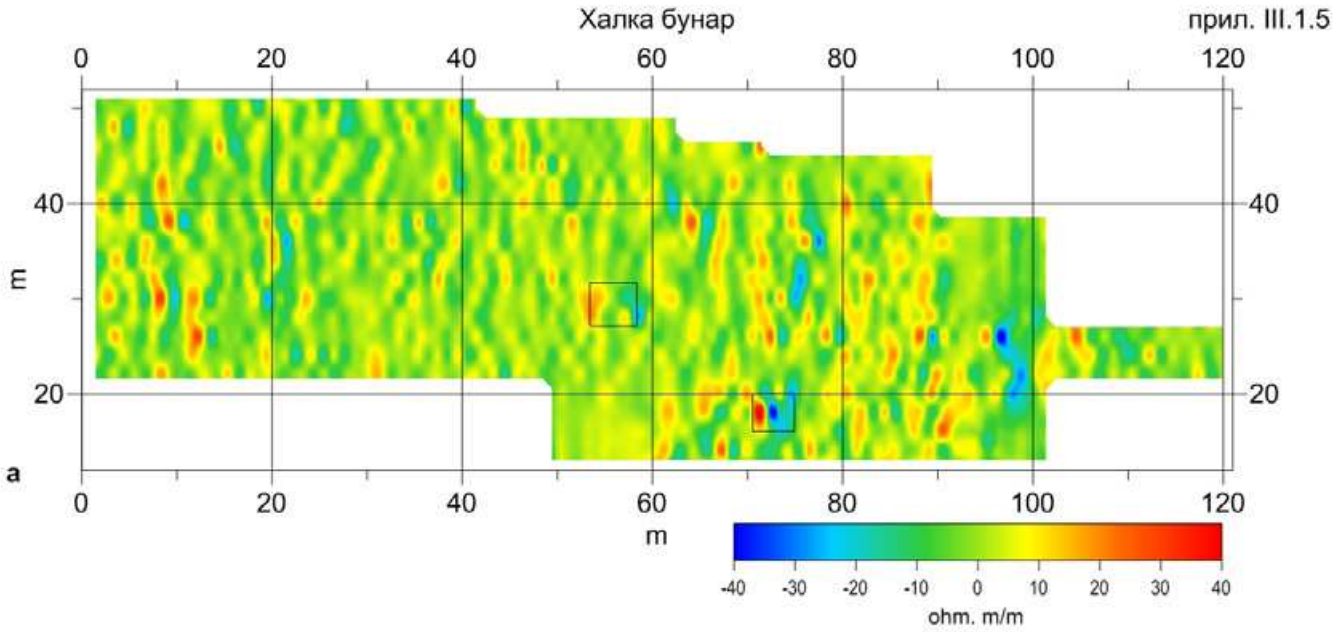
Карта на привидното електрическо съпротивление измерено с диполна схема



Карта на привидното електрическо съпротивление измерено със схема Венер

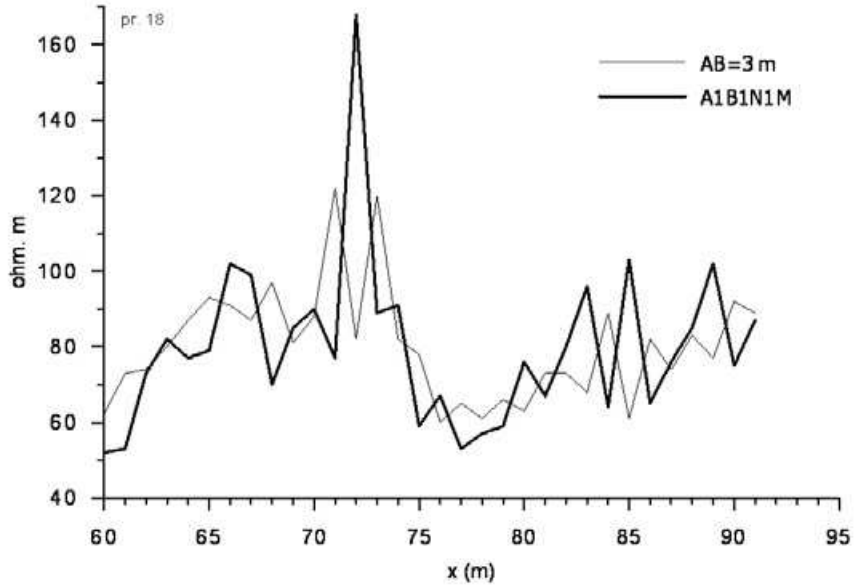


Криви на измереното привидно електрическо съпротивление над пепелната яма с координати 57/30



а

Карта на първата хоризонтална производна на привидното електрическо съпротивление измерено с диполна схема



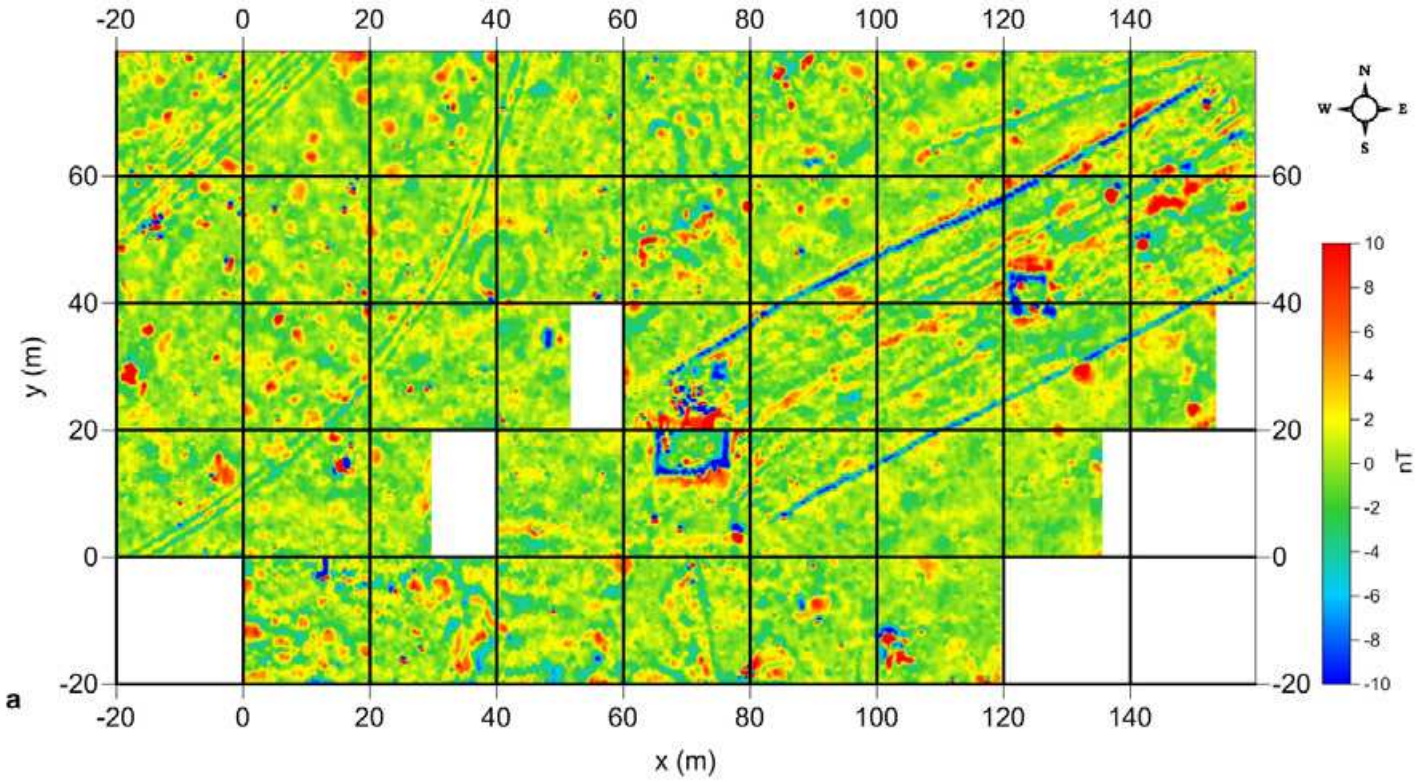
б

Криви на привидно съпротивление над пещ за керамика



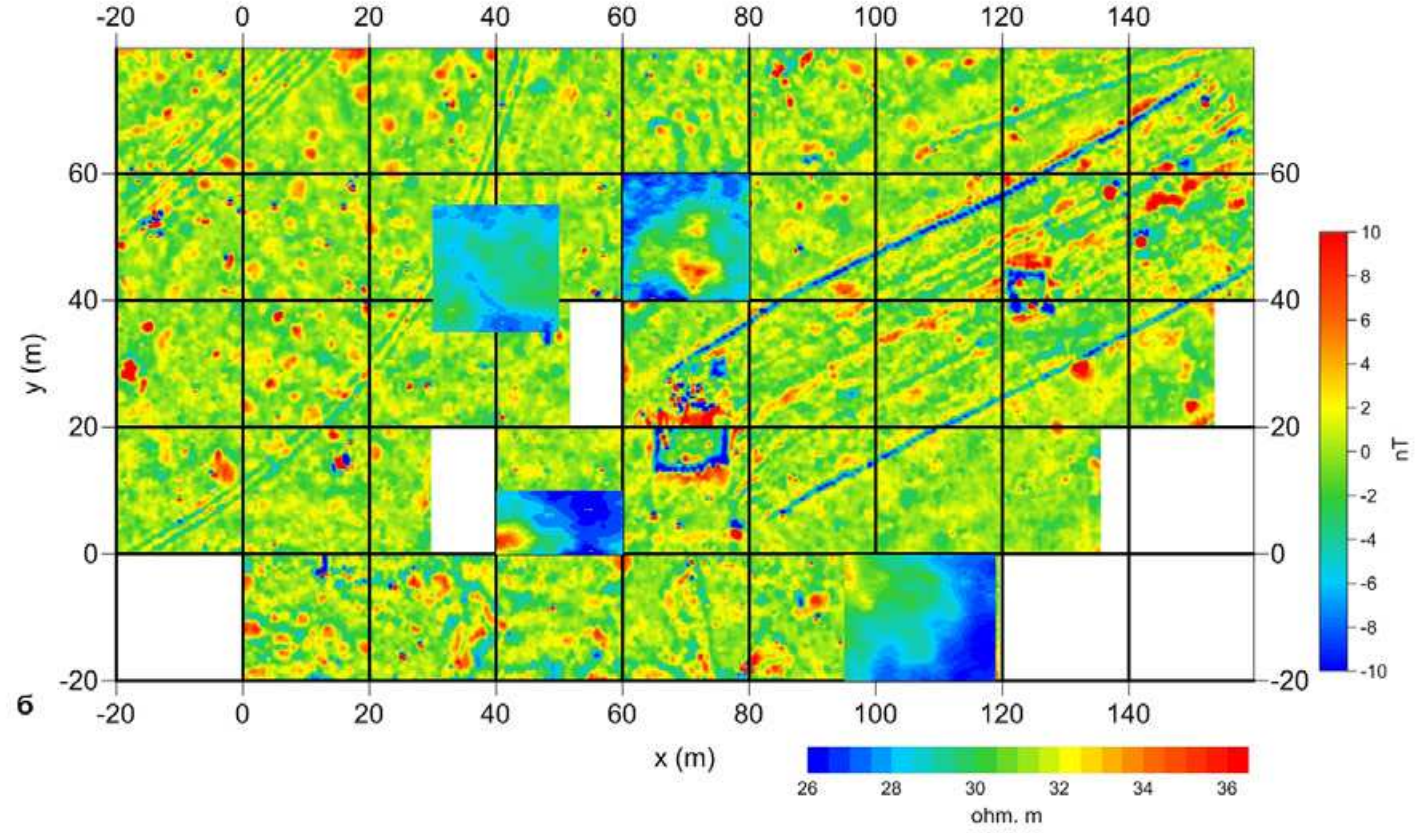
в

Разкритата пещ за керамика



а

Карта на вертикалния градиент на магнитното поле



б

Карта на вертикалния градиент на магнитното поле и електрическото съпротивление в секторите измерени с двуелектродна схема

а



Разкритата сграда в сектор I

б

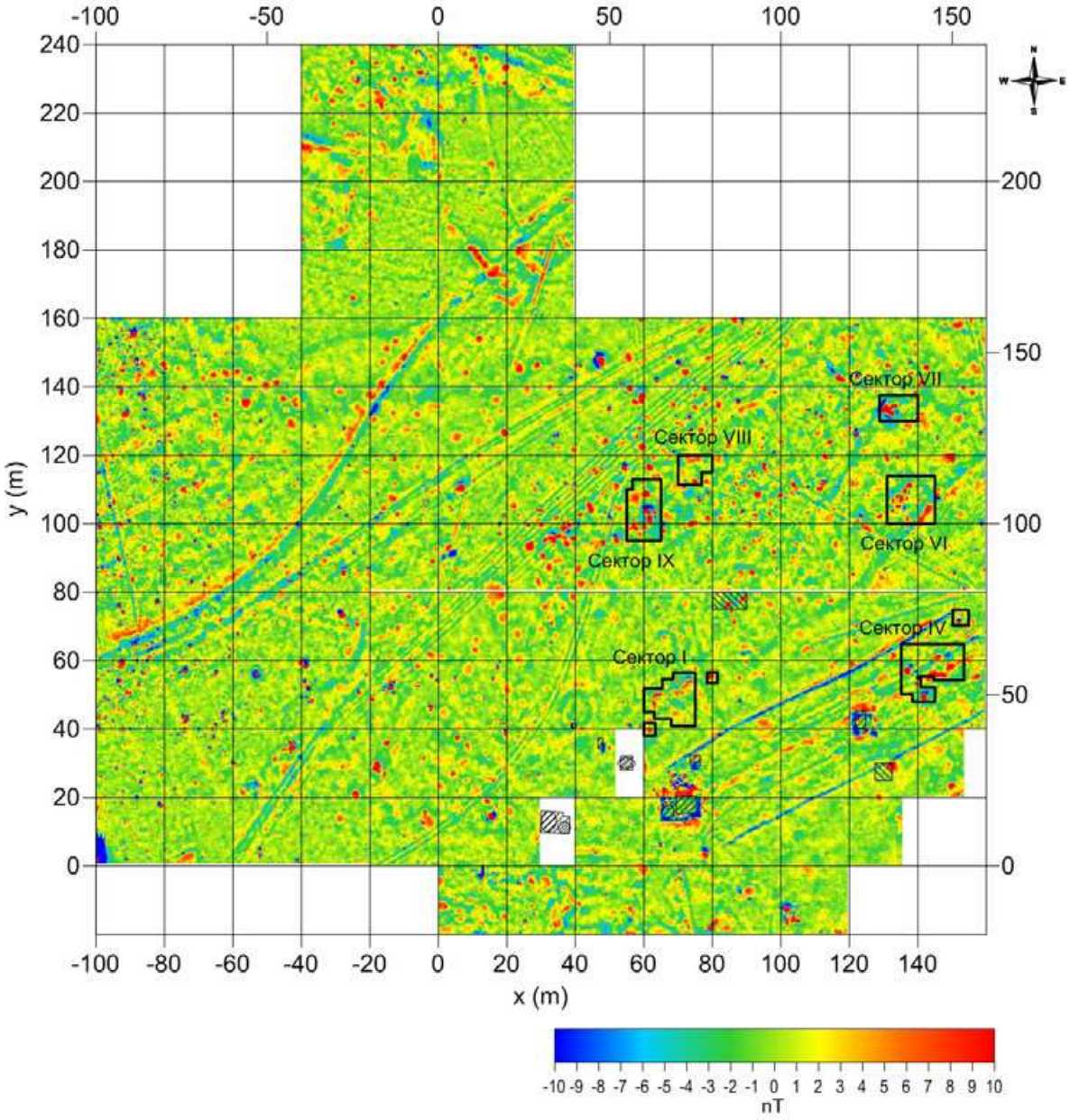


Разкрития на коренни скали

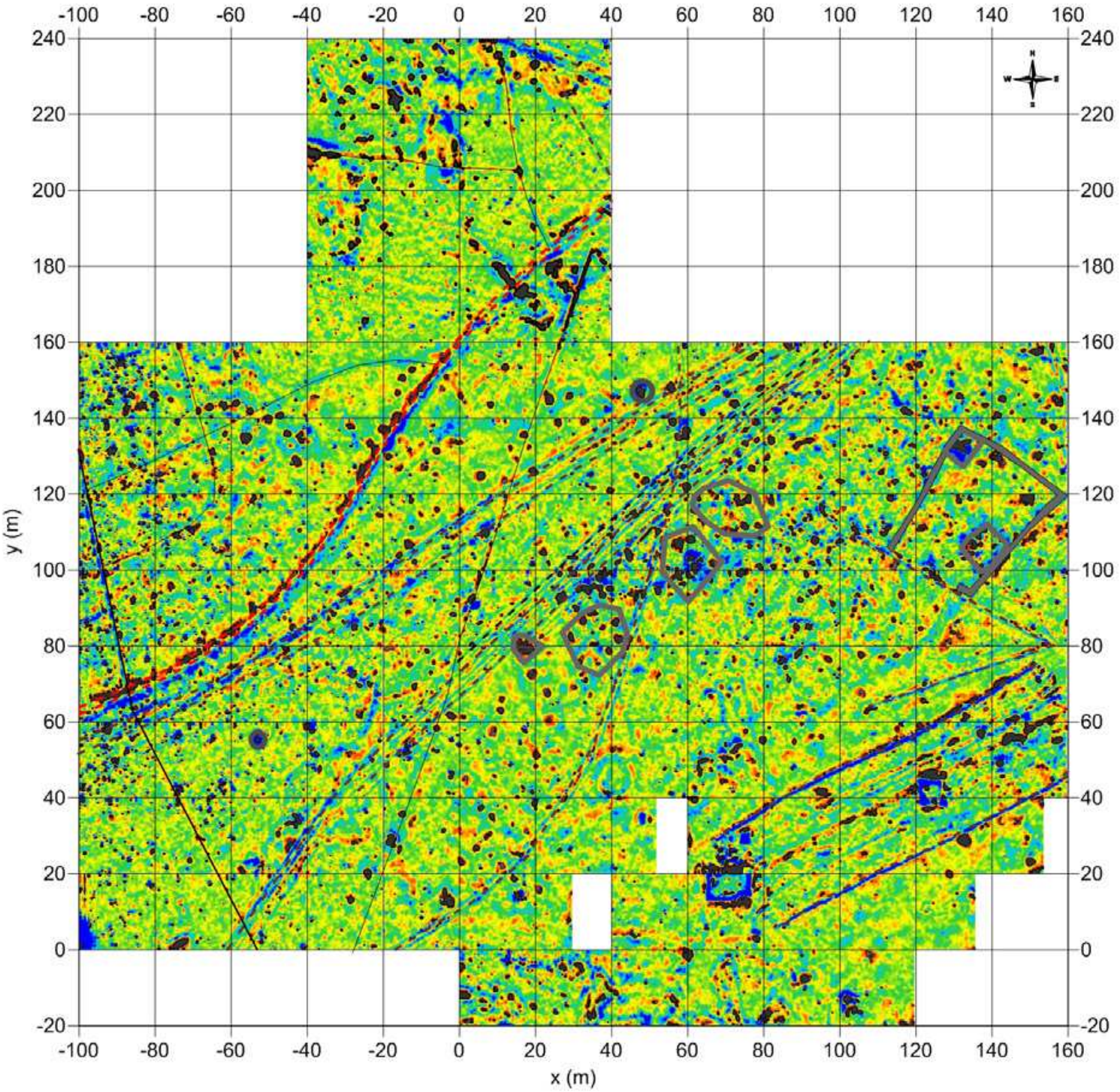
в



Яма с депонирани съдове



Карта на вертикалния градиент на магнитното поле с нанесени местата на проучваните с разкопки сектори



вероятни археологически структури

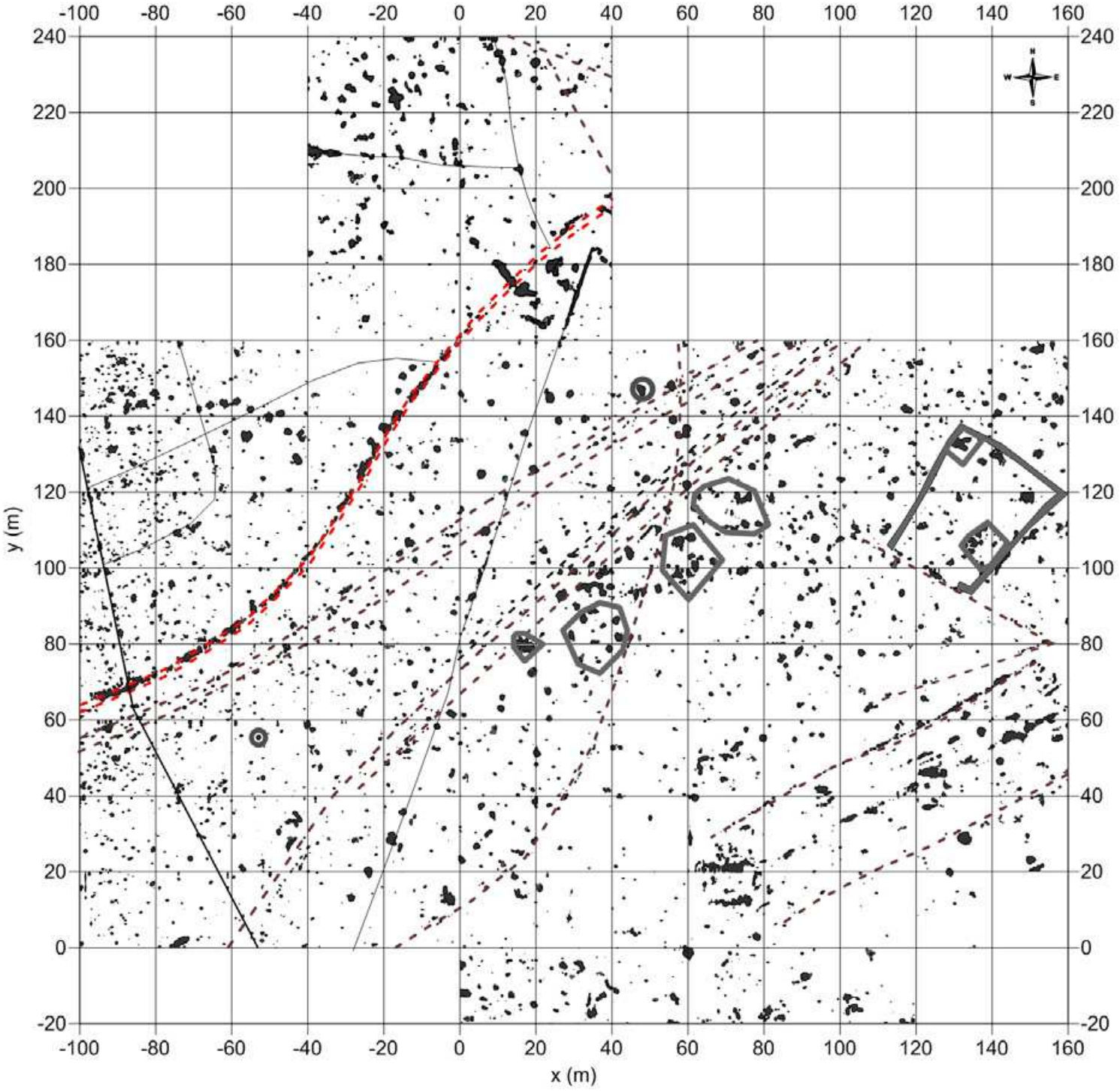
перспективни участъци
с археологически структури

синори или канали

линейни коренни скали

черни пътища и изкопи

Интерпретация на резултатите от геомагнитното проучване



вероятни археологически структури

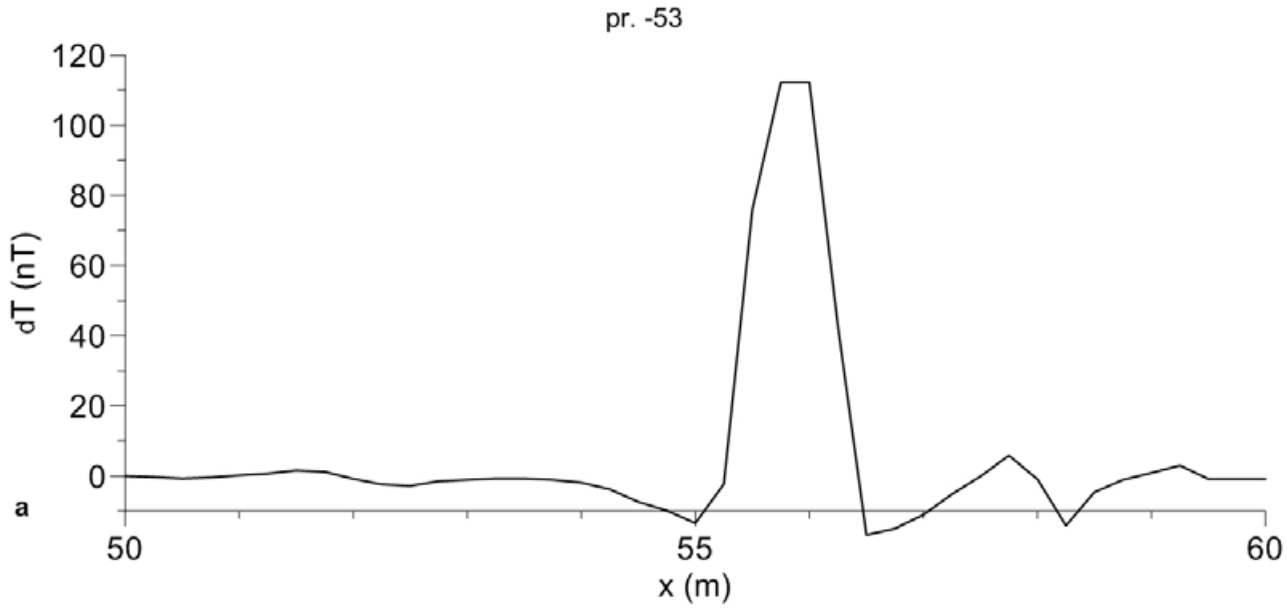
перспективни участъци
с археологически структури

синори или канали

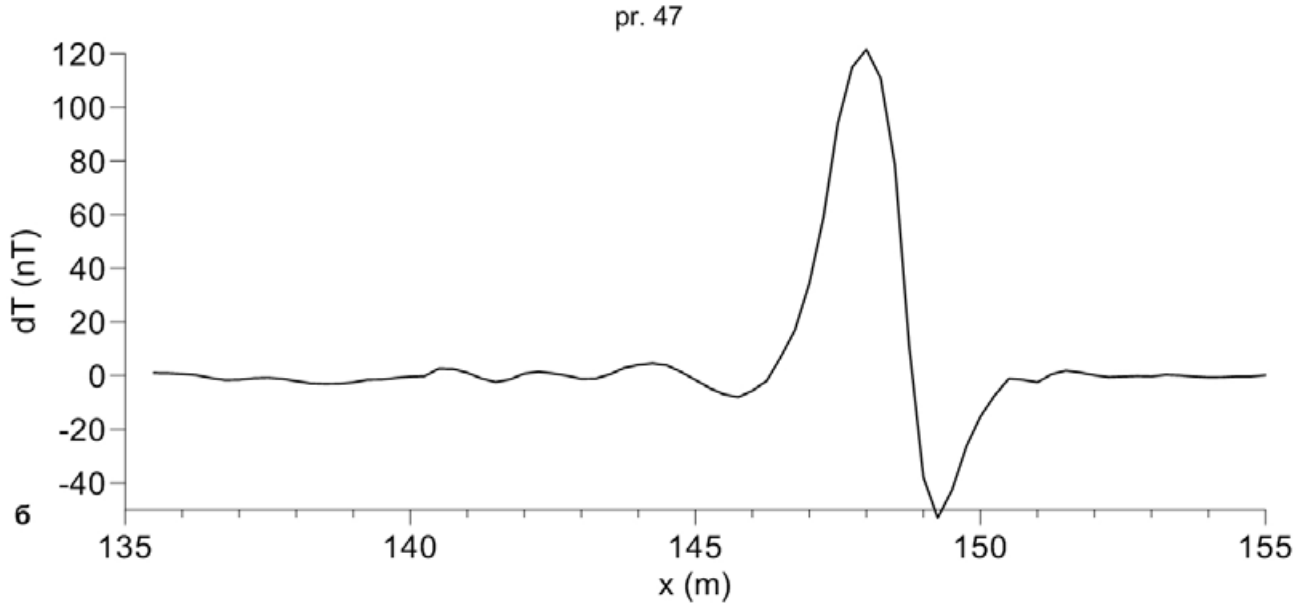
линейни коренни скали

черни пътища и изкопи

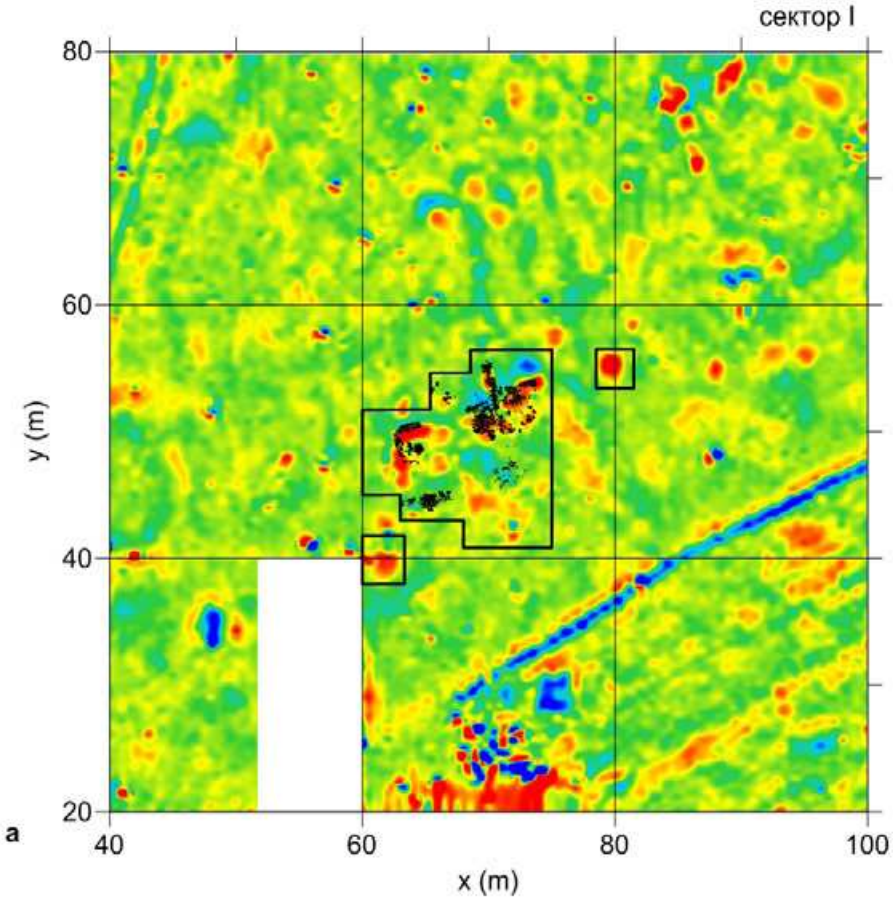
Интерпретация на резултатите от геомагнитното проучване



Крива на магнитното поле над вероятна пещ за керамика в кв. -60/40

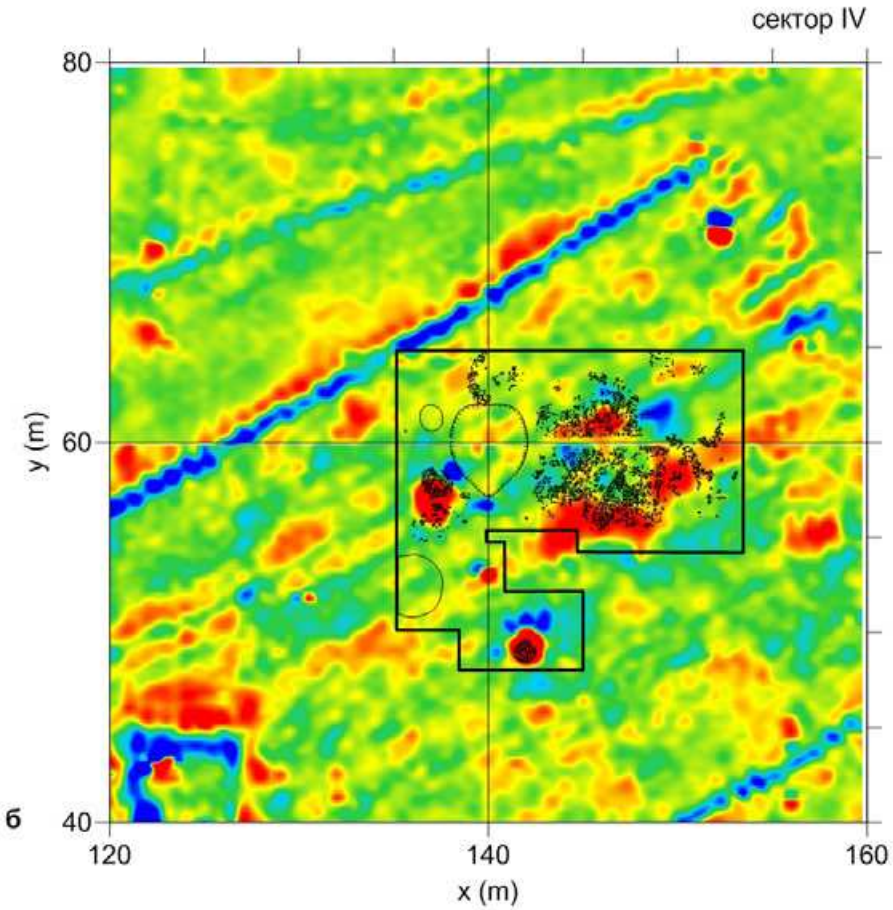


Крива на магнитното поле над вероятна пещ за керамика в кв.40/140



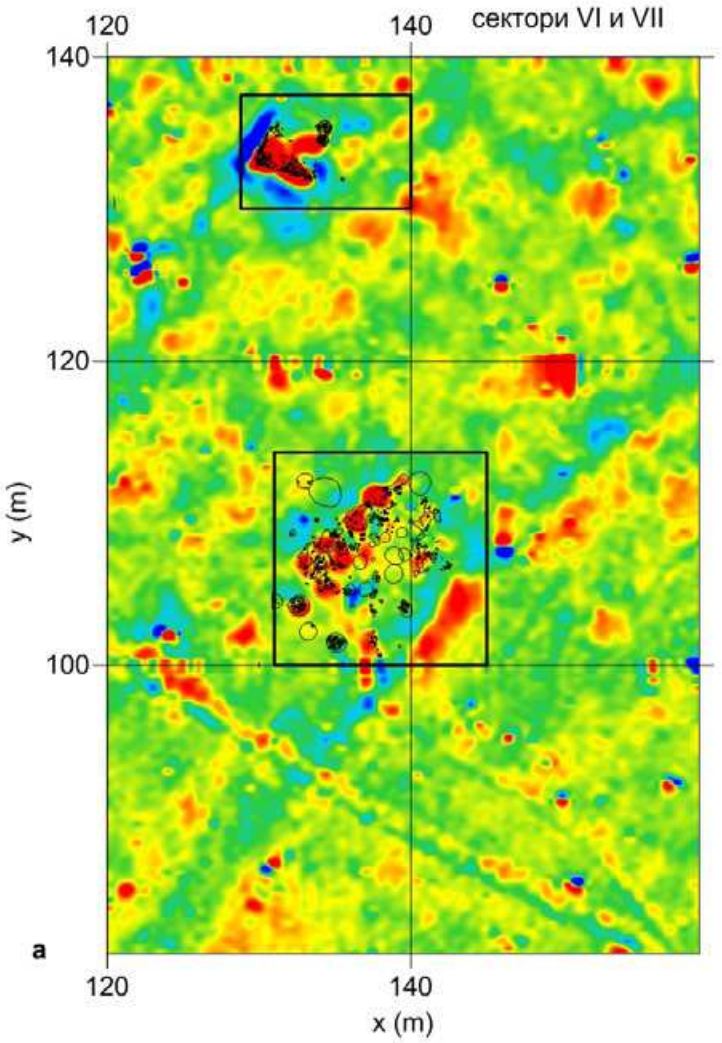
а

Сравнение между регистрираните магнитни аномалии
и резултатите от археологическите разкопки в сектор I

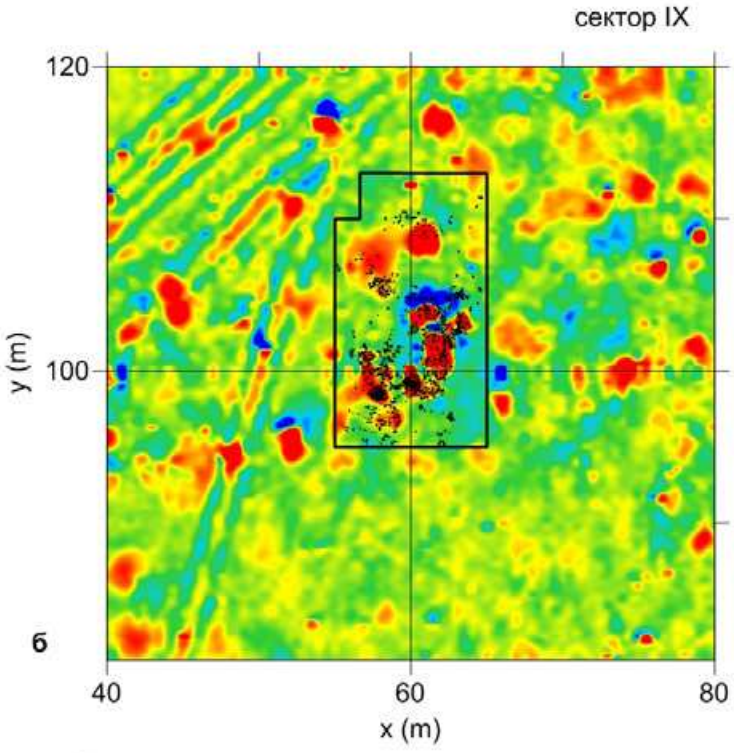


б

Сравнение между регистрираните магнитни аномалии
и резултатите от археологическите разкопки в сектор IV



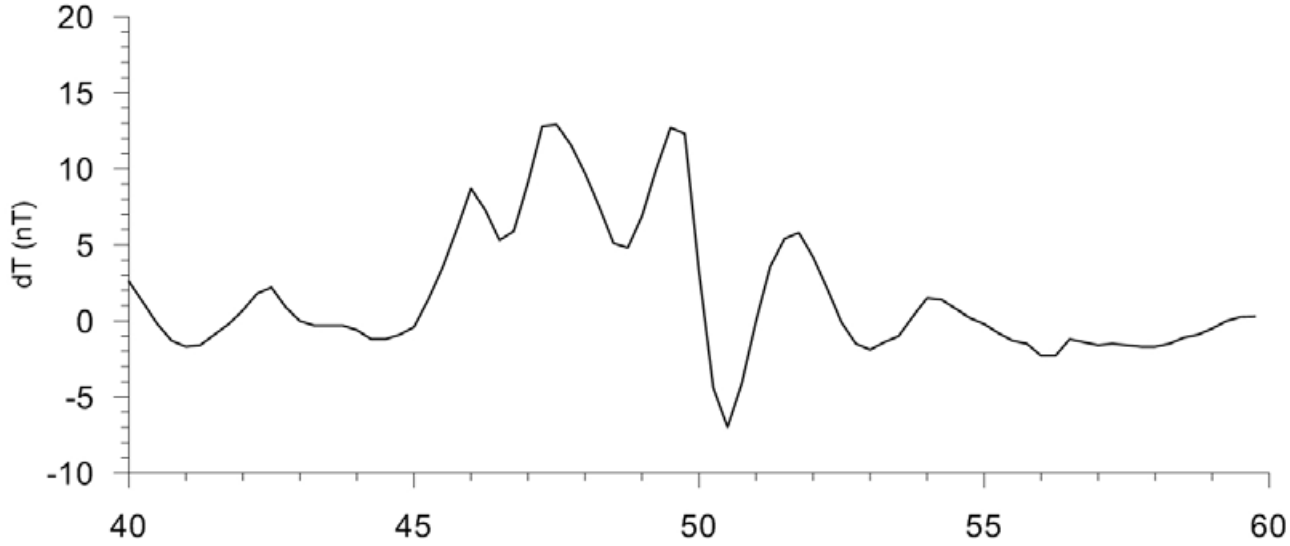
Сравнение между регистрираните магнитни аномалии
и резултатите от археологическите разкопки в сектори VI и VII



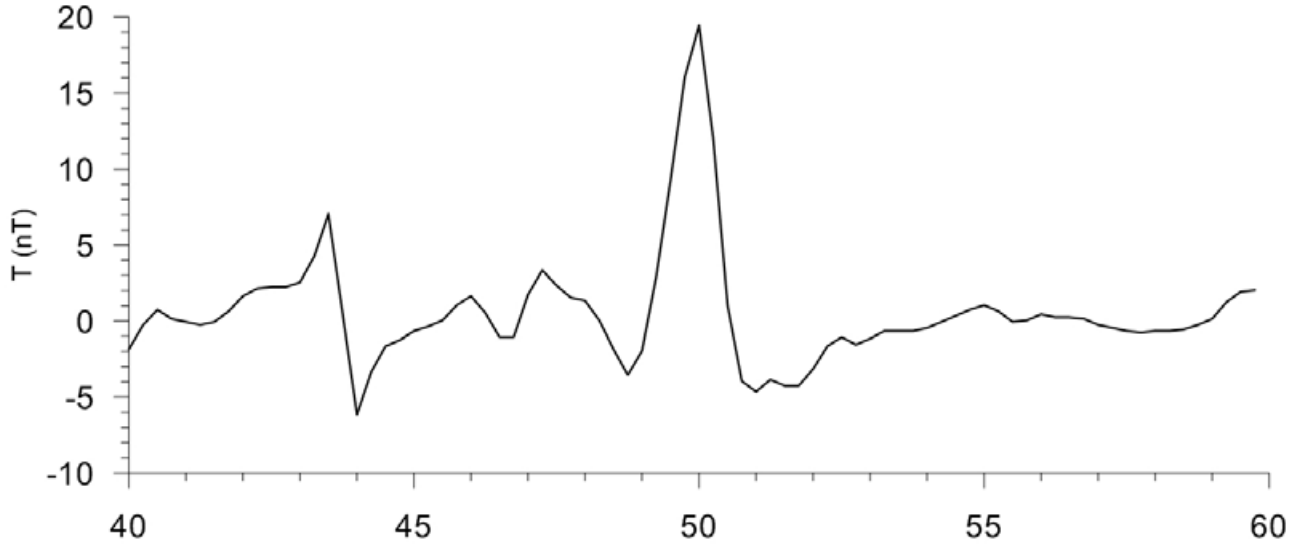
Сравнение между регистрираните магнитни аномалии
и резултатите от археологическите разкопки в сектор IX

Сектор I

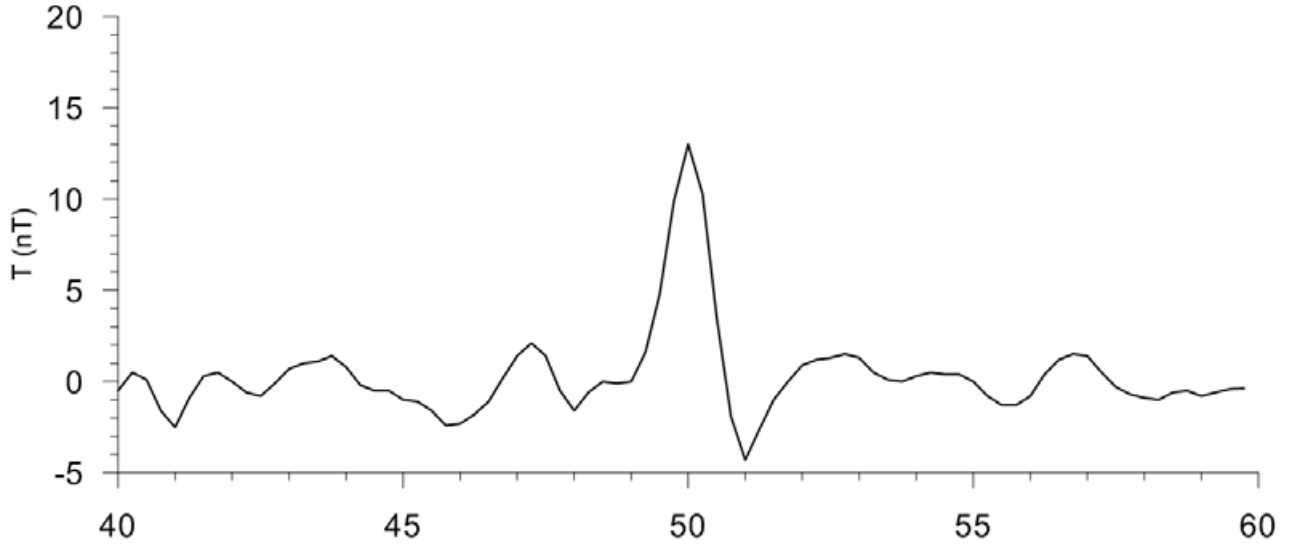
pr. 63



pr. 64



pr. 65

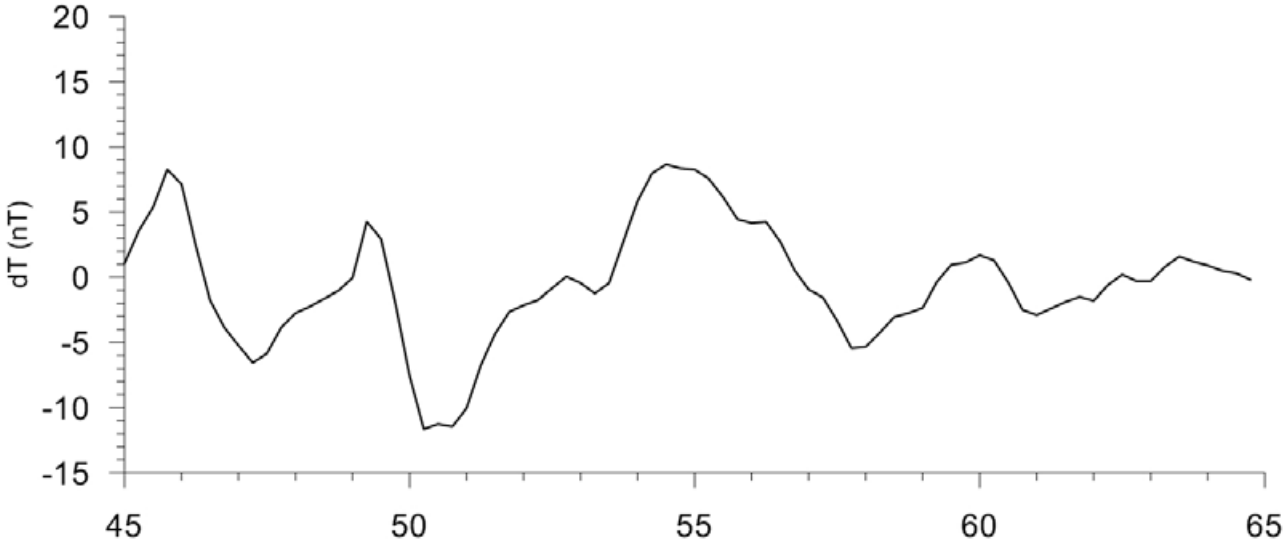


Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над елинистическата сграда в сектор I

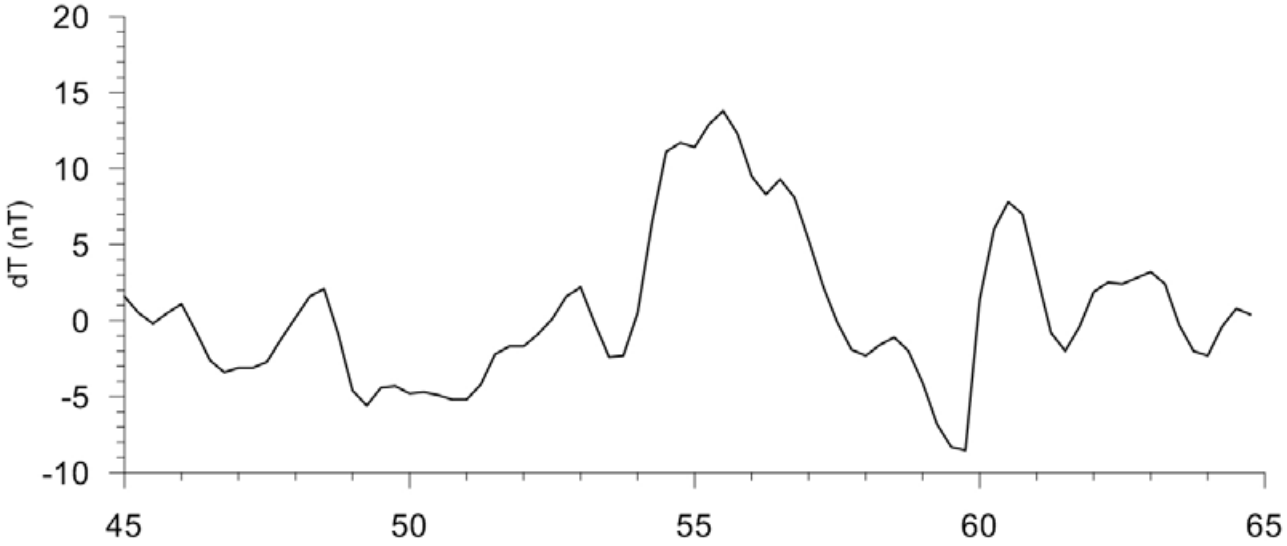
Халка бунар

Сектор IV

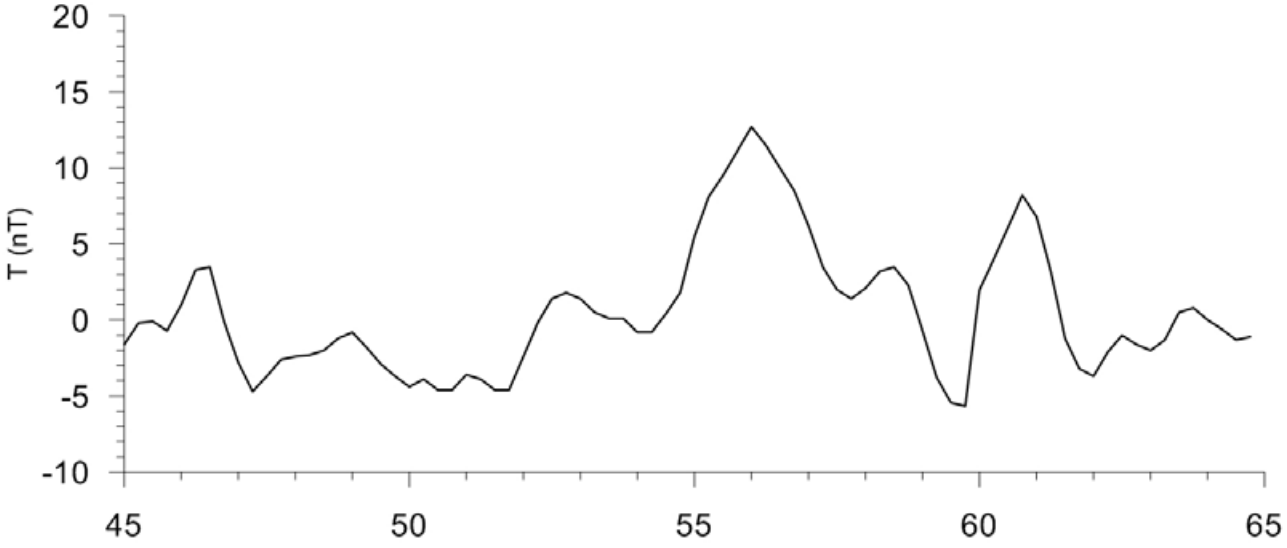
pr. 143



pr. 144

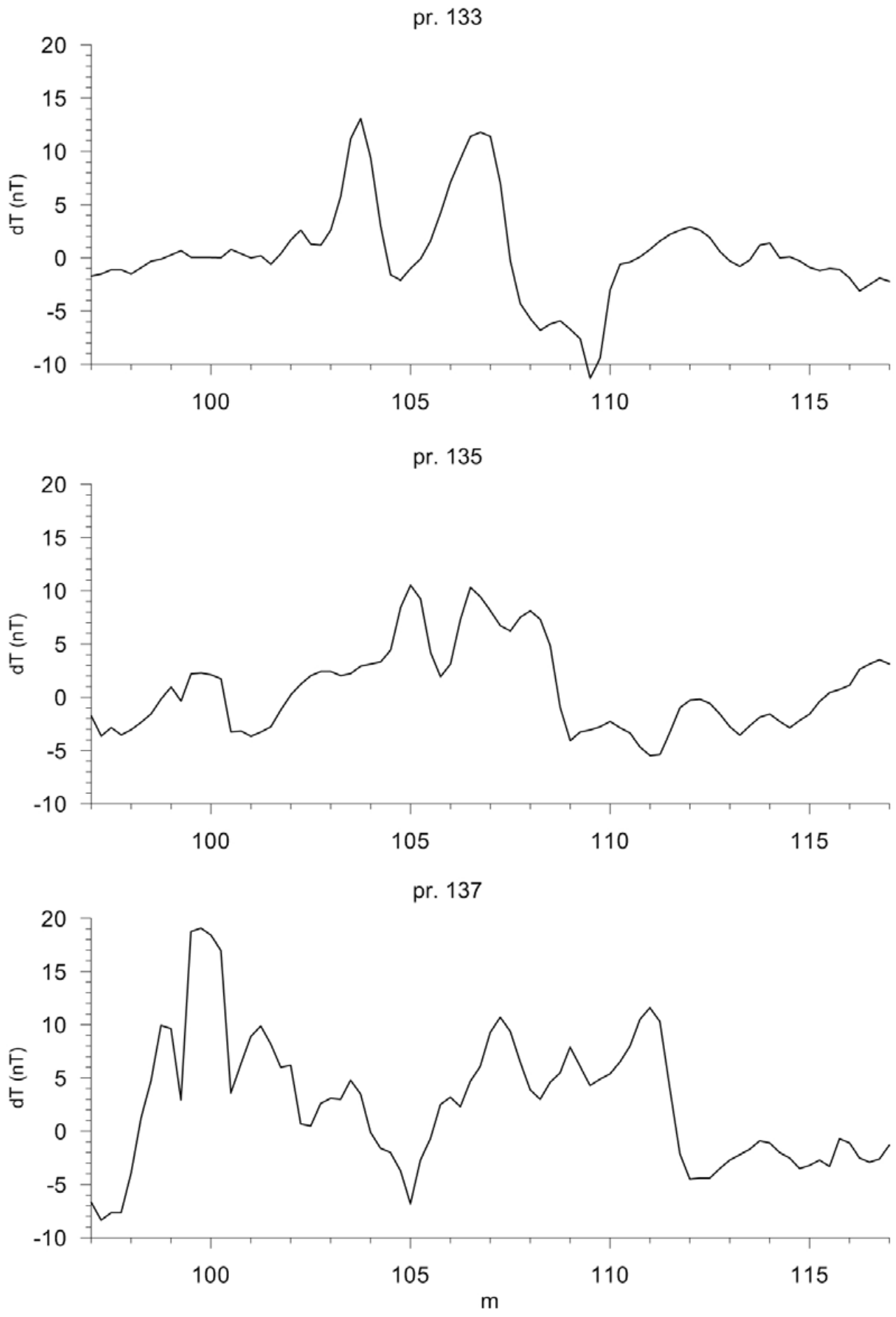


pr. 145



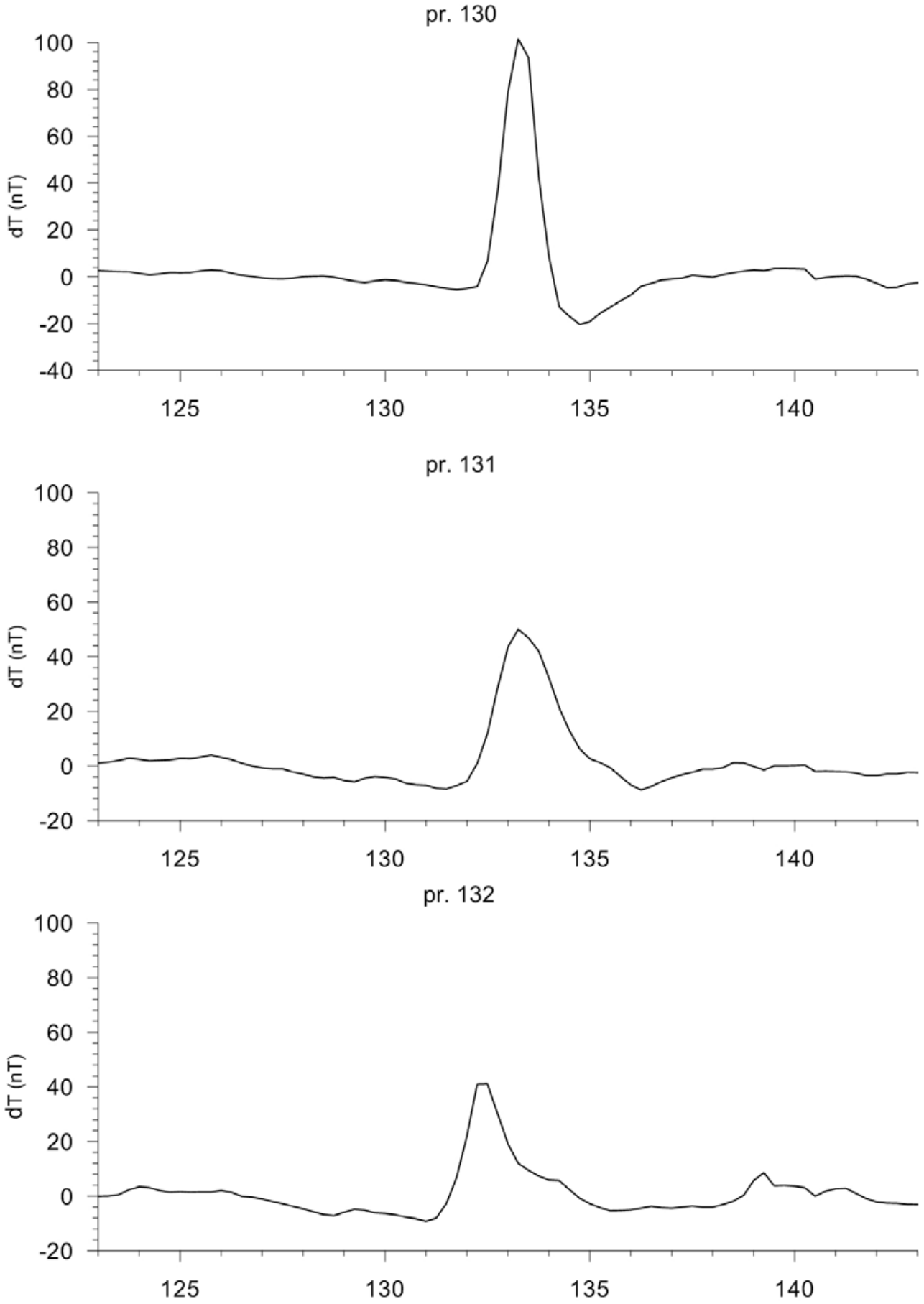
Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над неолитната сграда в сектор IV

Сектор VI

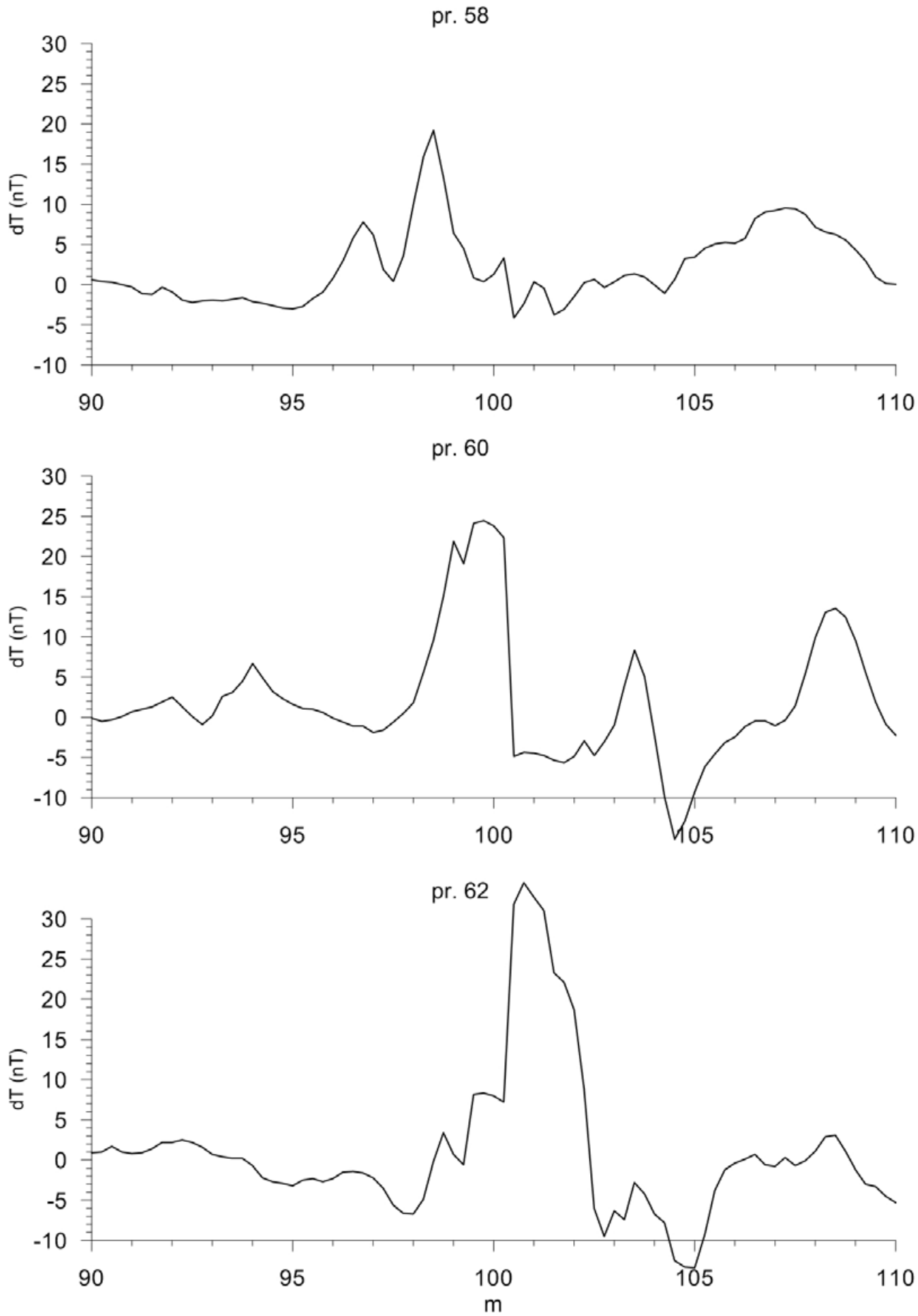


Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над неолитната сграда в сектор VI

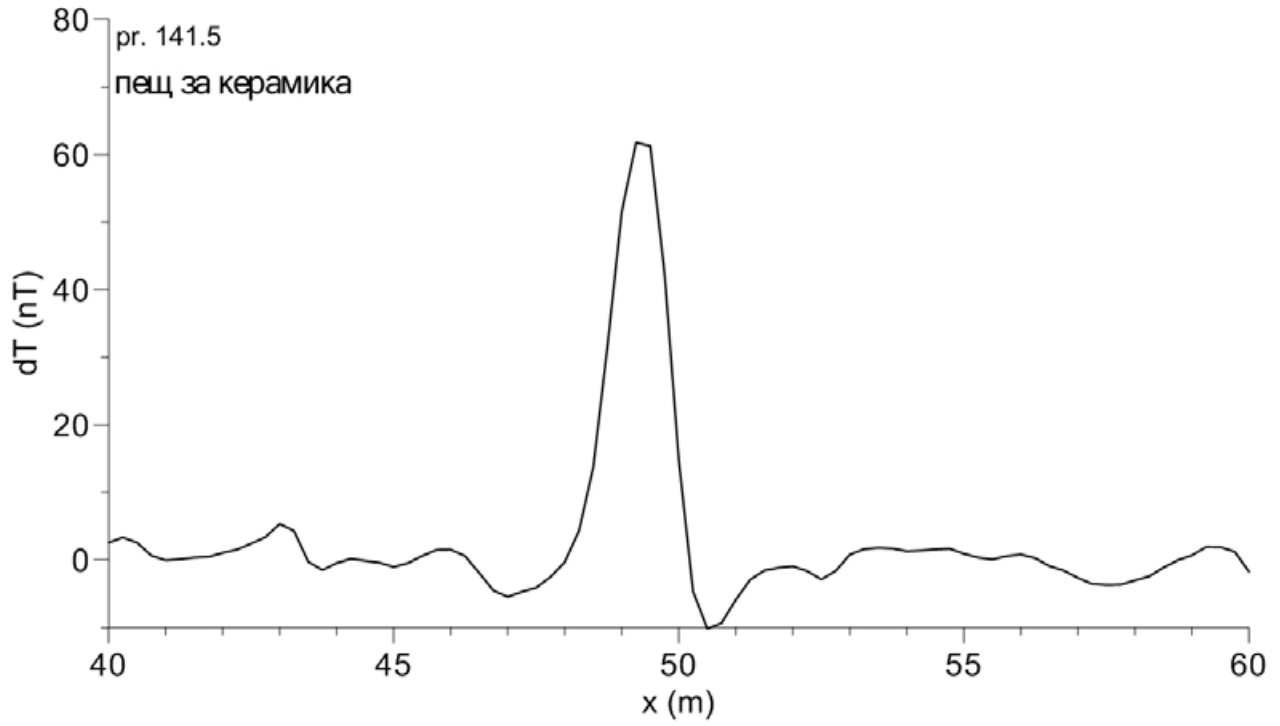
Сектор VII

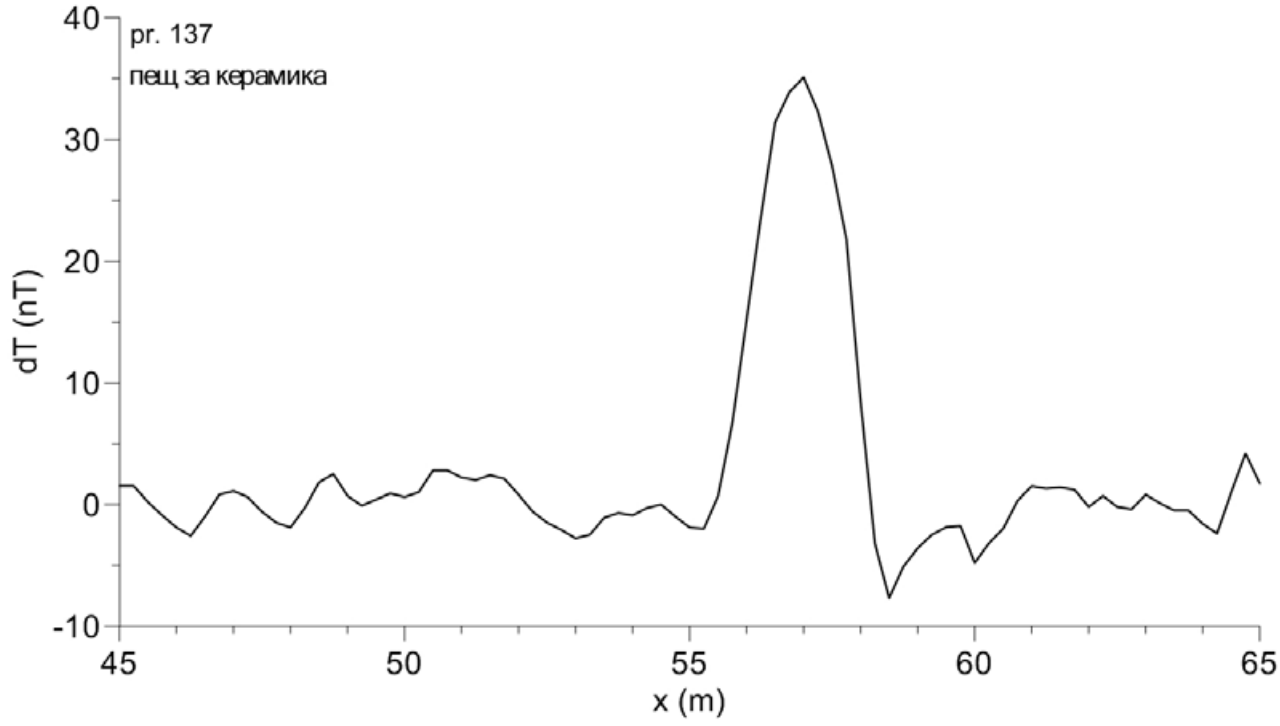


Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над елинистическата сграда в сектор VII

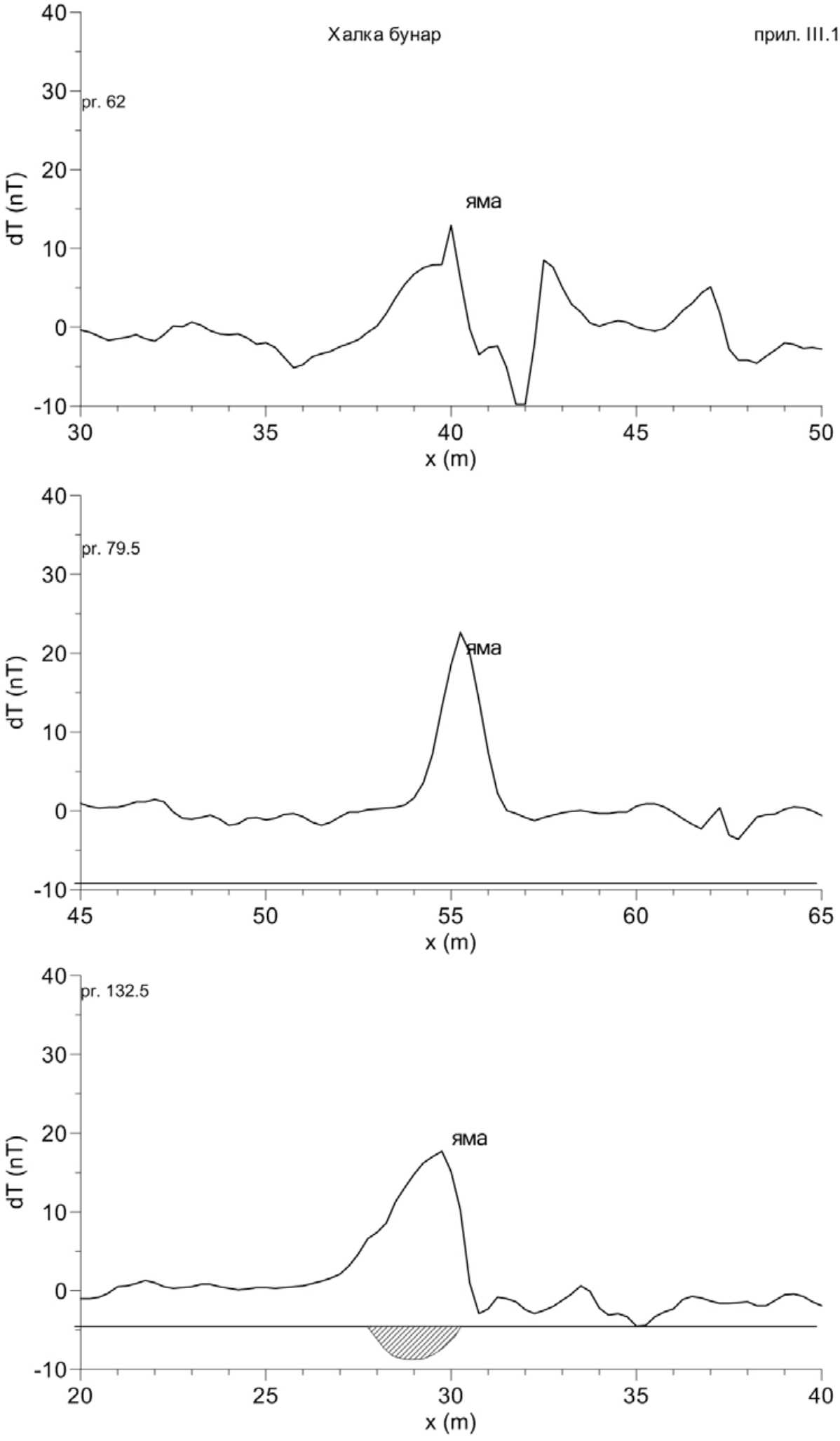


Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над елинистическата сграда в сектор IX

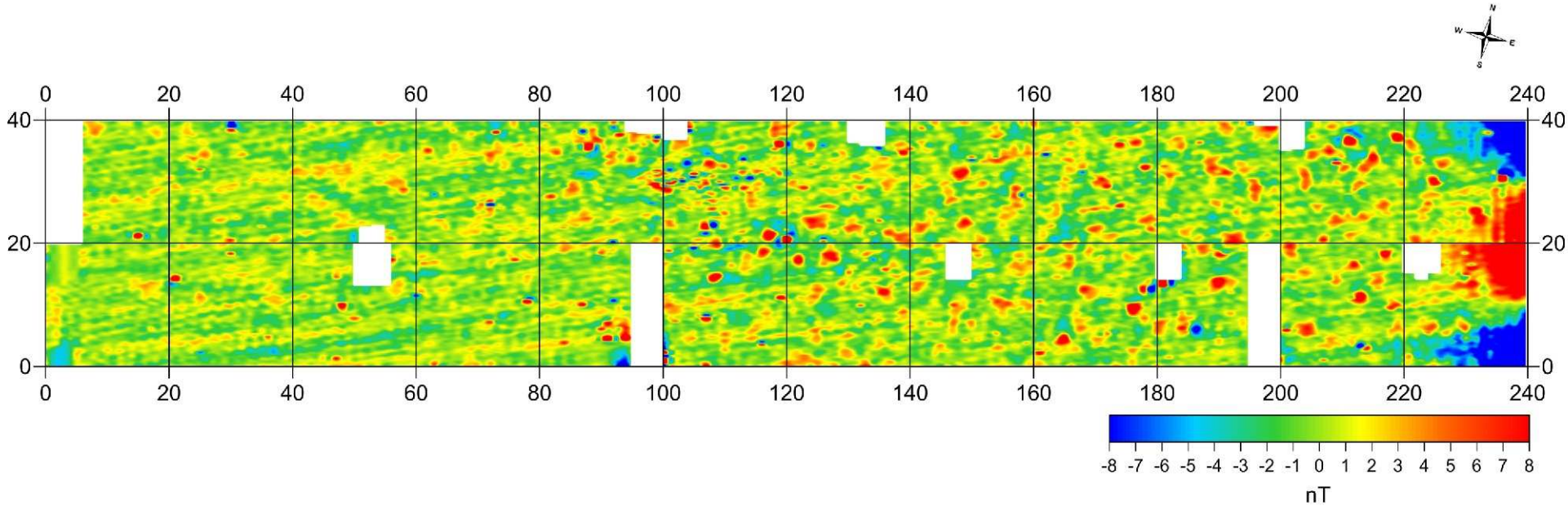




Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над елинистически пещи за керамика

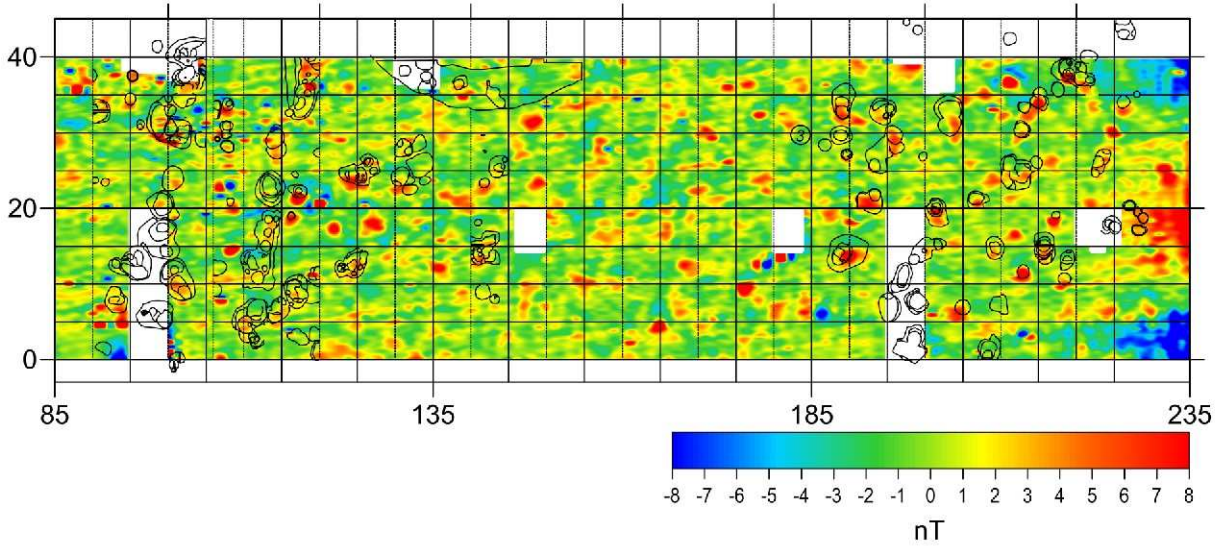


Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над късножелезни ями



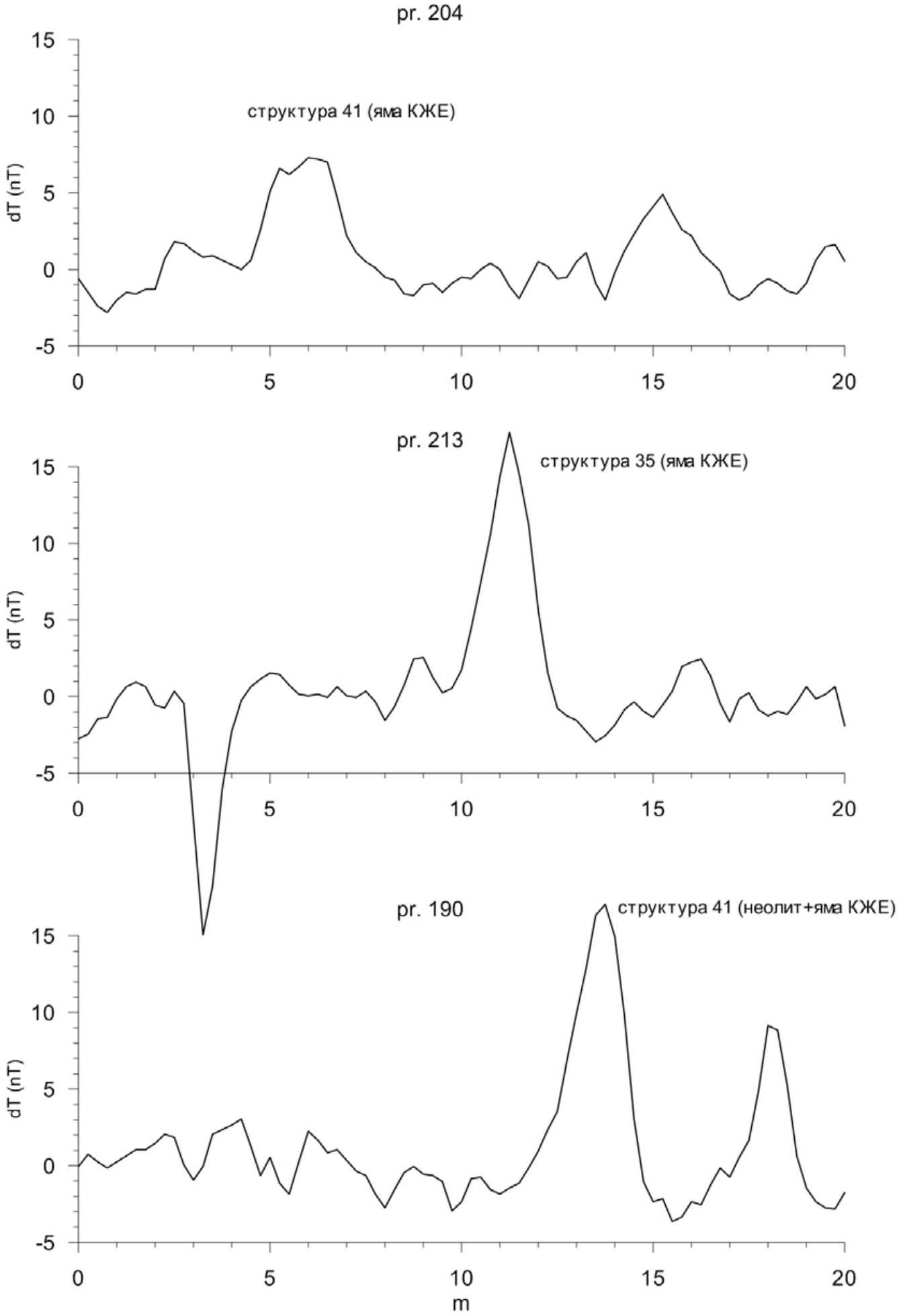
а

Сърнево. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле от измерванията в рамките на сервитута на магистралата (сектор 1)

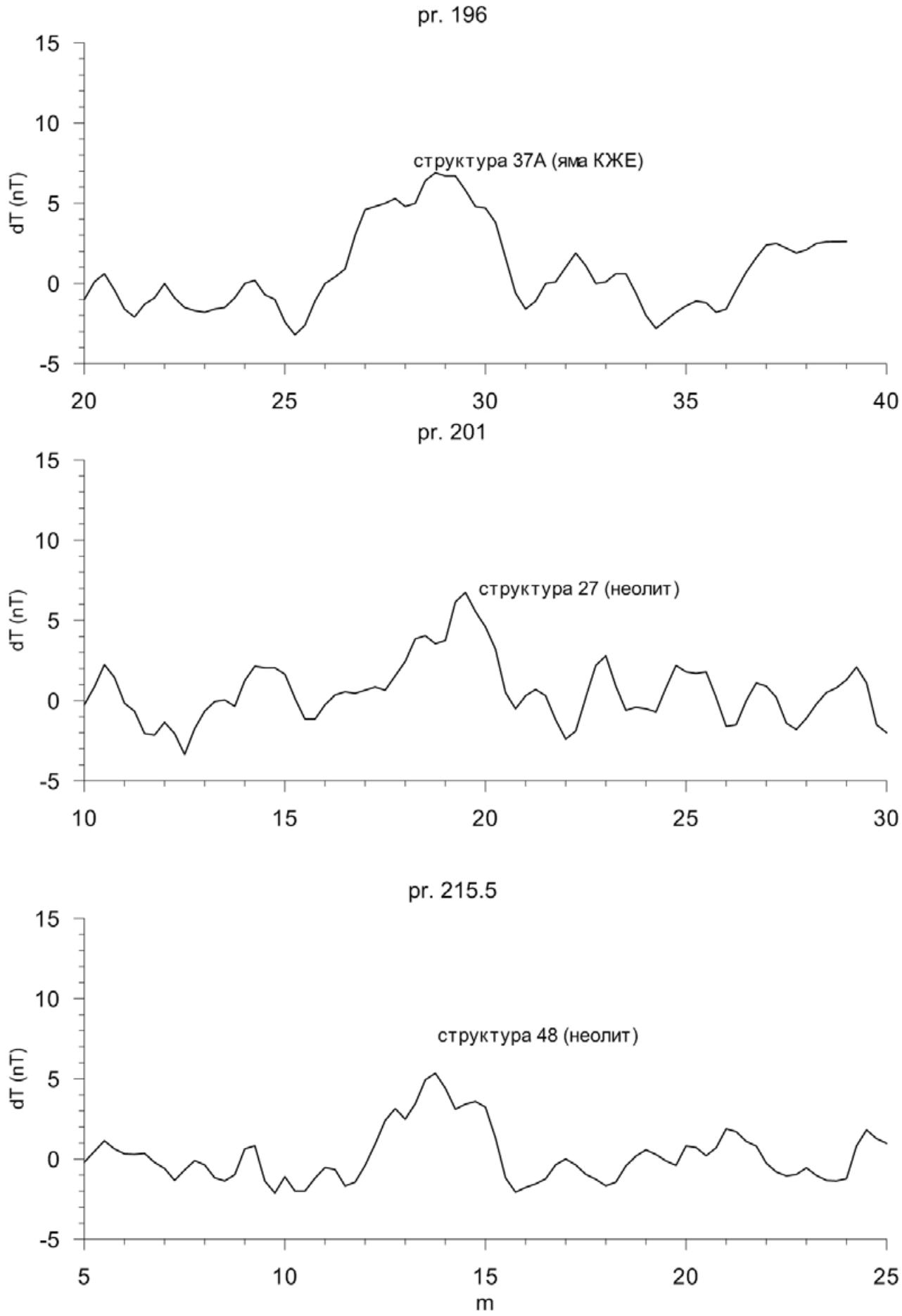


б

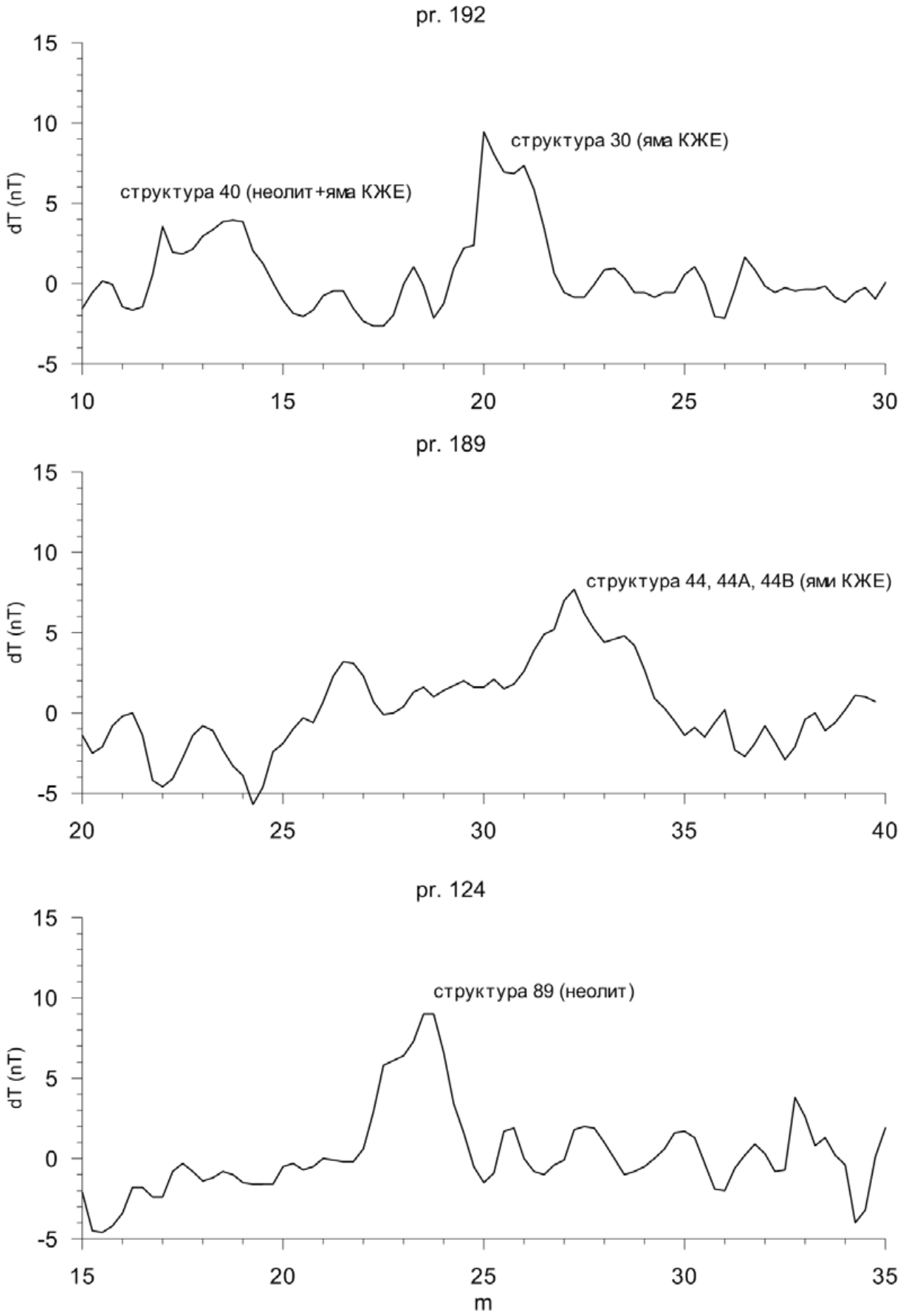
Сравнение между магнитните аномалии и разкритите археологически структури



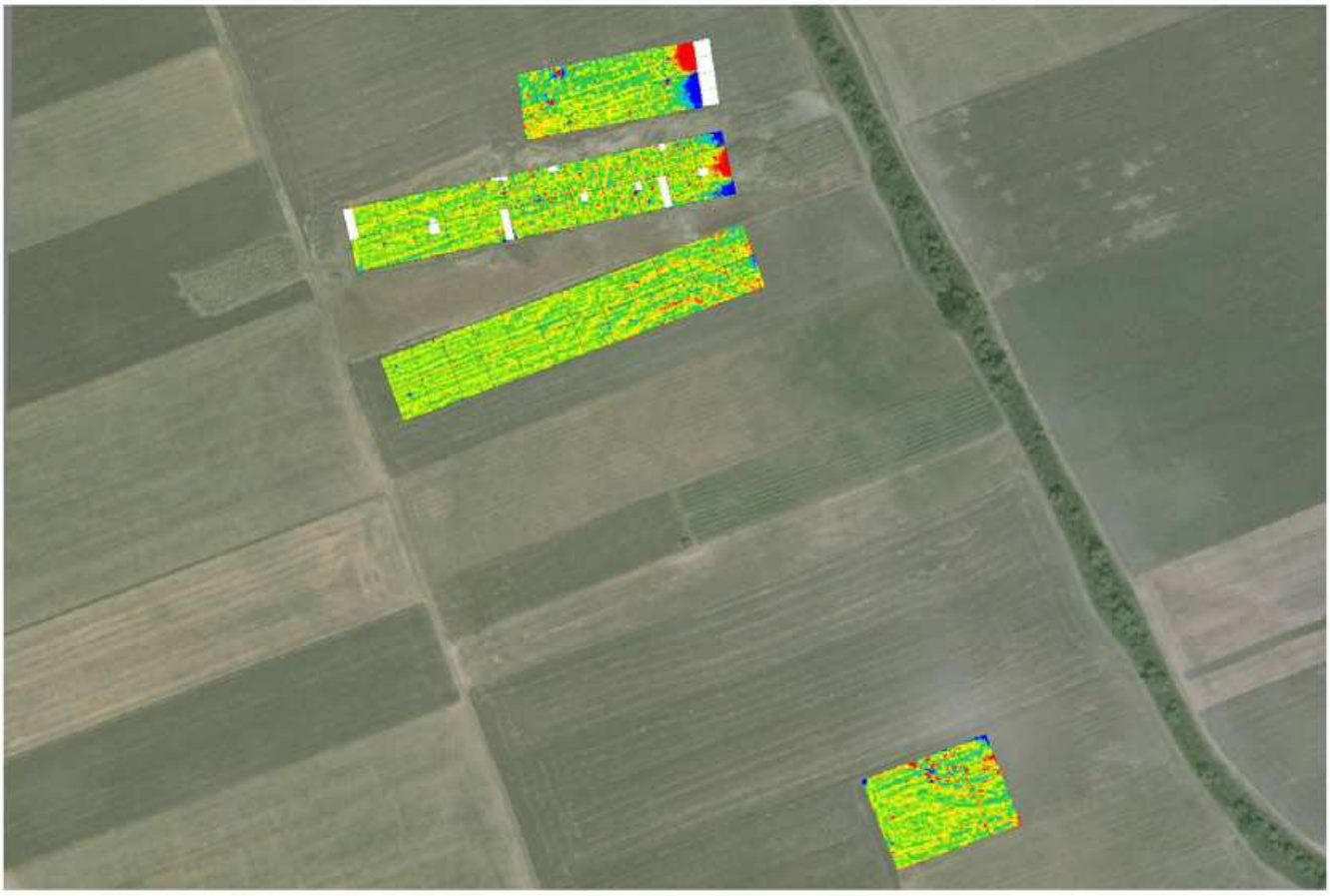
Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над някои от разкритите археологически структури



Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над някои от разкритите археологически структури

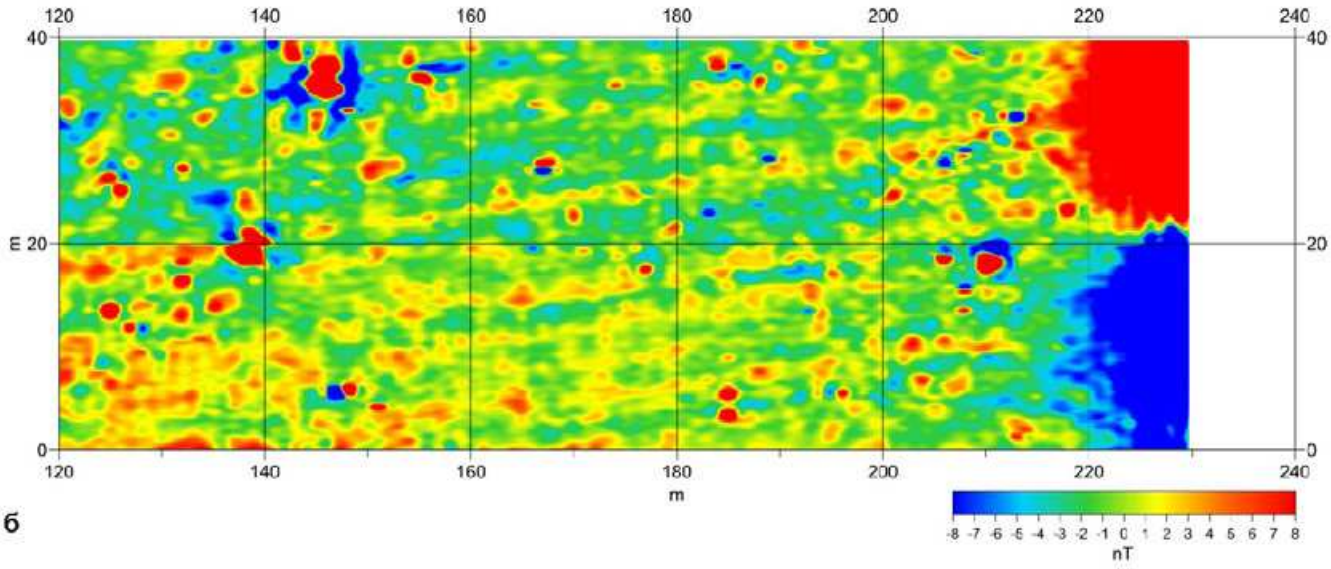


Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над някои от разкритите археологически структури



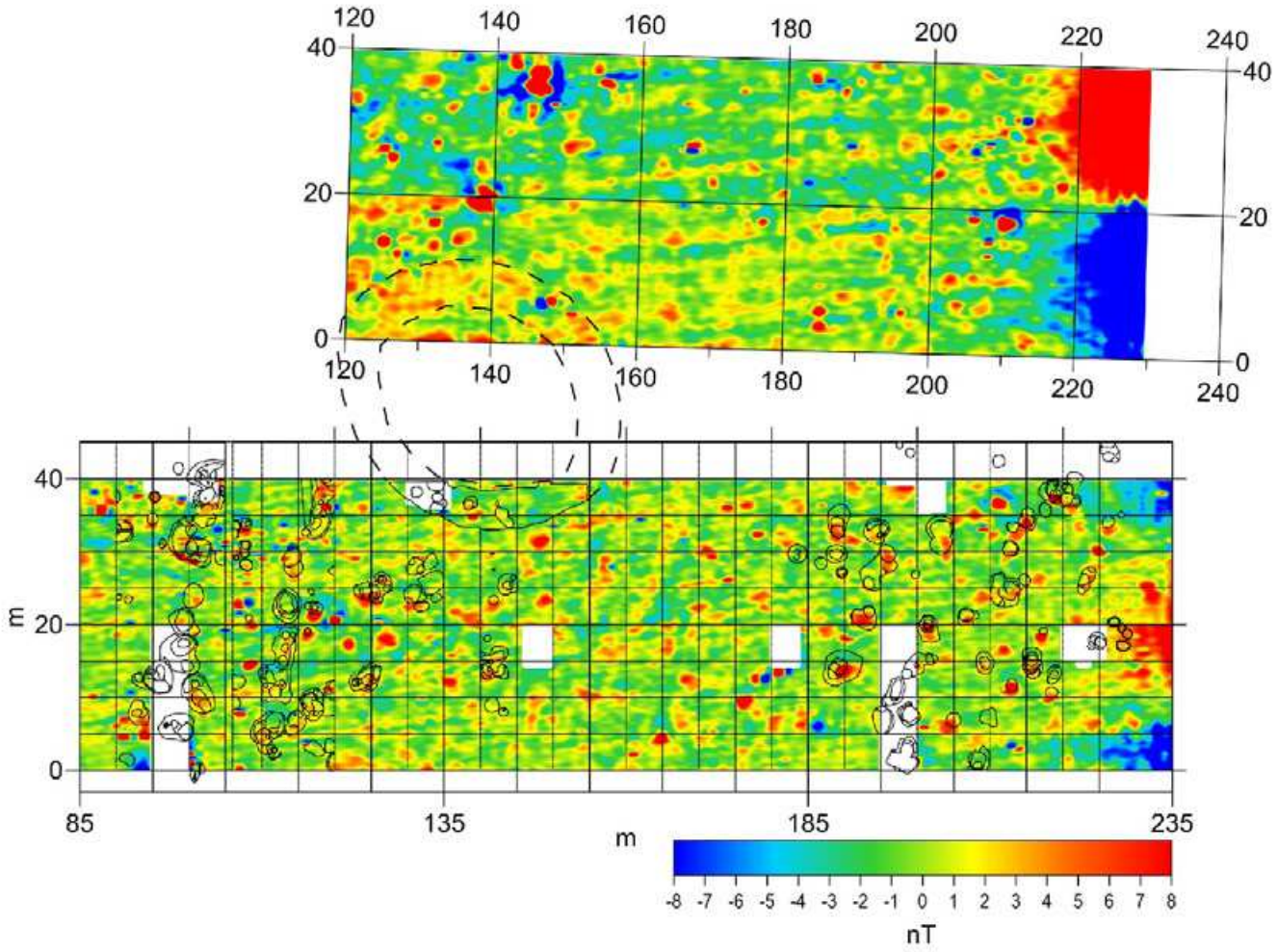
а

Спътникова снимка на района на обекта при с. Сърнево с покритите с геомагнитни измервания площи



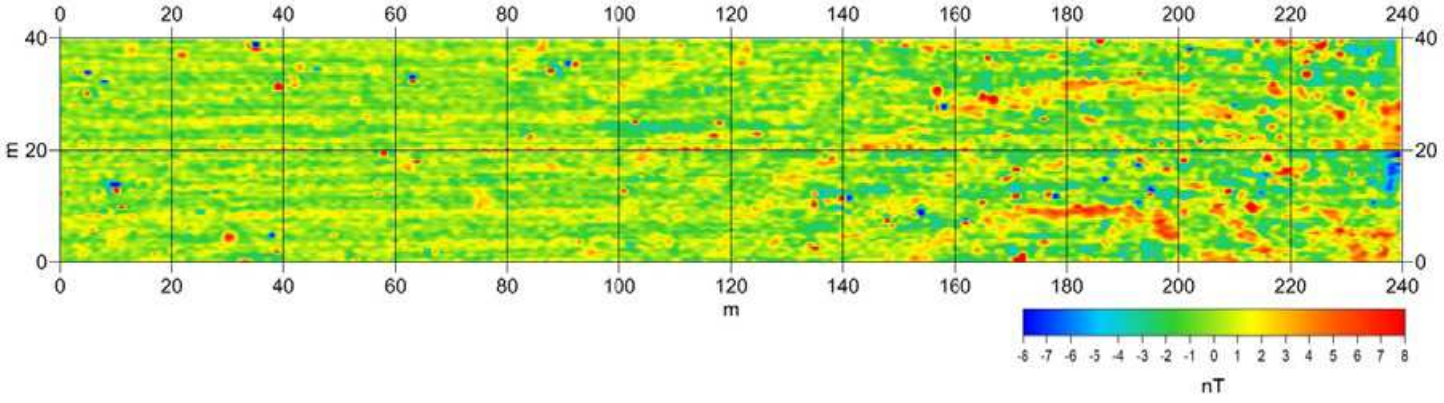
б

Сърнево. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле. Сектор Север

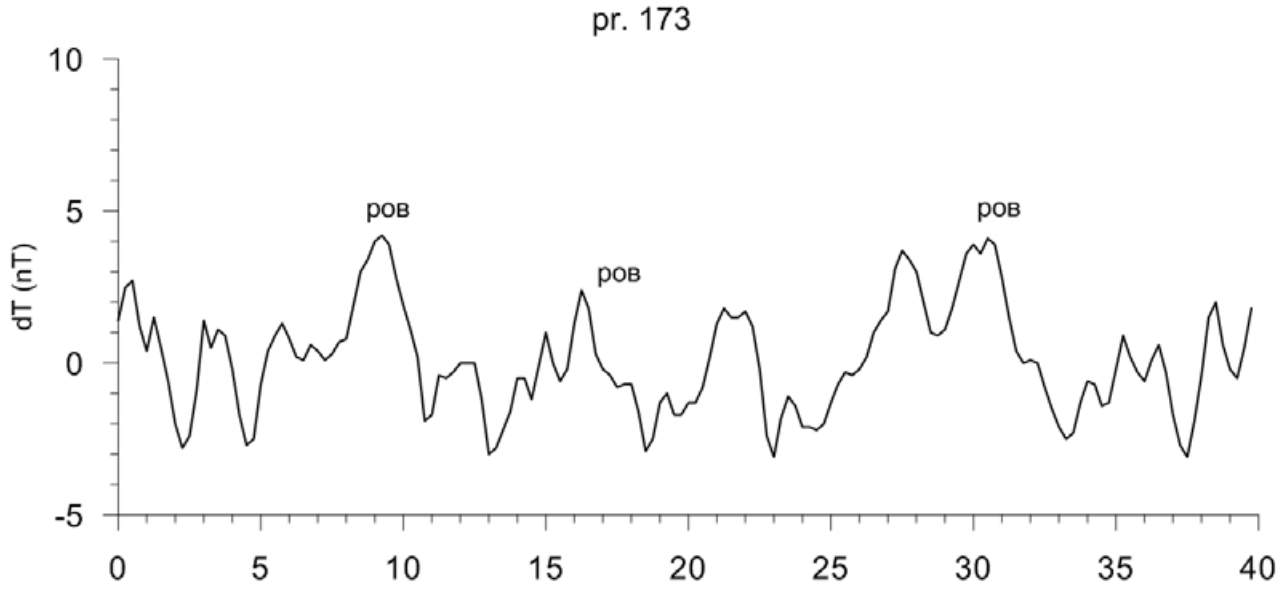


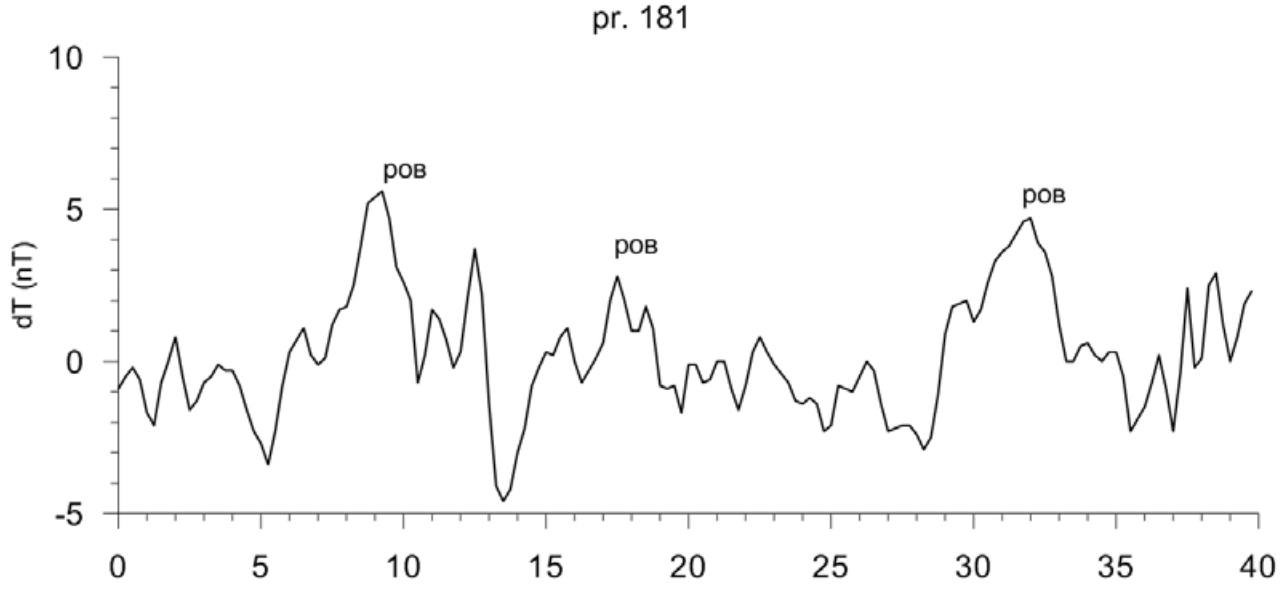
а

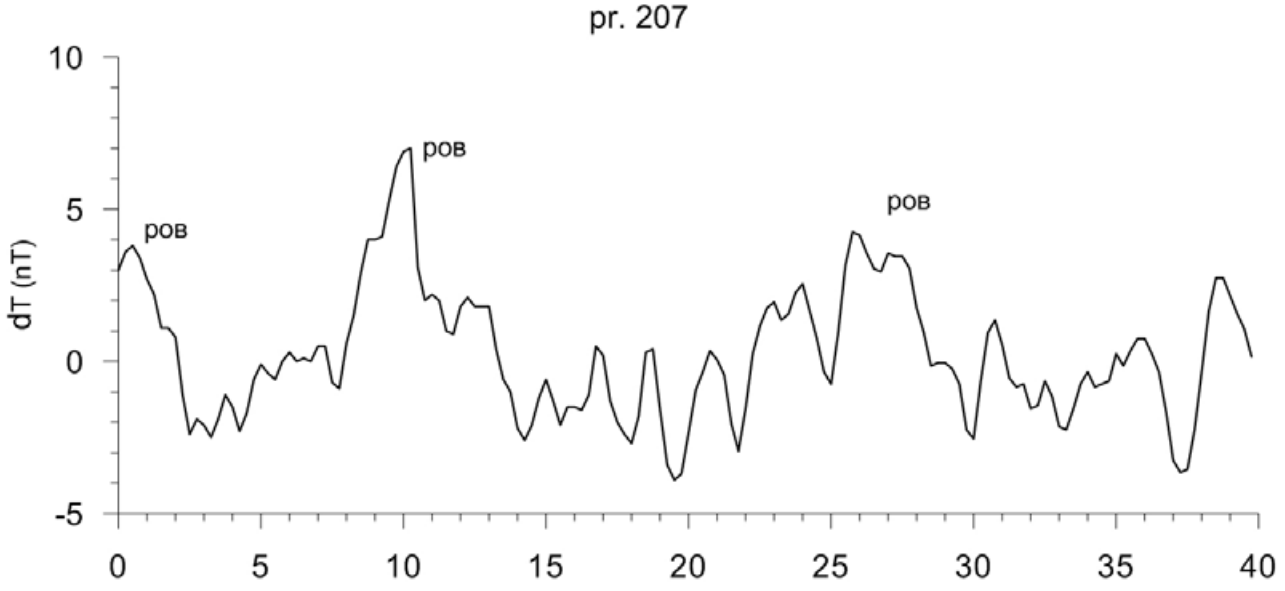
Разкритият римски ров в сектор 1 и предполагаемото му продължение в сектор Север



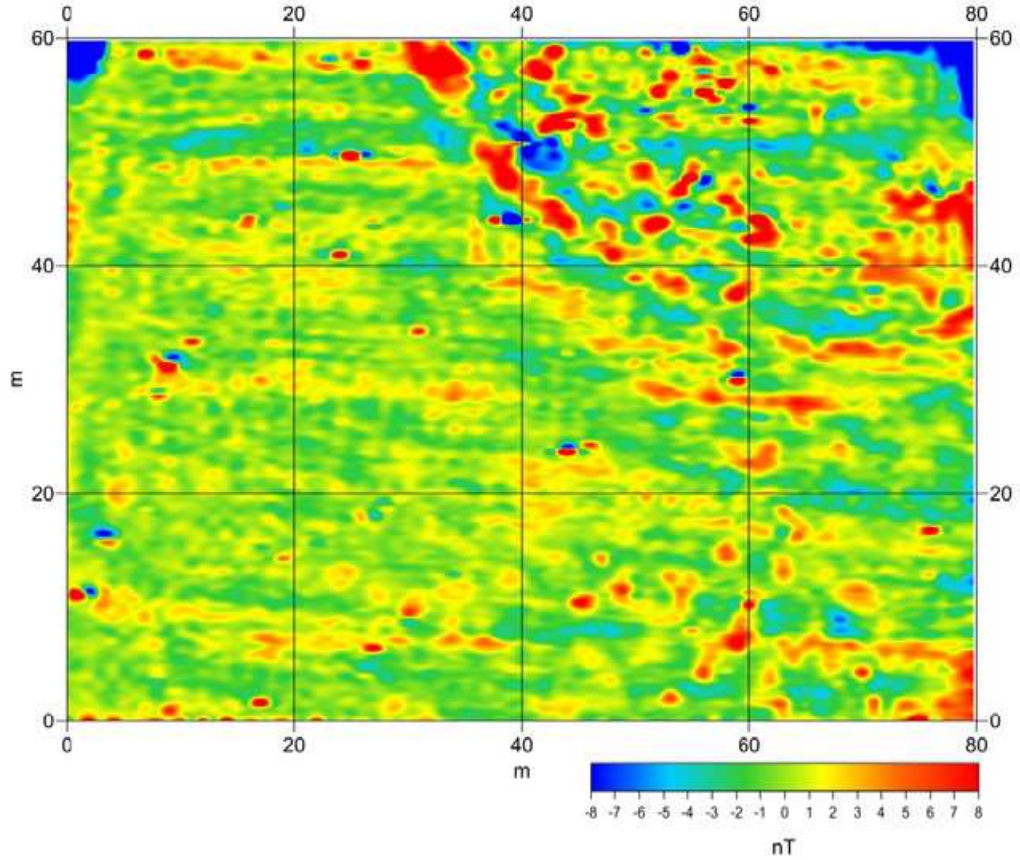
б Карта на вертикалния градиент на магнитното поле. Сектор Юг.





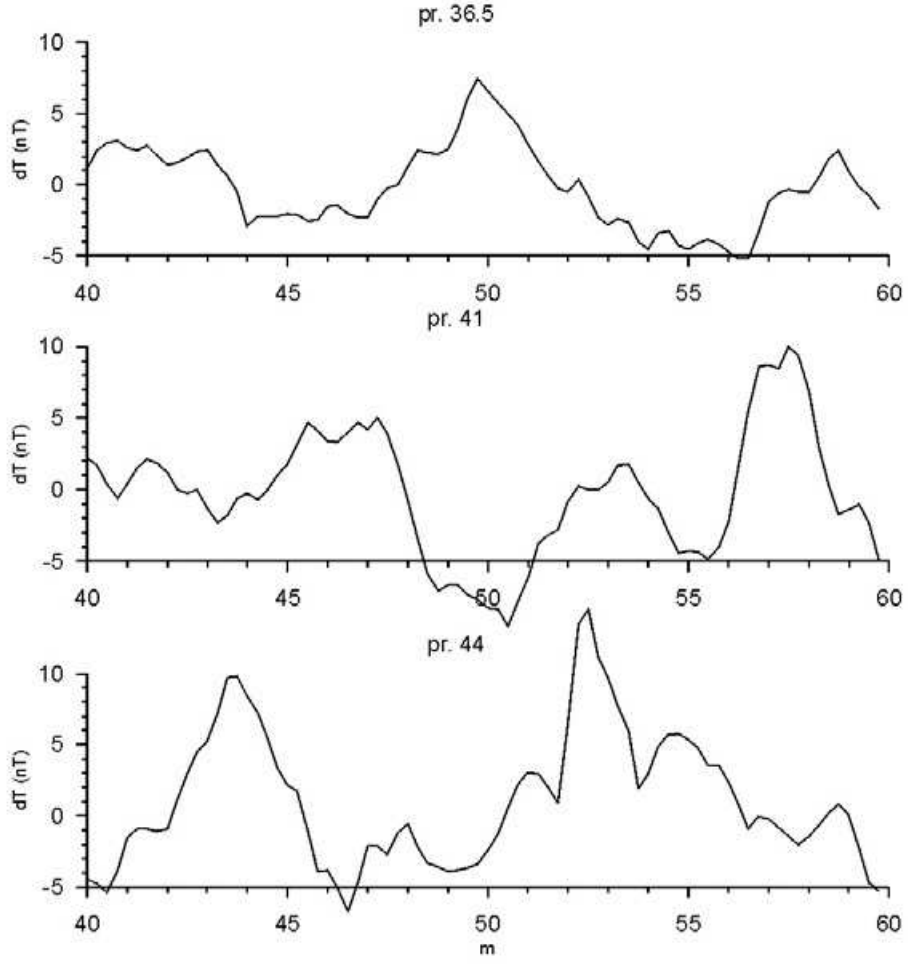


Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над рововете в сектор Юг



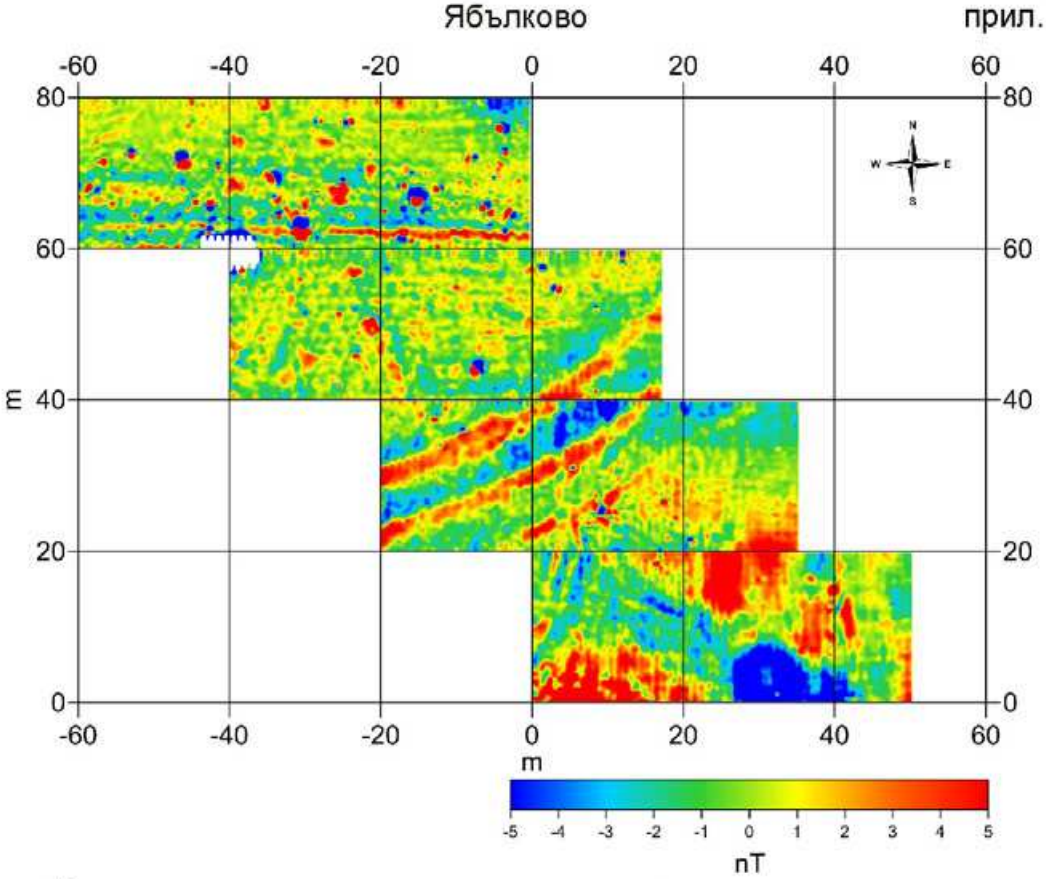
а

Карта на вертикалния градиент на магнитното поле. Сектор 3.



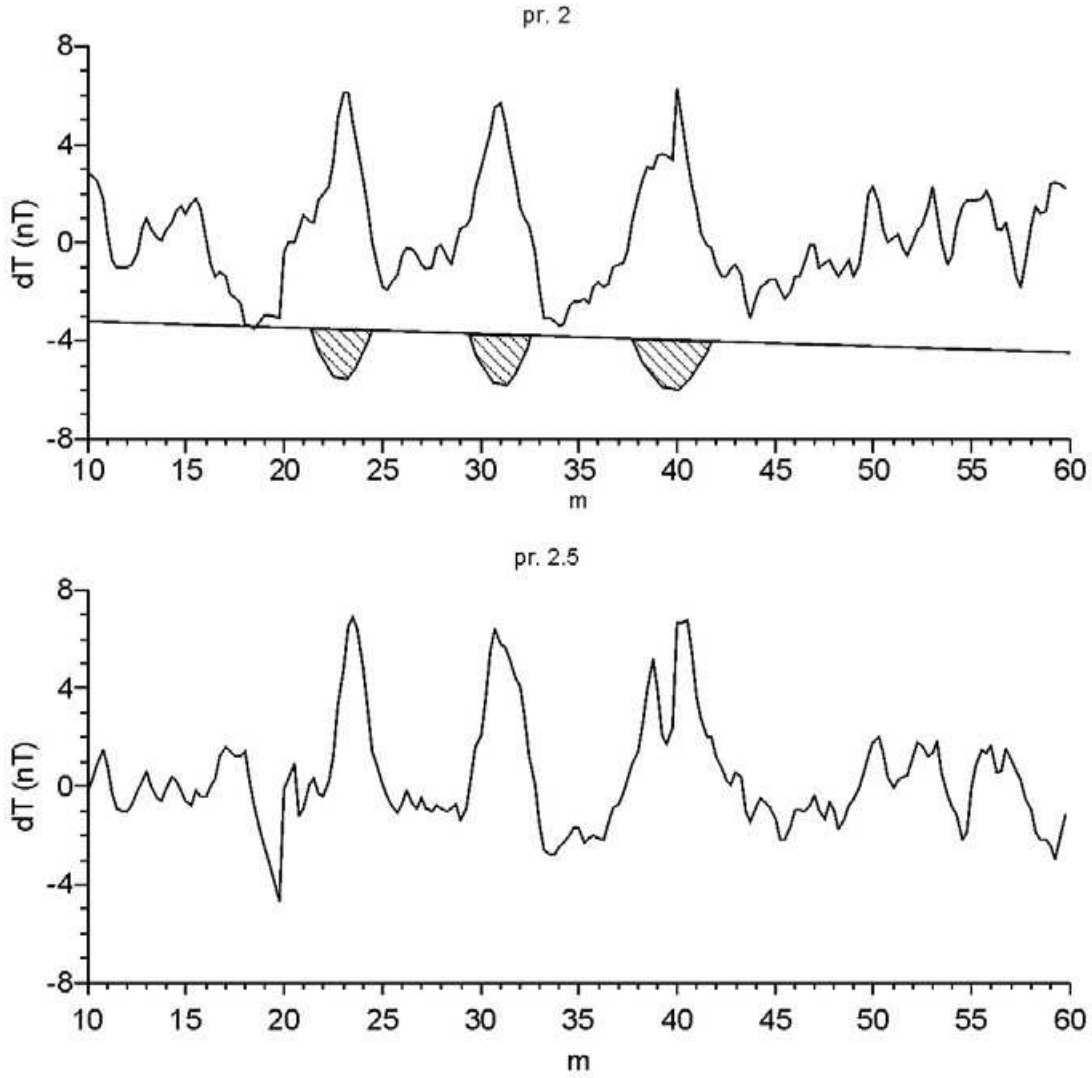
б

Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над неолитното (?) селище в сектор 3



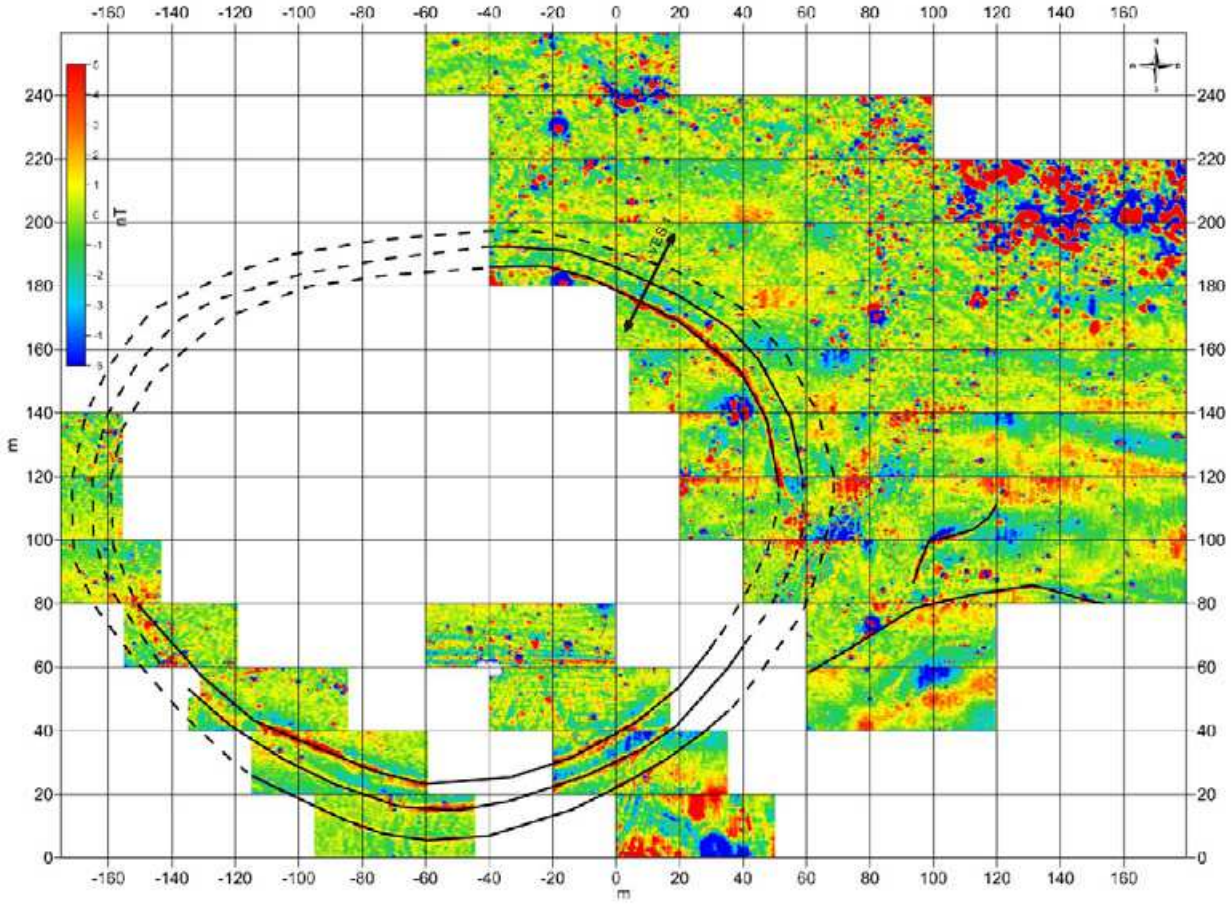
а

Ябълково. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле в рамките на сервитута.



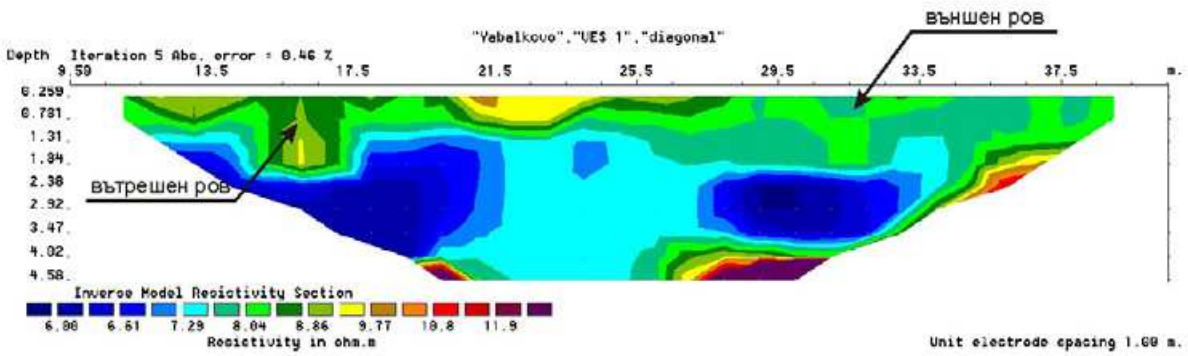
б

Ябълково. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле на неолитните ровове.



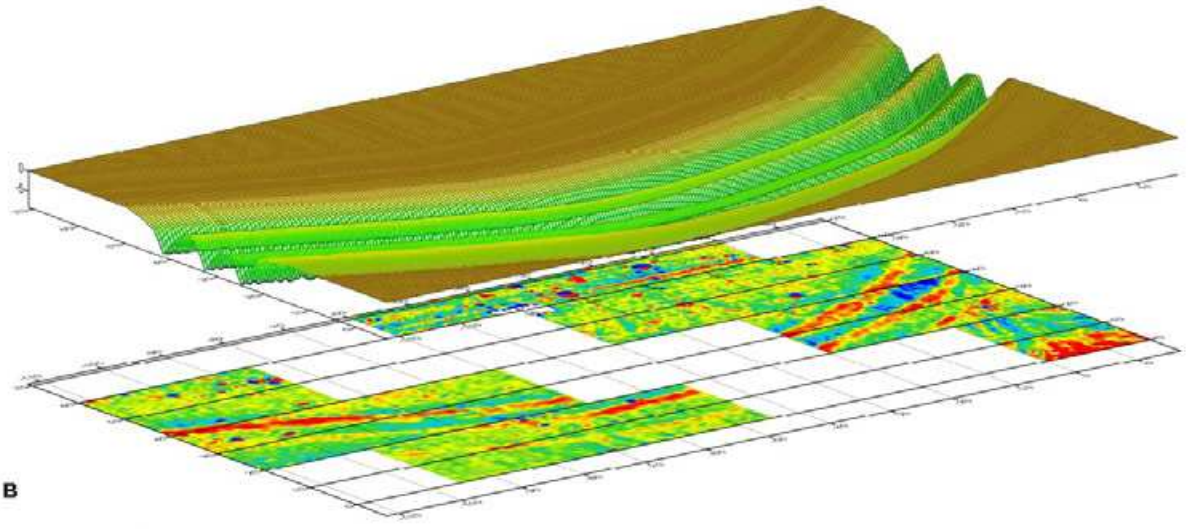
а

Ябълково. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле.



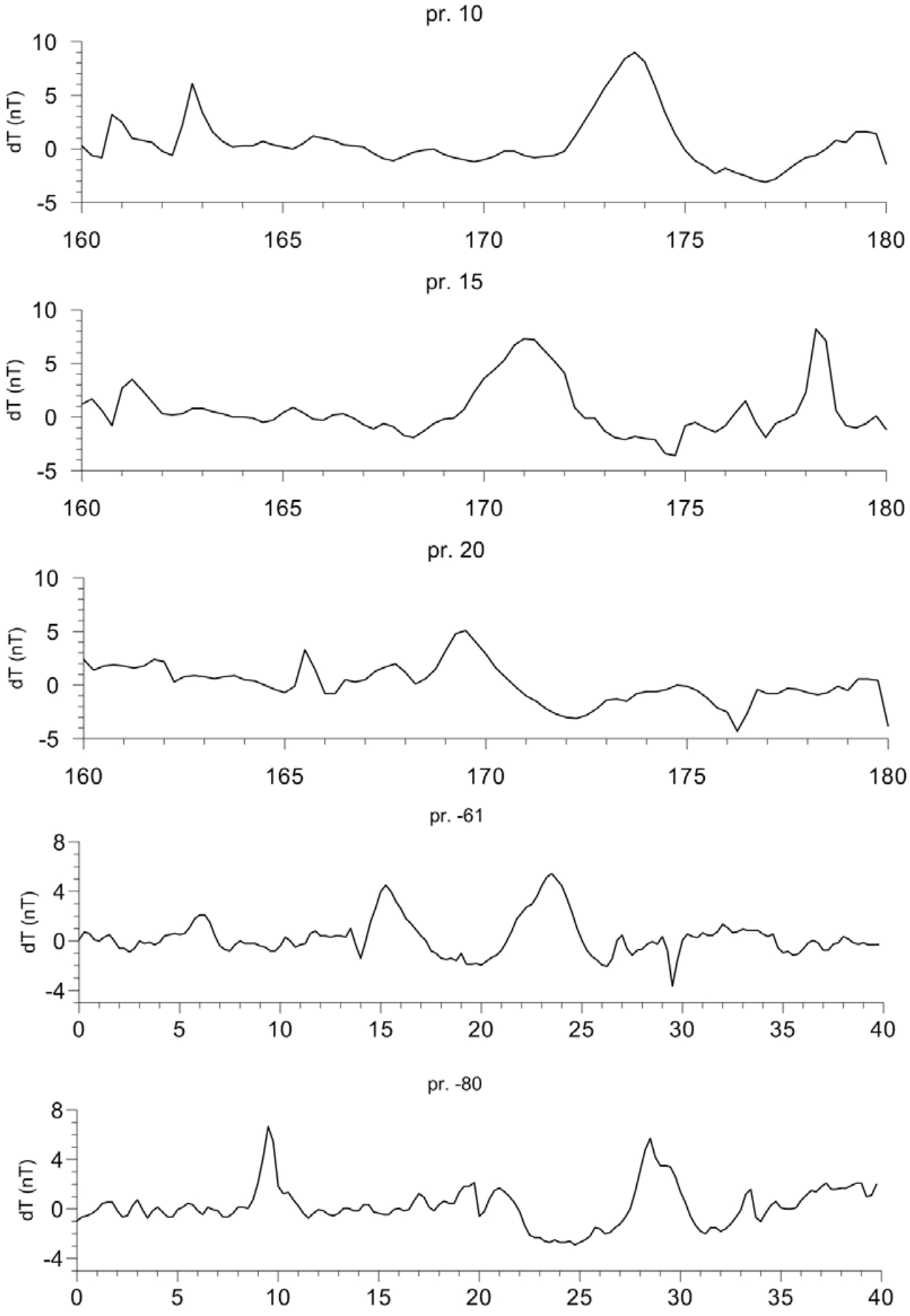
б

Ябълково. Двумерен инверсионен модел на електрическото съпротивление по профил ВЕС 1.

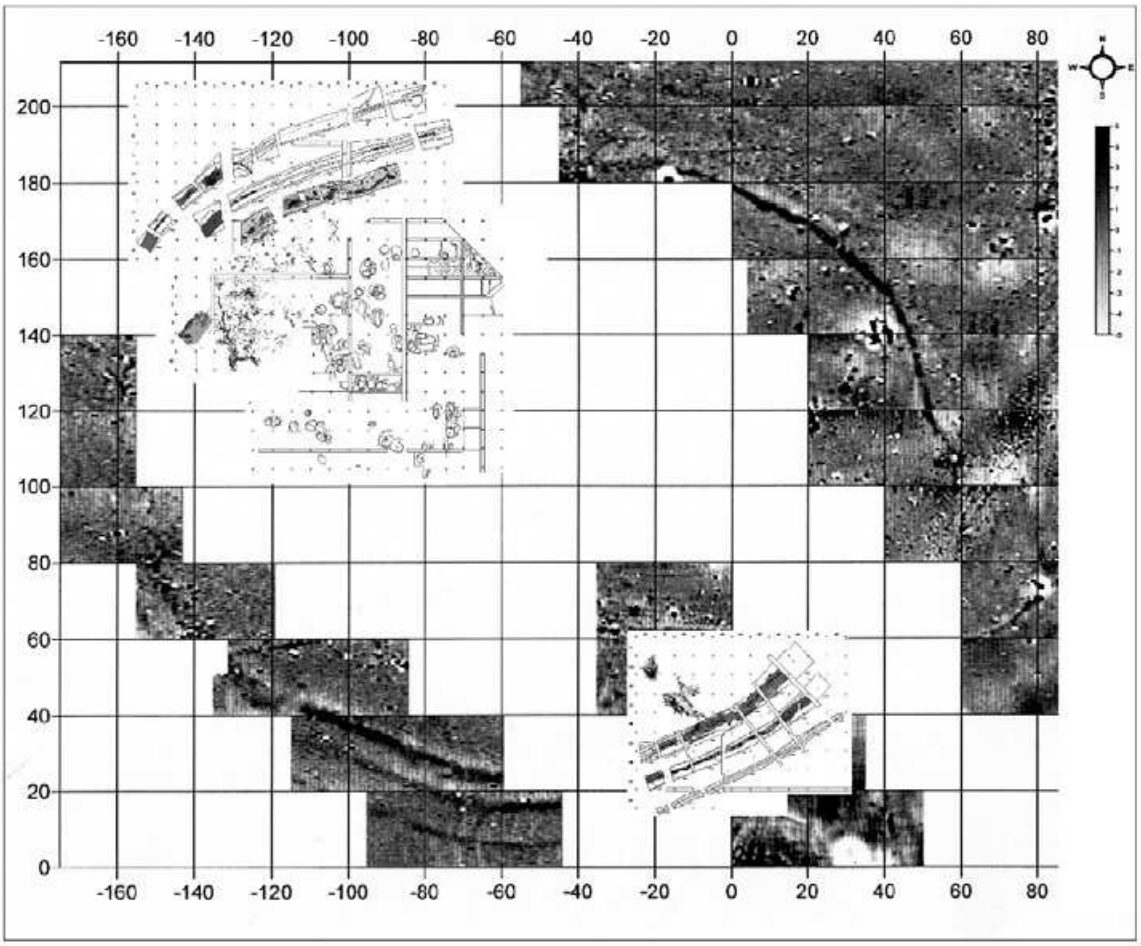


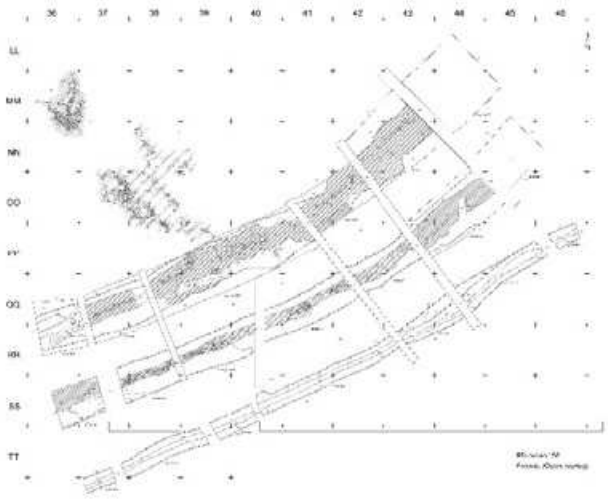
в

Ябълково. Опит за възстановка на рововете въз основа на геомагнитното проучване.



Ябълково. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле по профили 10, 15 и 20, -61 и -80.

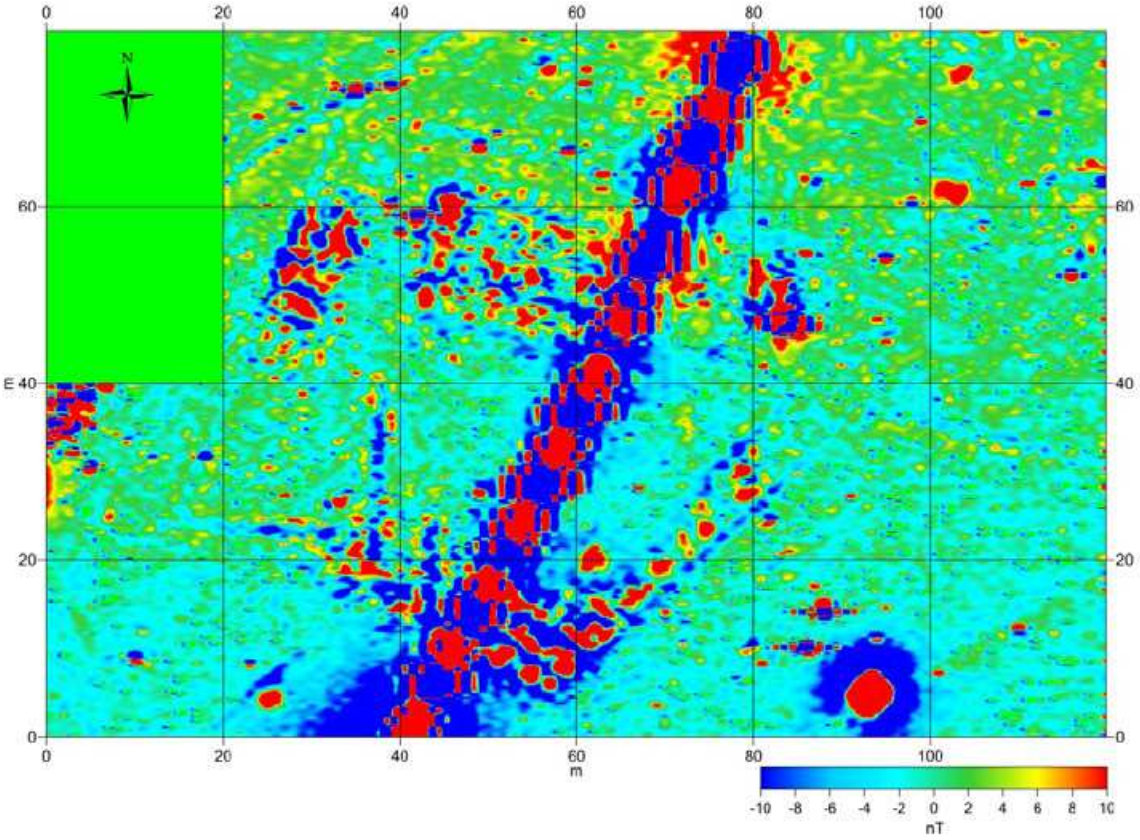






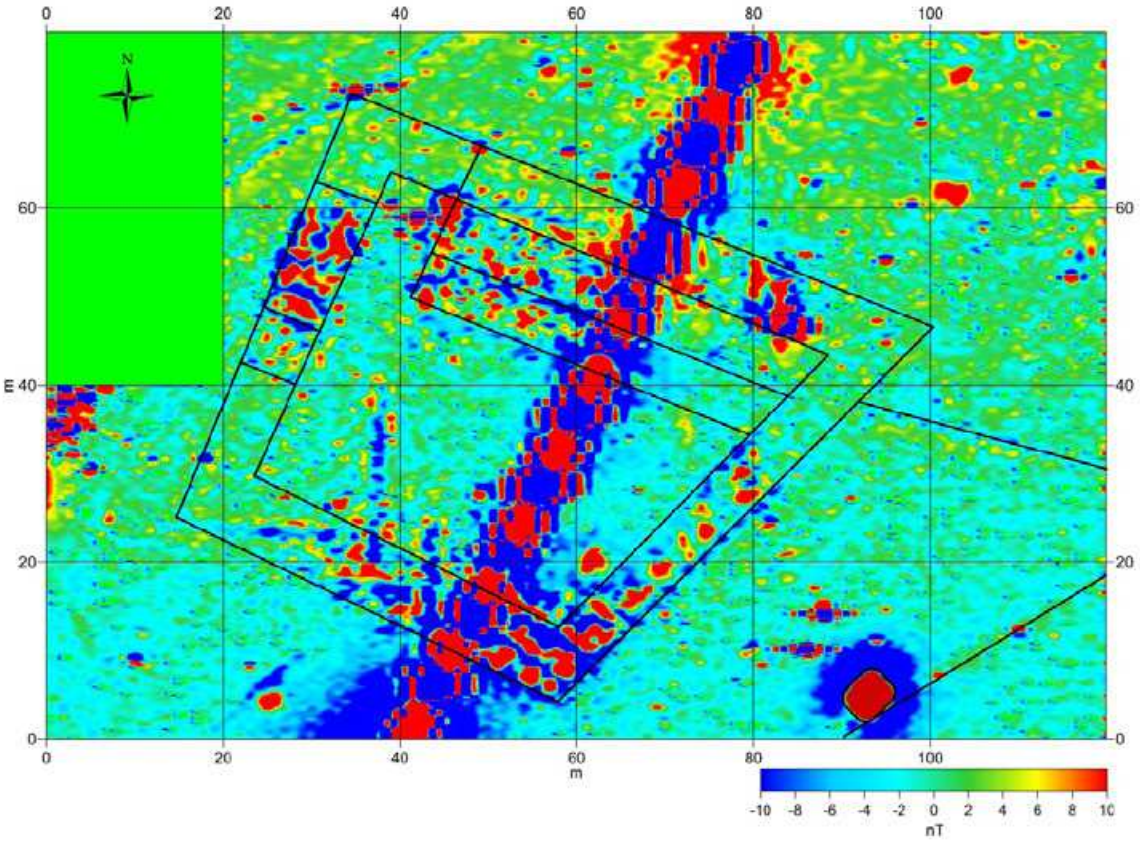
Рововете от обекта при Ябълково

а

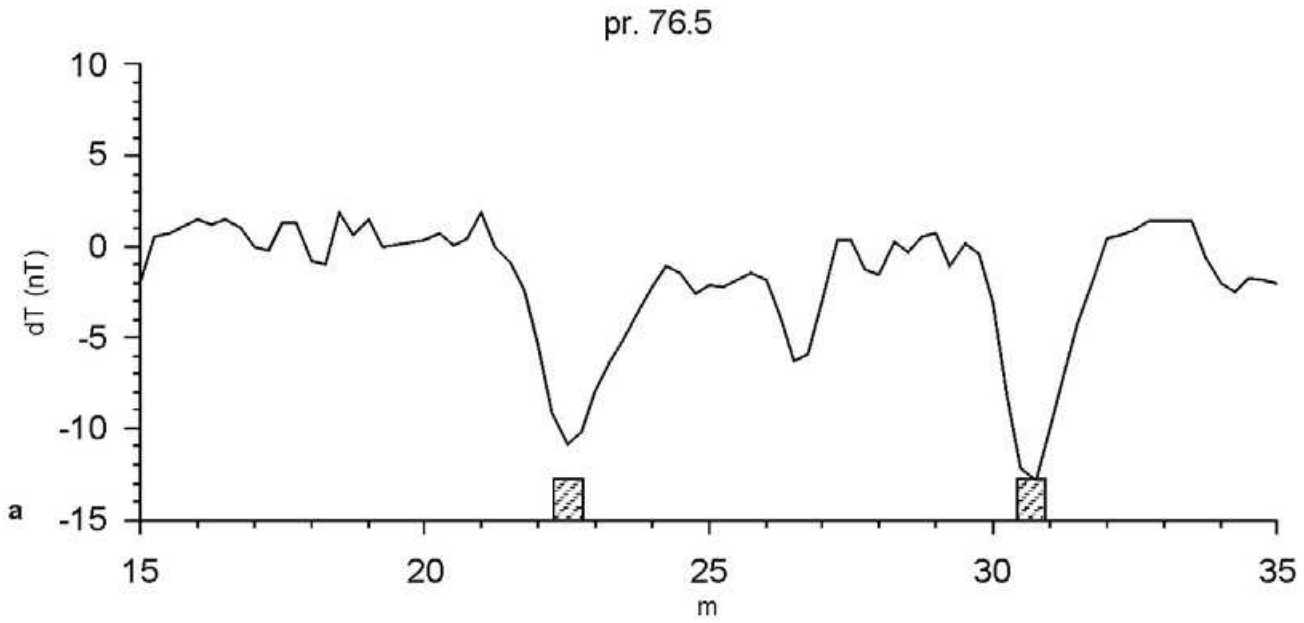


Горско Абланово. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле.

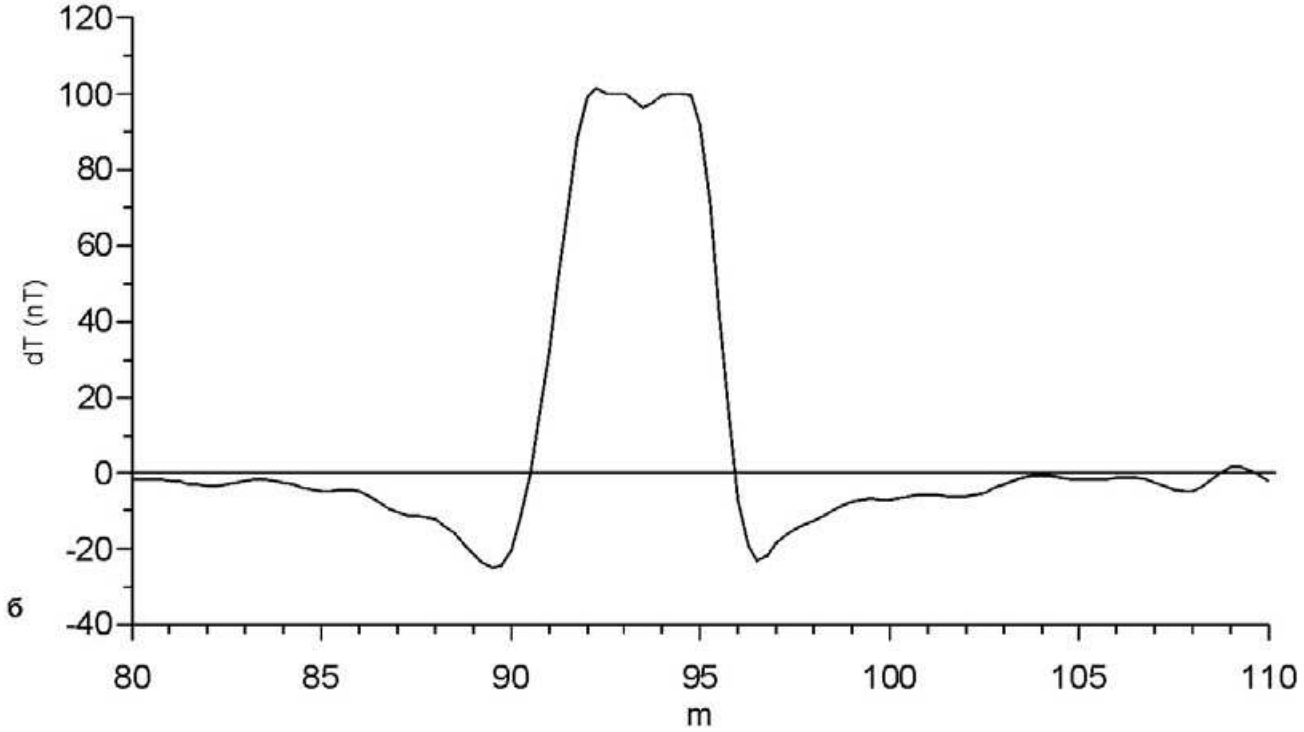
б



Горско Абланово. Сградния комплекс, според данните от геомагнитното проучване.



Горско Абланово. Крива на вертикалния градиент на магнитното поле над основи на стени от варовик.



Горско Абланово. Крива на вертикалния градиент на магнитното поле над пещ за строителна керамика.

а



Горско Абланово. Разкритите при археологическите разкопки основи на стени.

б

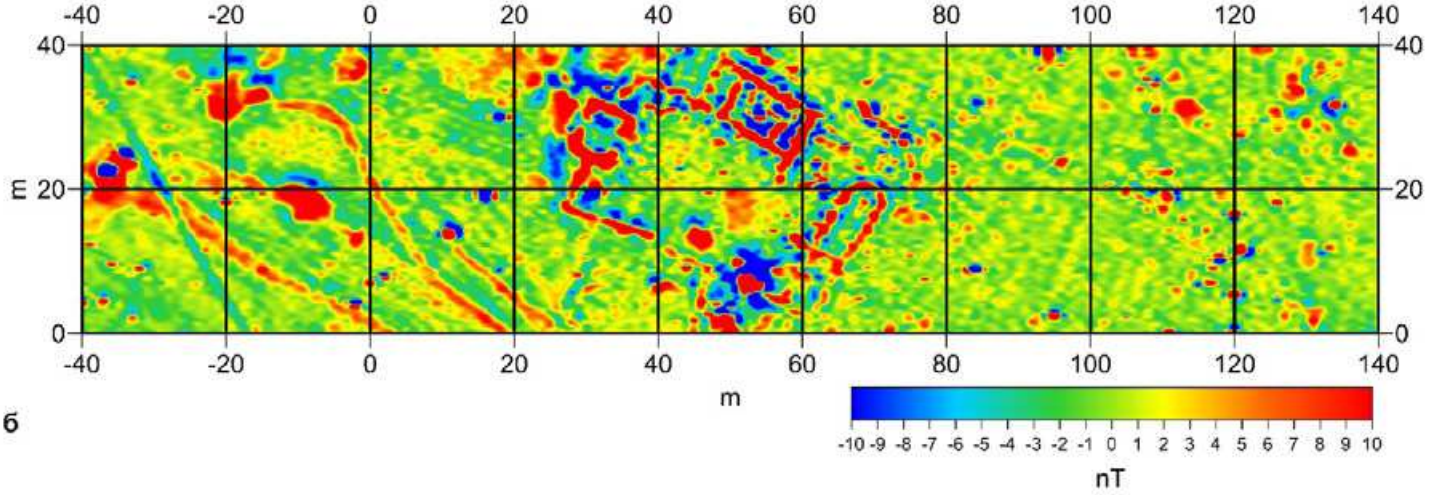


Горско Абланово. Пещта за строителна керамика.



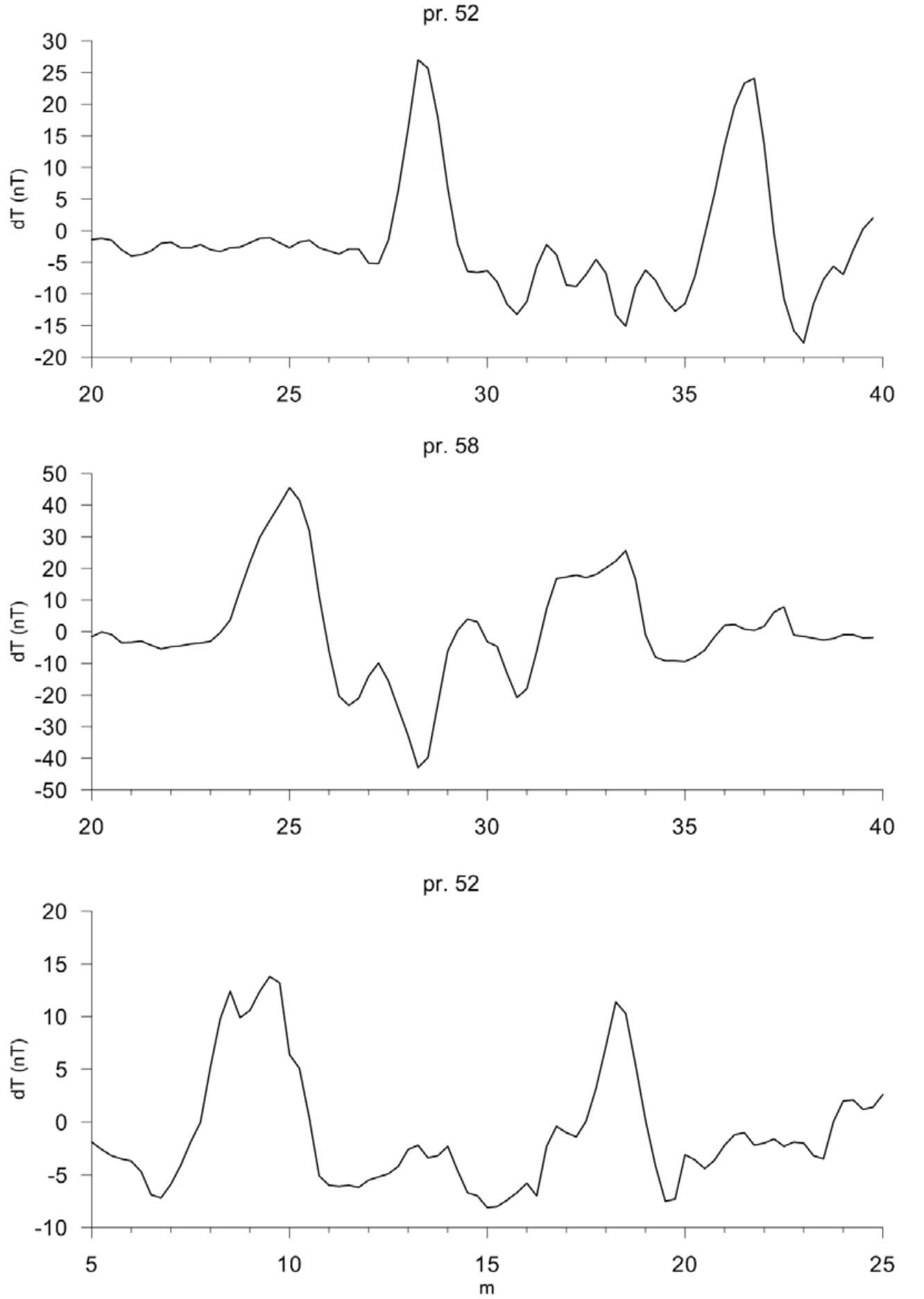
а

Скобелево. Спътникова снимка на обекта с нанесена мрежата на измерване на двата участъка в рамките на сервитута.

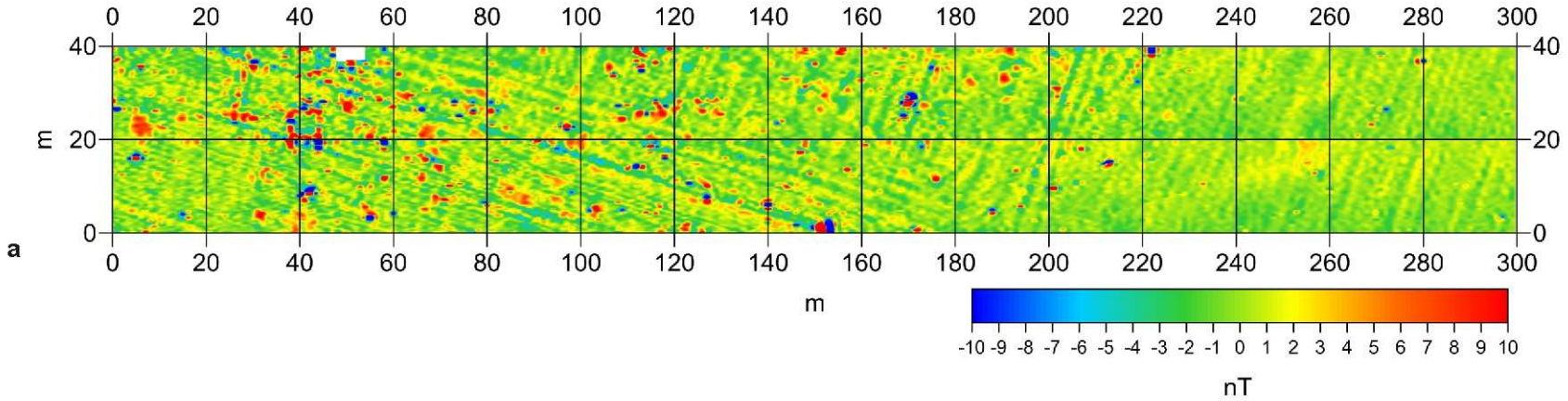


б

Скобелево. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле в рамките на сервитута, западен участък.

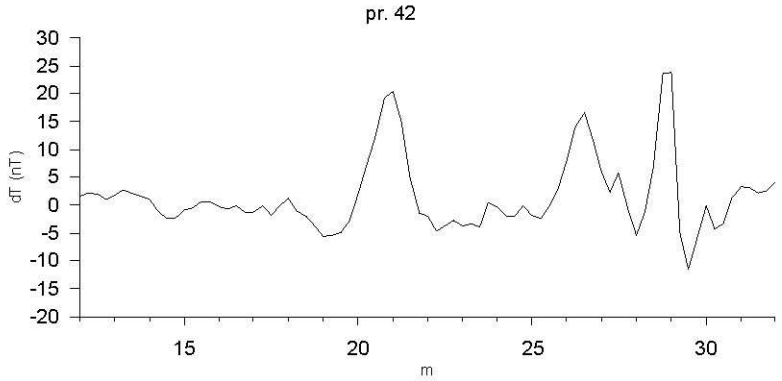


Скобелево. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над сградния комплекс в западния участък.



а

Скобелево. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле в рамките на сервитута, източен участък.



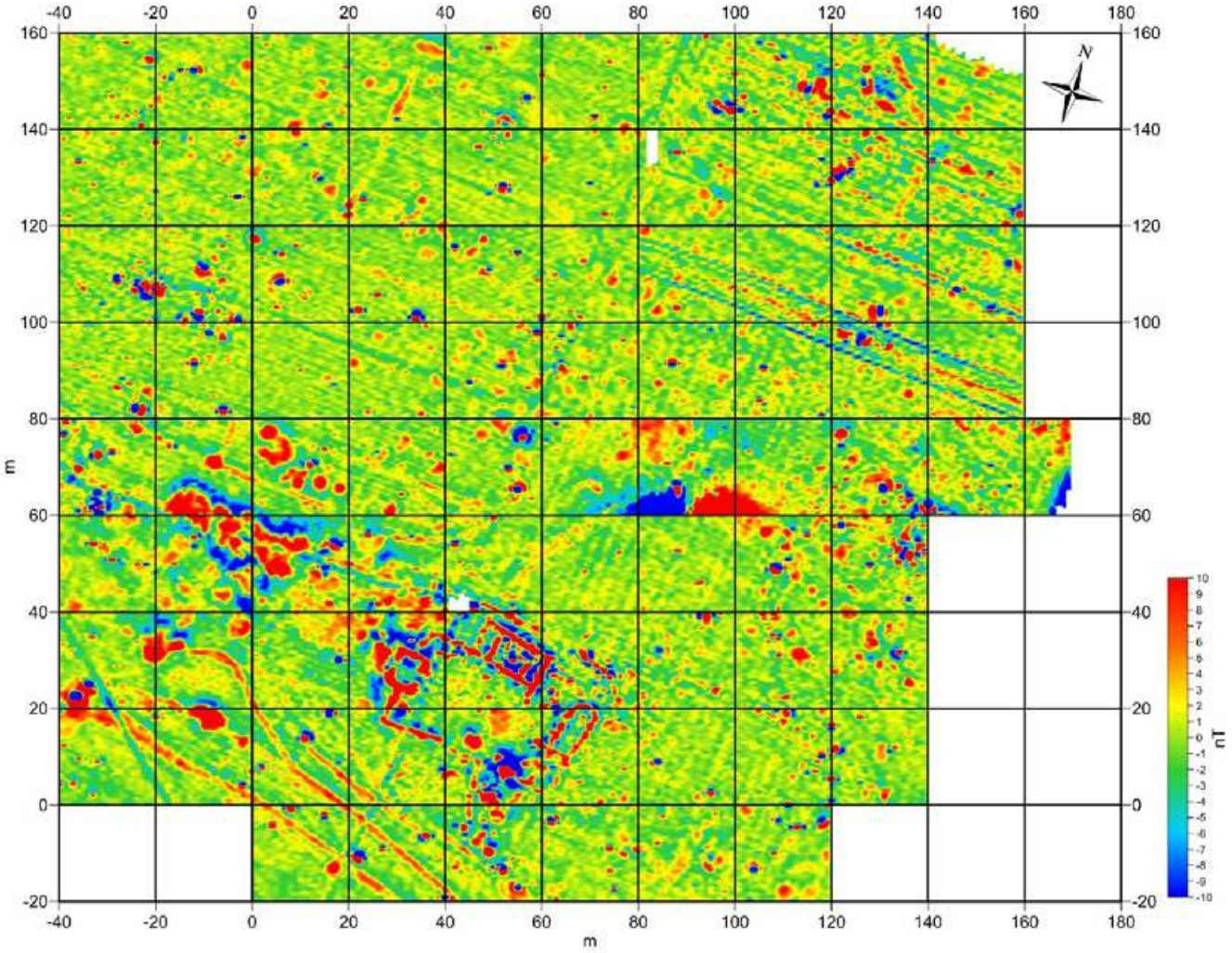
б

Скобелево. Криви на вертикалния градиент на магнитното поле над постройка в източния участък.



в

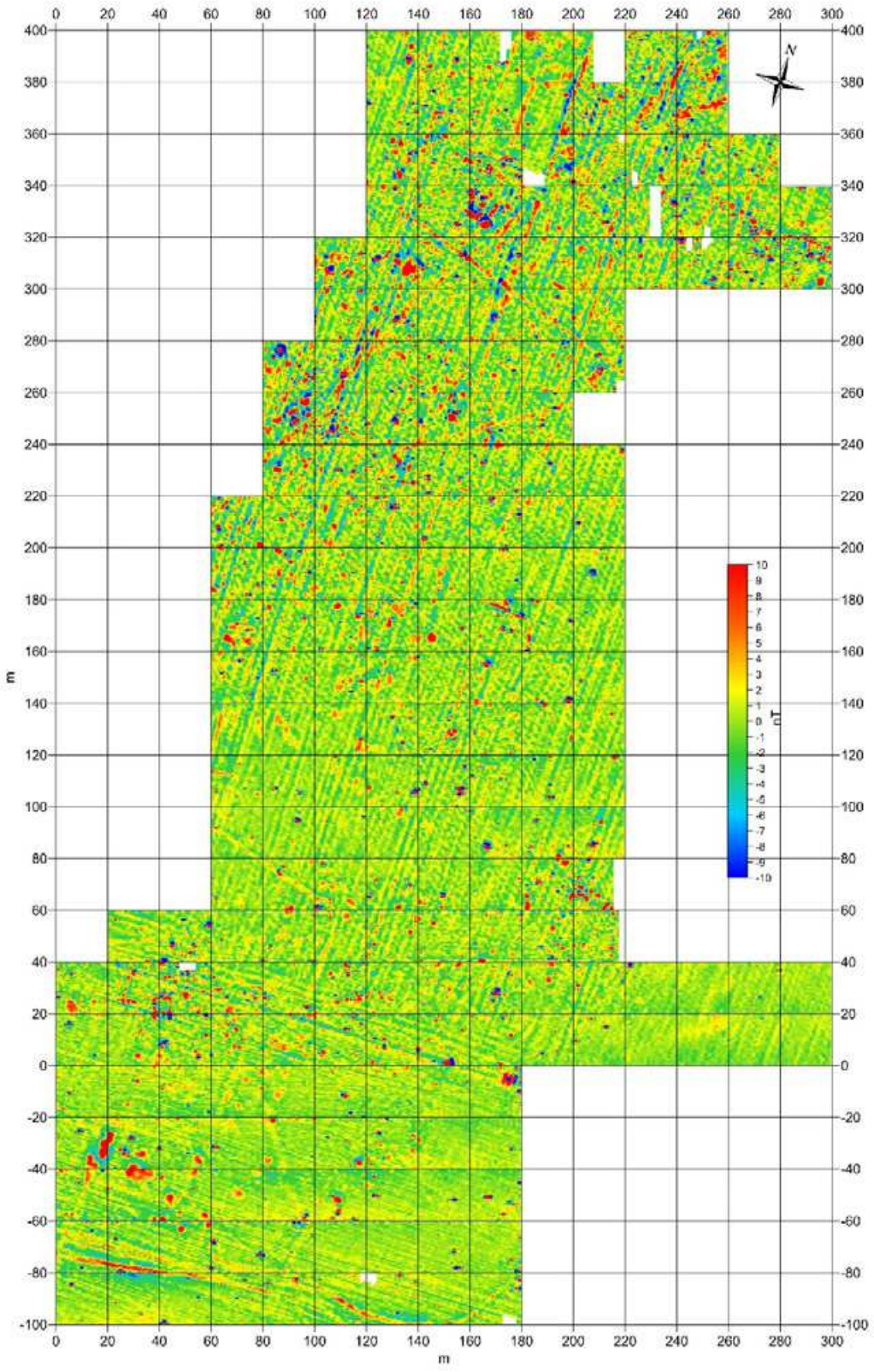
Скобелево. Постройката разкрита в източния участък.



Скобелево. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле, западен участък.



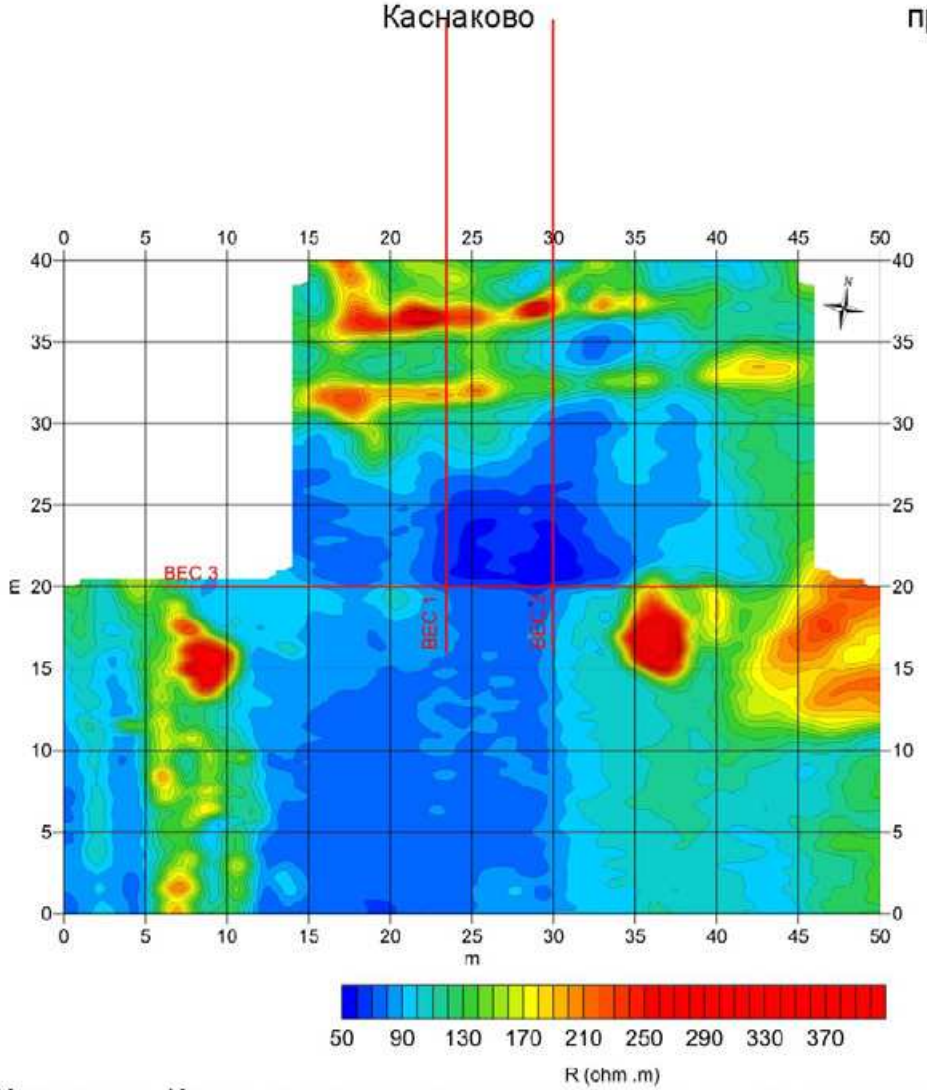
Скобелево. План на сградата в западния участък,
разкритата при археологическите разкопки.



Скобелево. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле, източен участък.

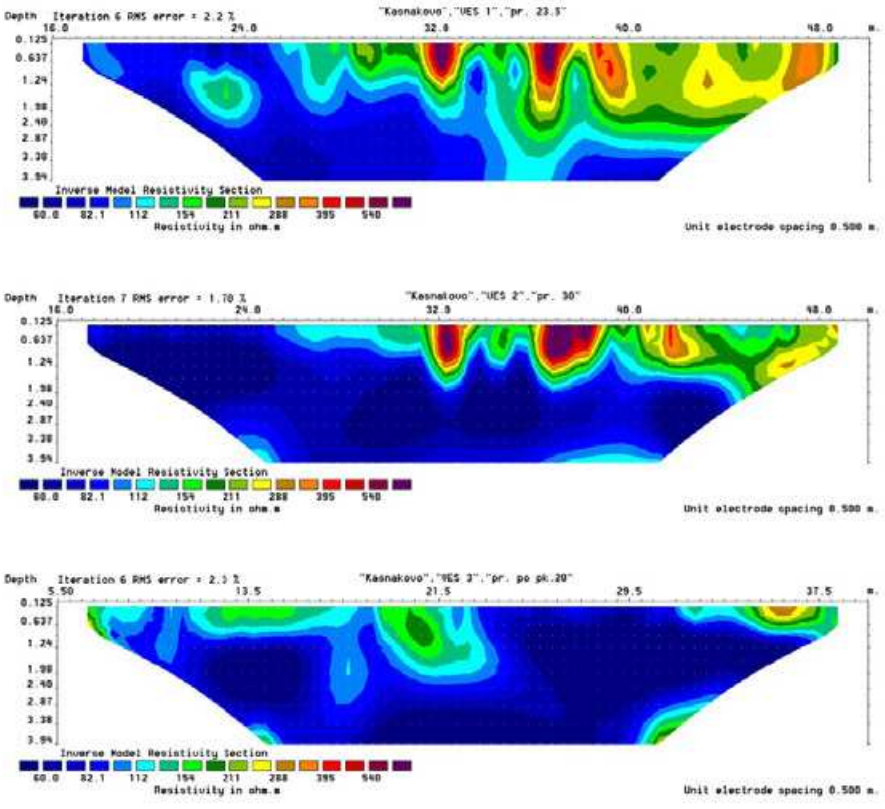


Скобелево. Резултатите от геомагнитното проучване наложени върху спътникова снимка на района.



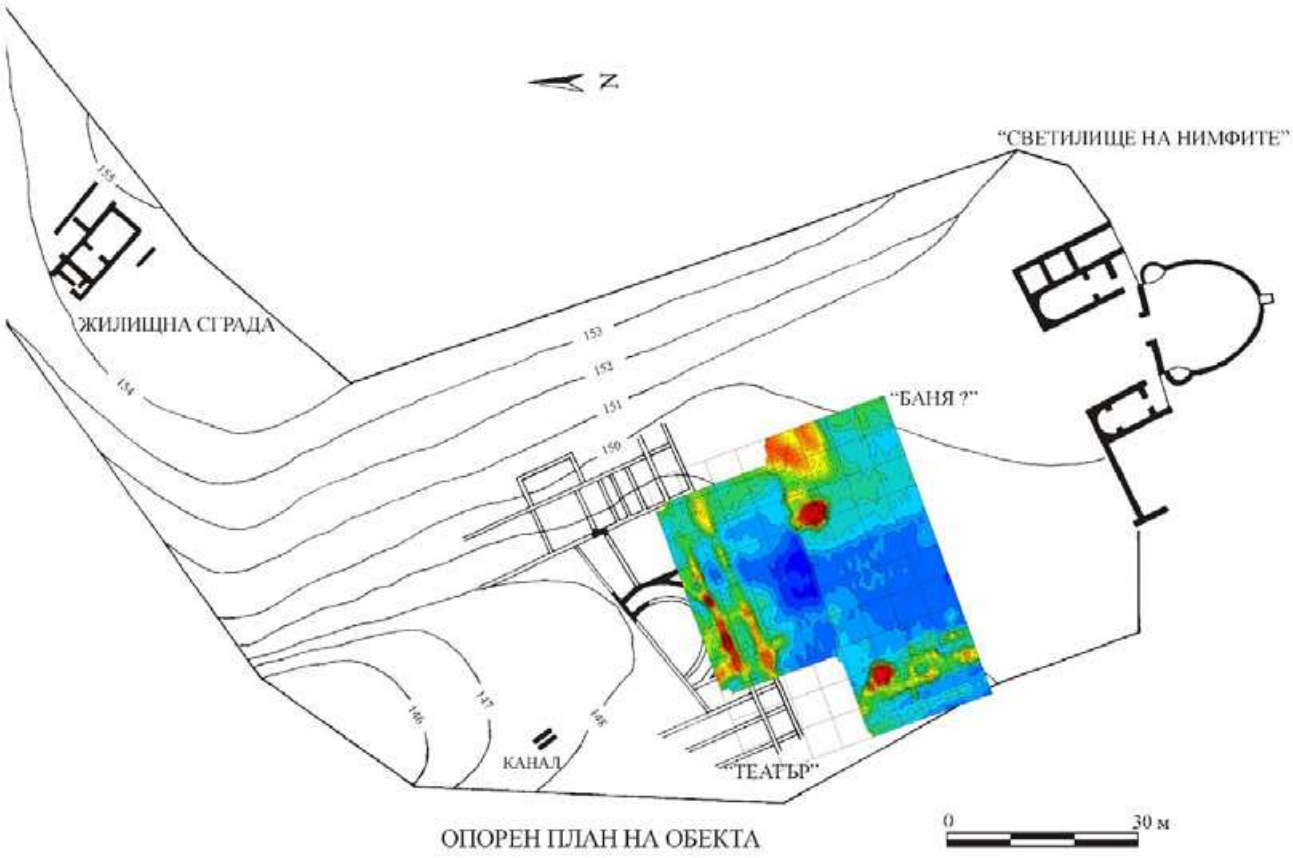
а

Каснаково. Карта на привидното електрическо съпротивление измерено с двуелектродна схема.



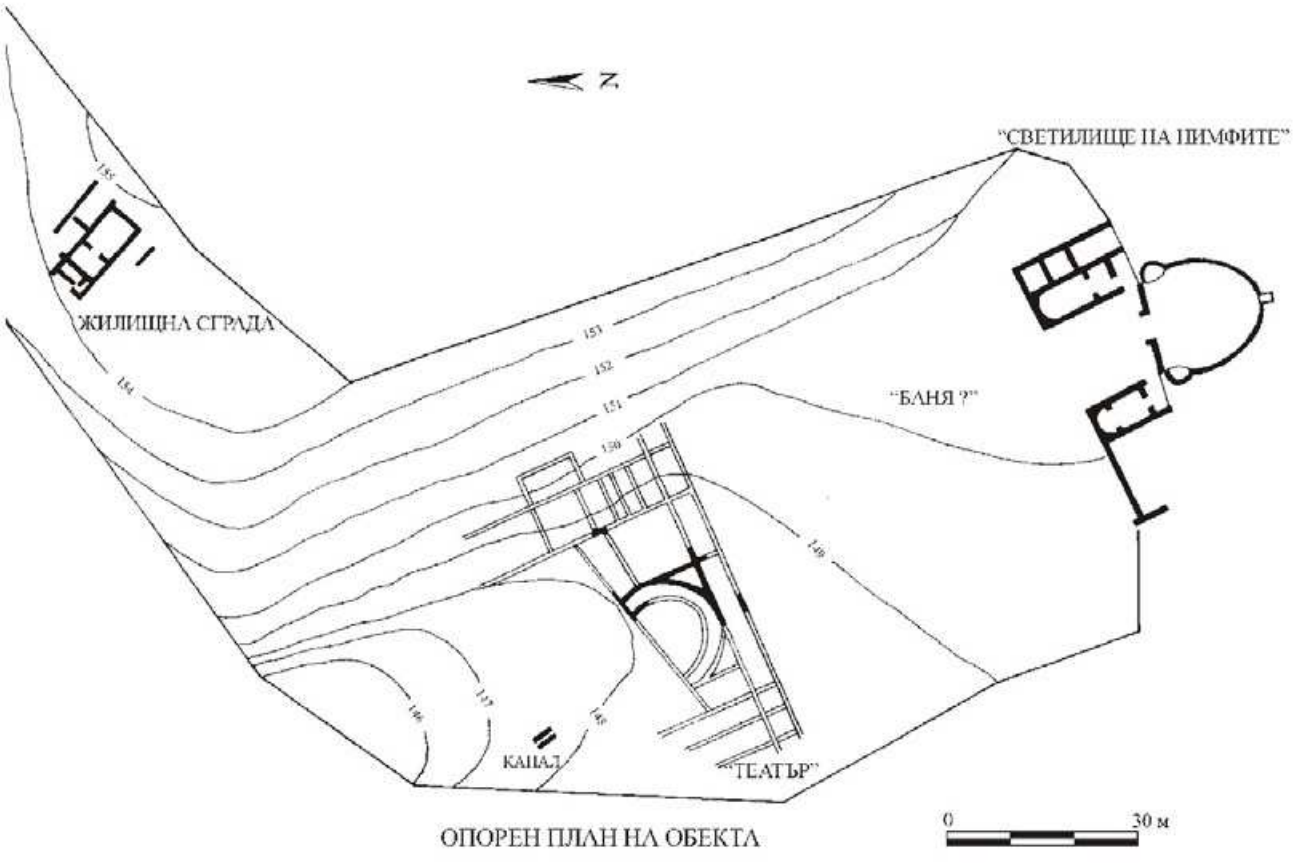
б

Каснаково. Двумерни инверсионни модели на електрическото съпротивление.



а

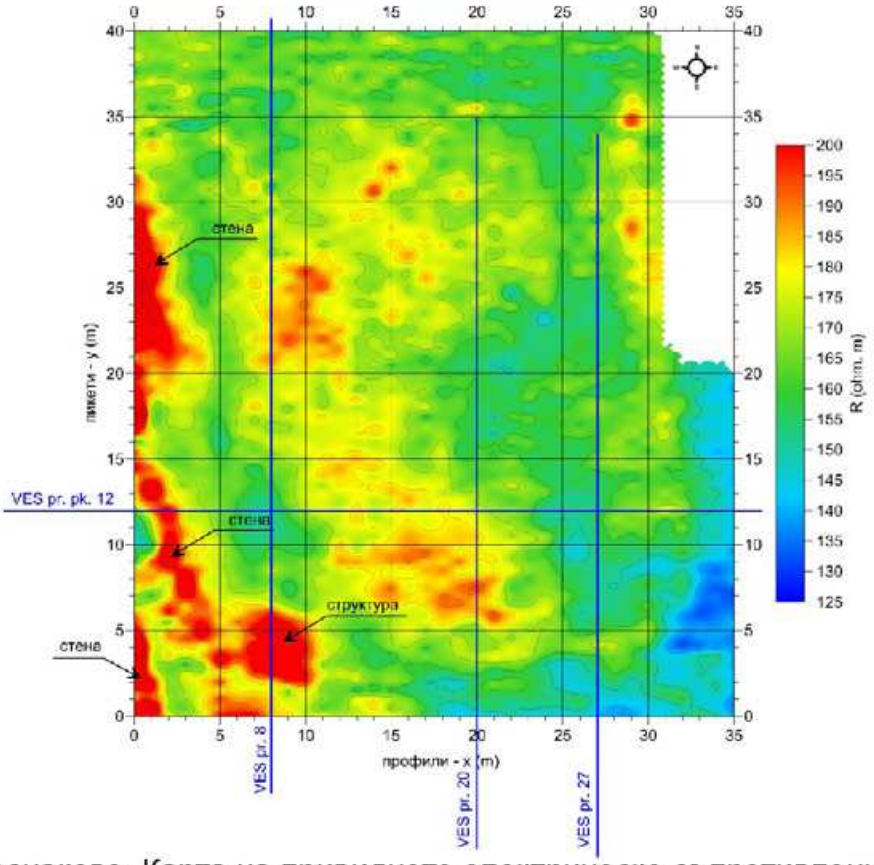
Каснаково. План на архитектурния комплекс изработен с помощта на данните от електросъпротивителното проучване.



б

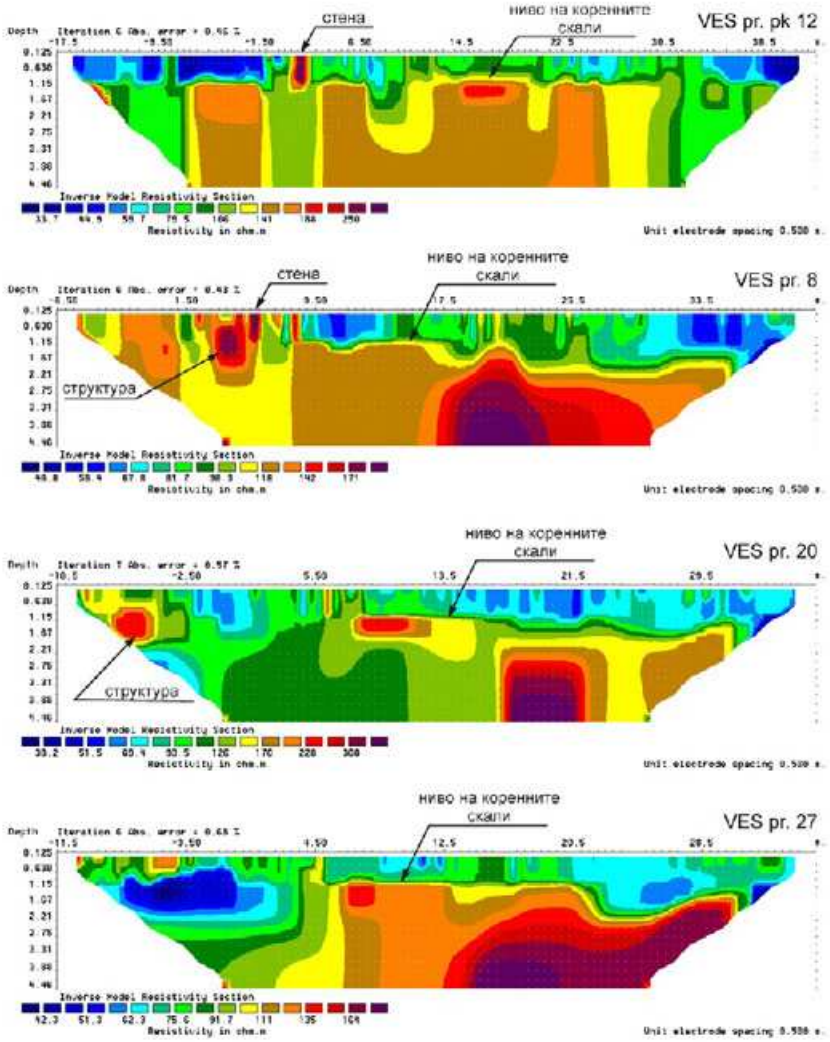
Каснаково. Общ план на архитектурния комплекс.

а



Каснаково. Карта на привидното електрическо съпротивление измерено с двуелектродна схема.

б



Каснаково. Двумерни инверсионни модели на електрическото съпротивление.

а



Баница. Топографска карта на района около гр. Струмица.

б

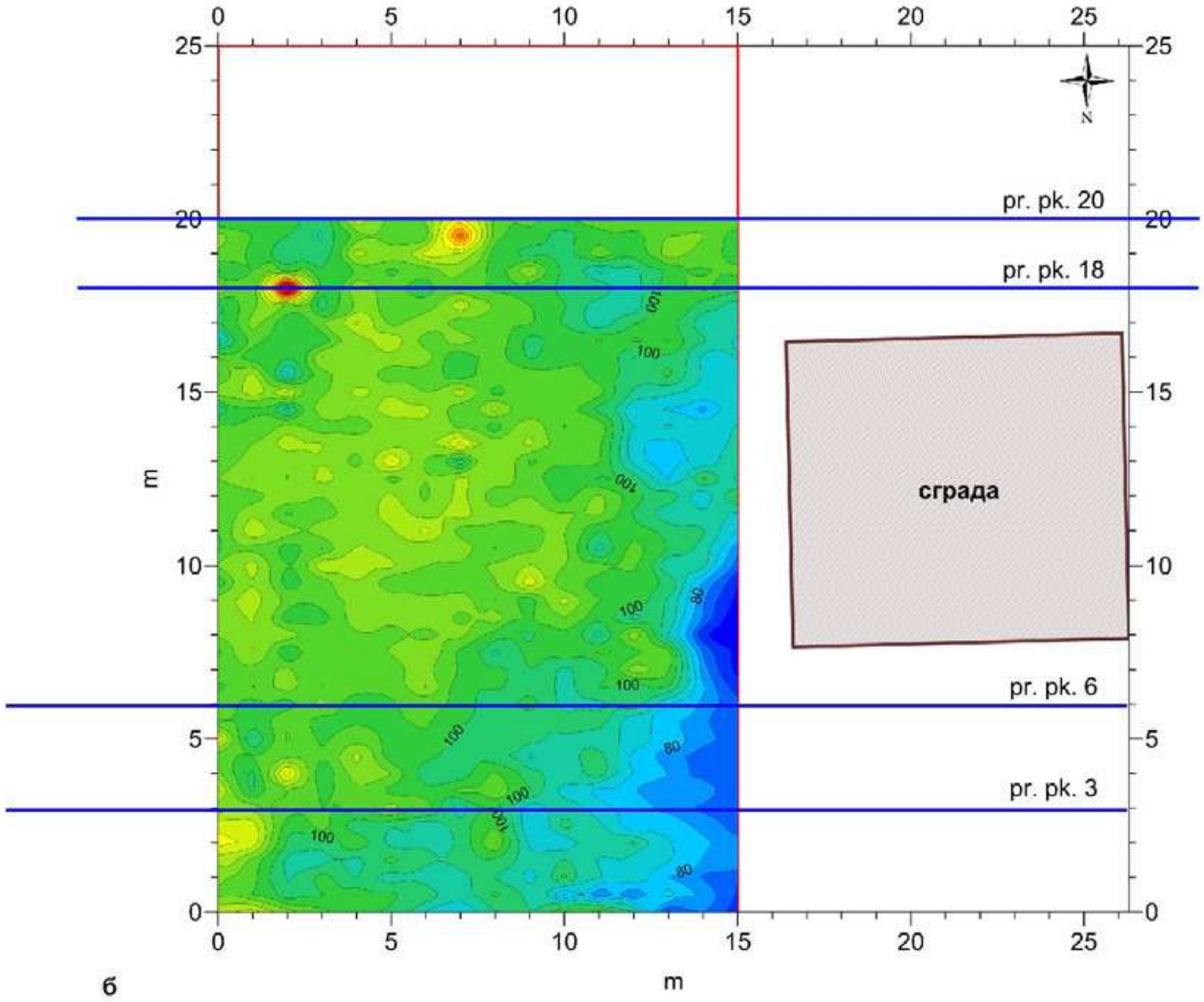


Баница. Разкритите останки от римската епоха.



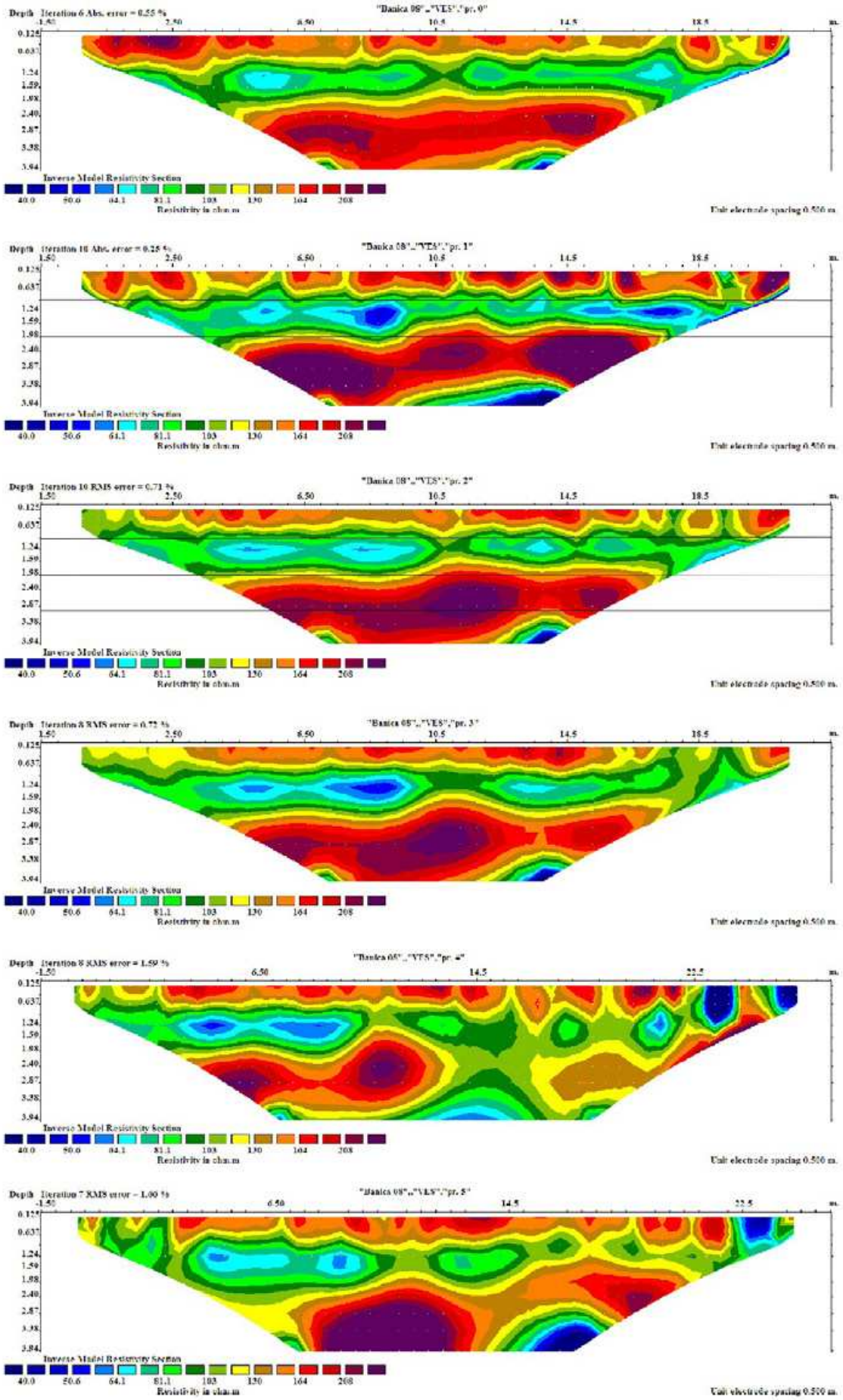
а

Баница. Спътникова снимка на района на обекта при с. Баница.

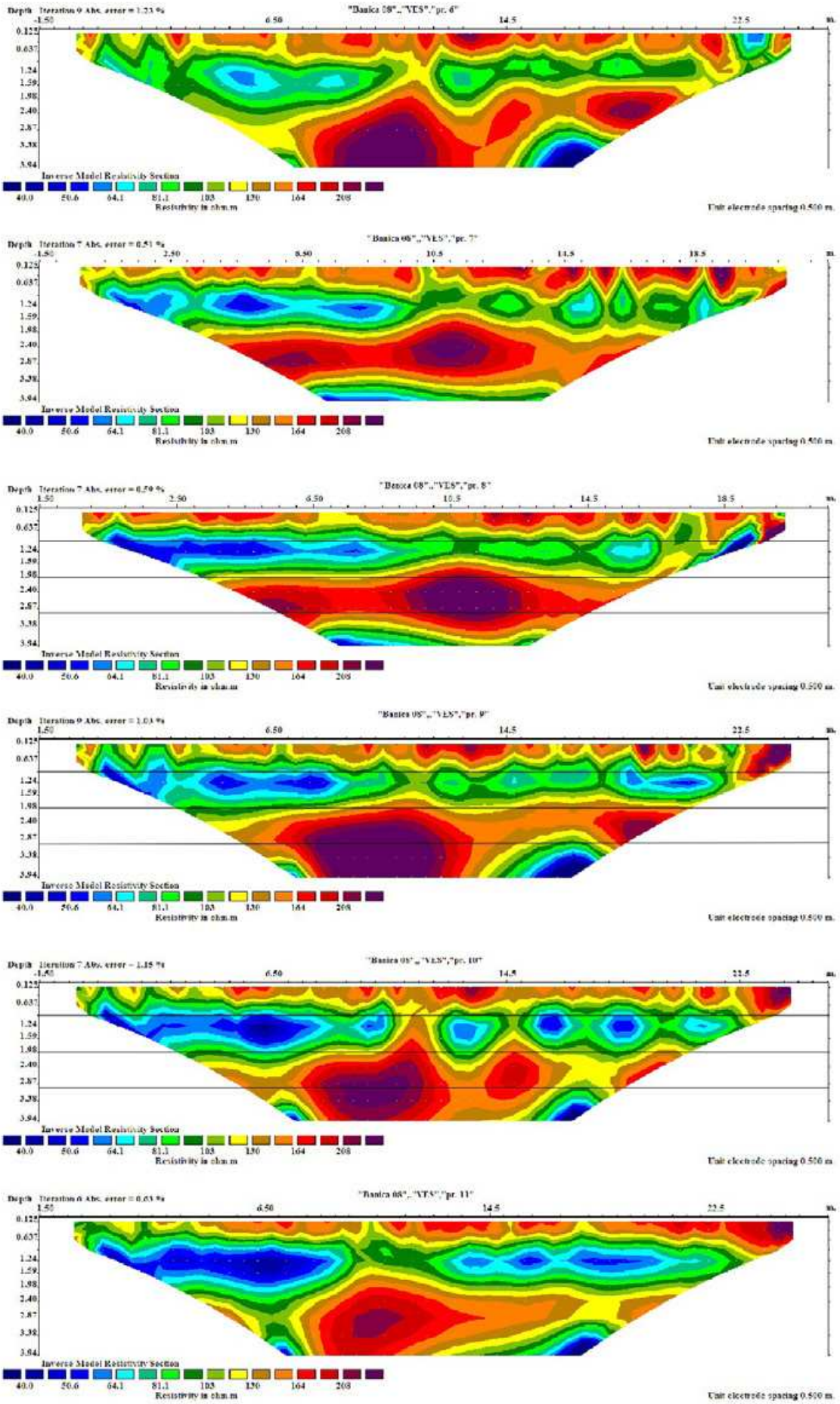


б

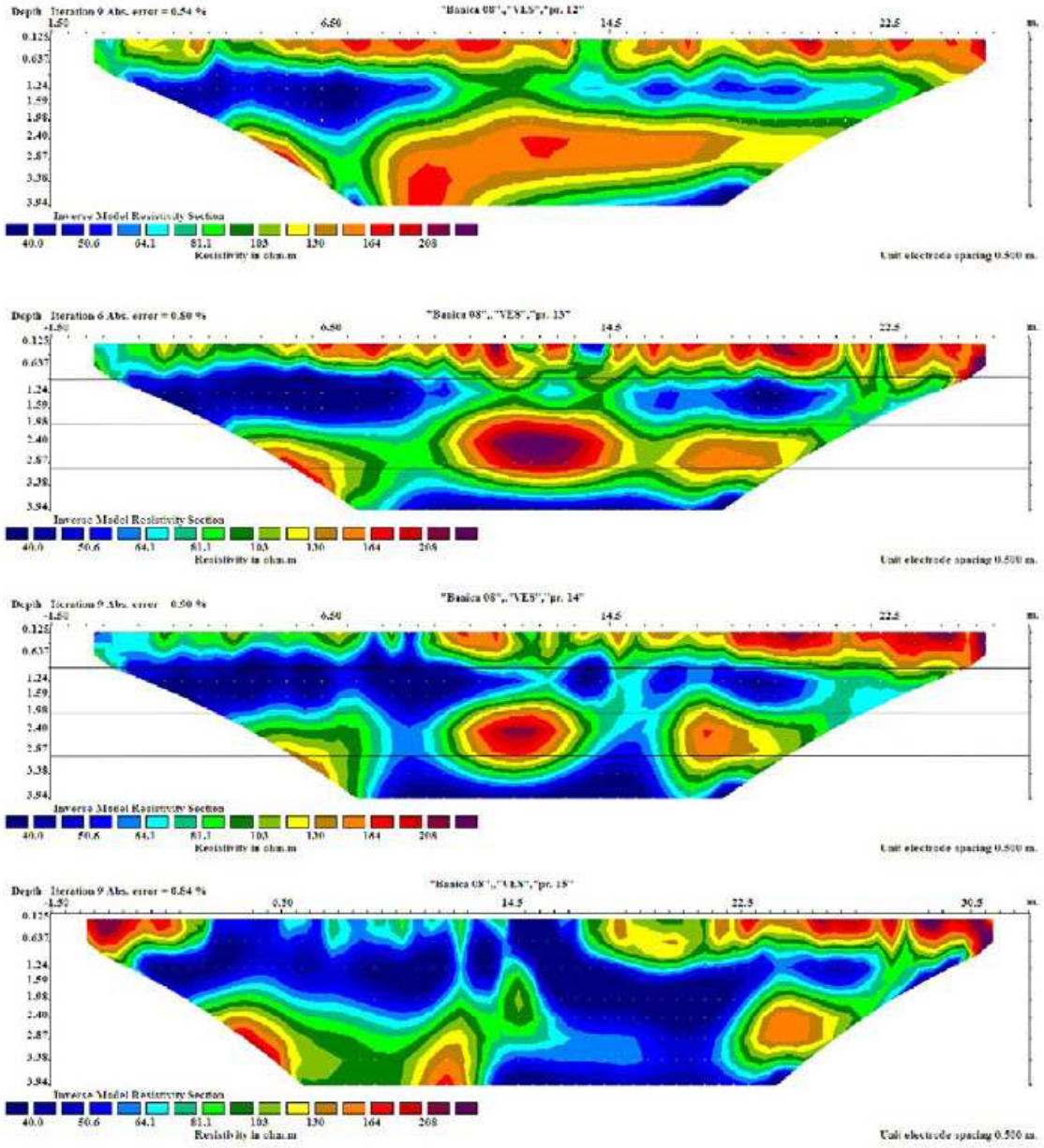
Баница. План на проучената площ и карта на привидното електрическо съпротивление измерено с двуелектродна схема.



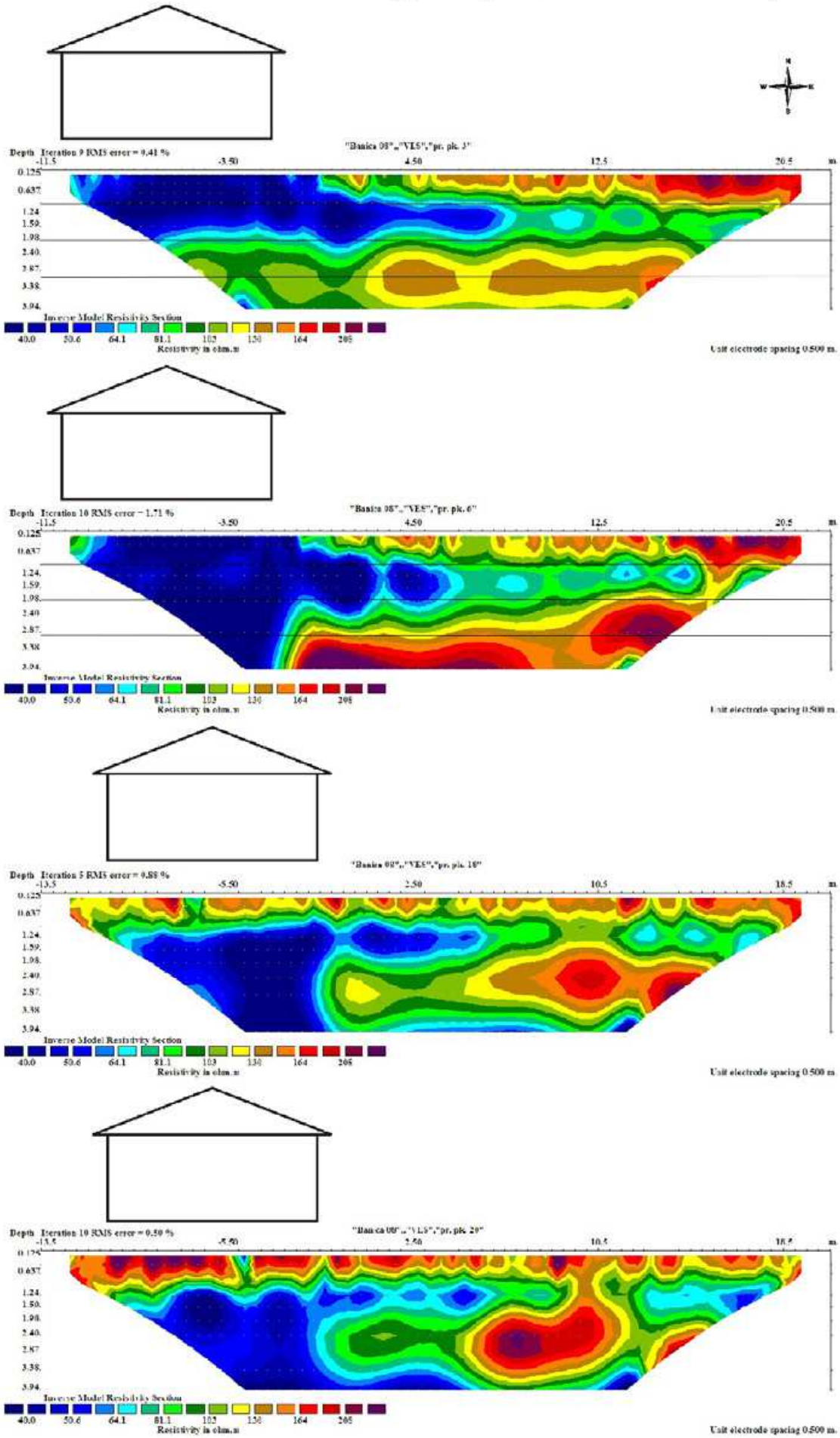
Баница. Двумерни инверсионни модели на електрическото съпротивление по профили 0-5.



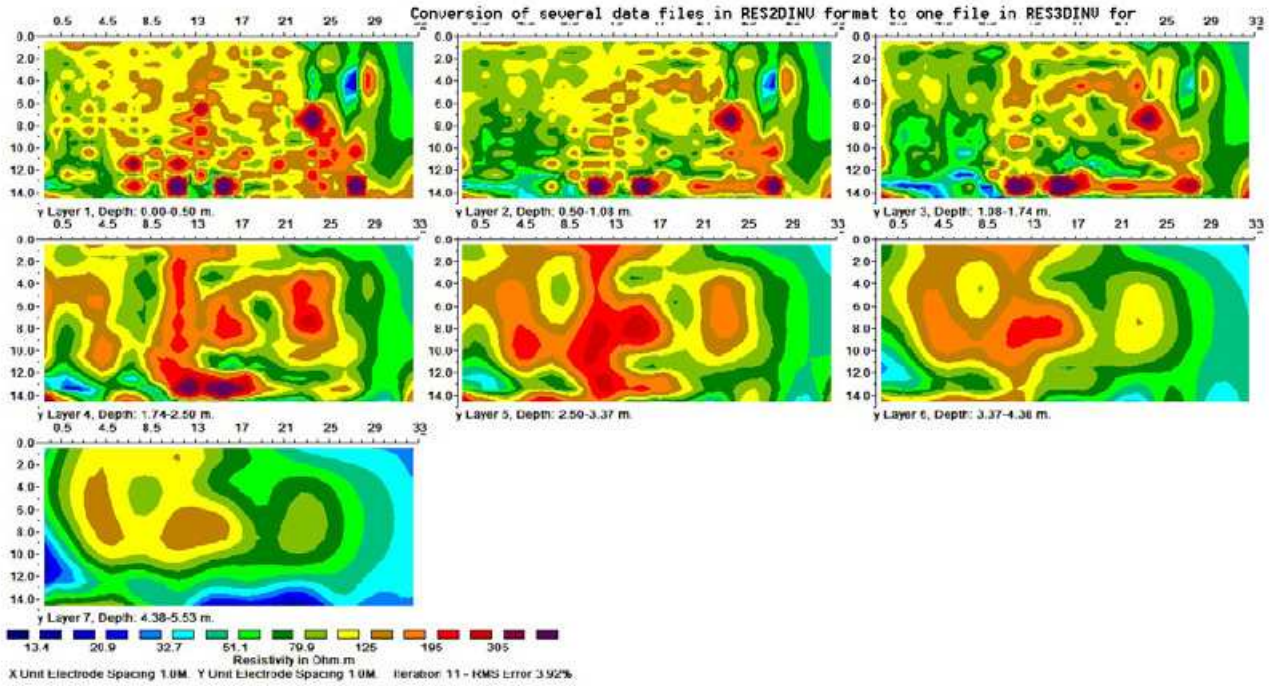
Двумерни инверсионни модели на електрическото съпротивление по профили 6-11.



Двумерни инверсионни модели на електрическото съпротивление по профили 12-15.

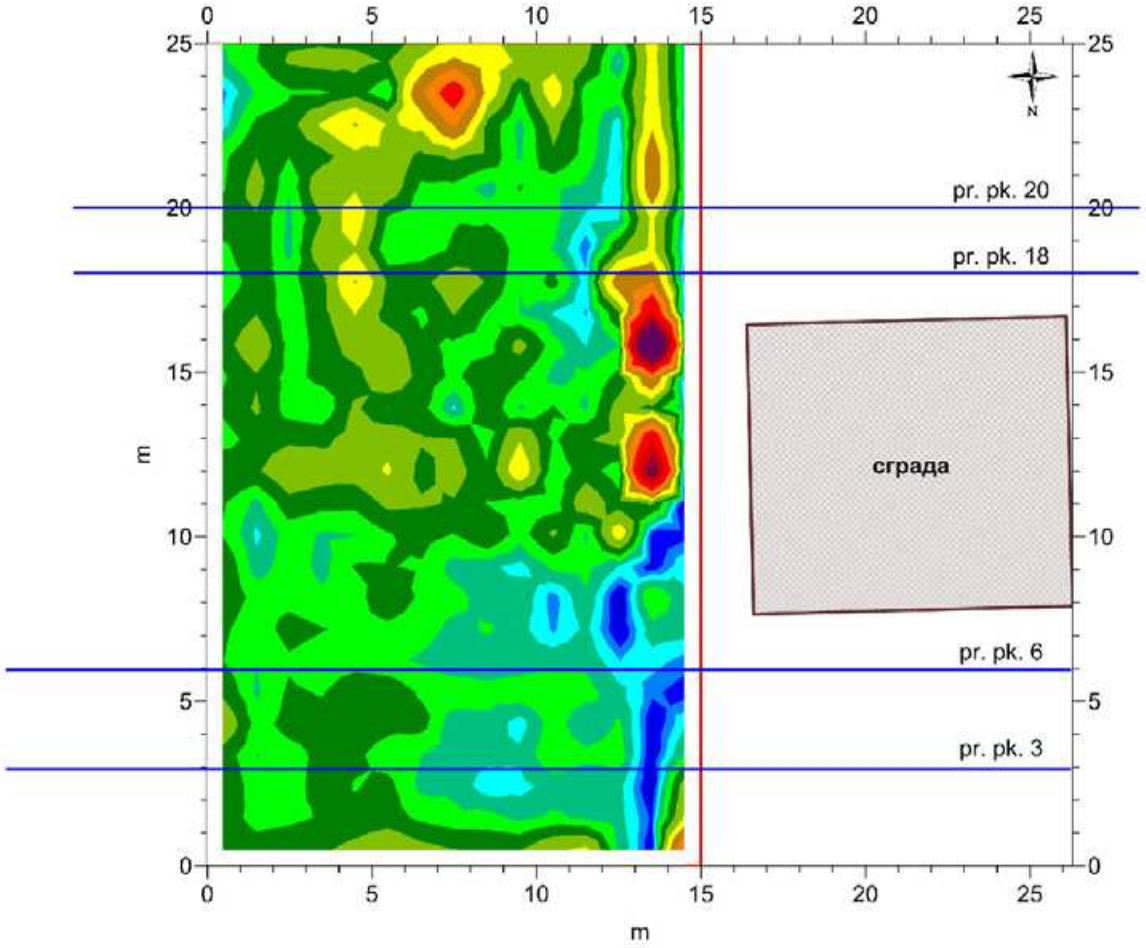


Двумерни инверсионни модели на електрическото съпротивление по профили по пк. 3-20.



а

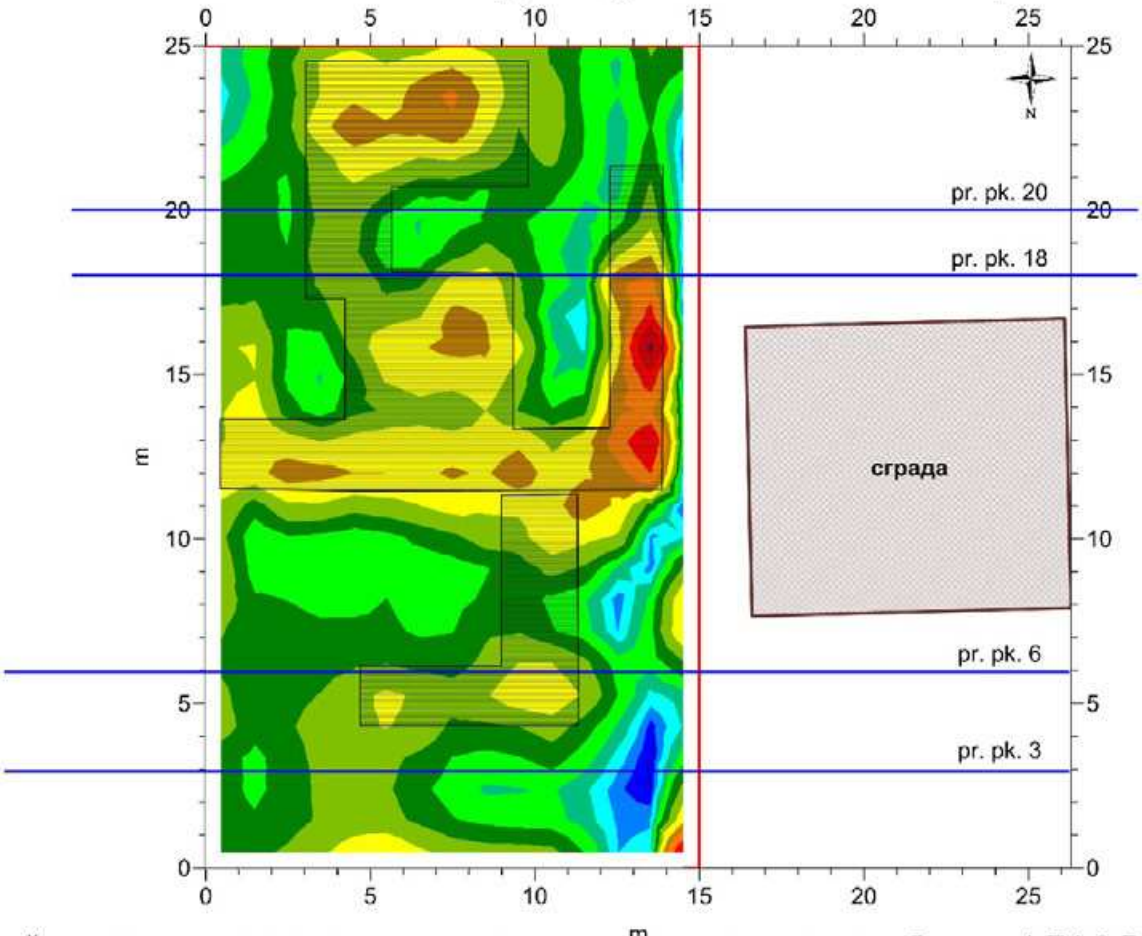
Хоризонтални разрези от тримерния инверсионния модел на електрическото съпротивление.



б

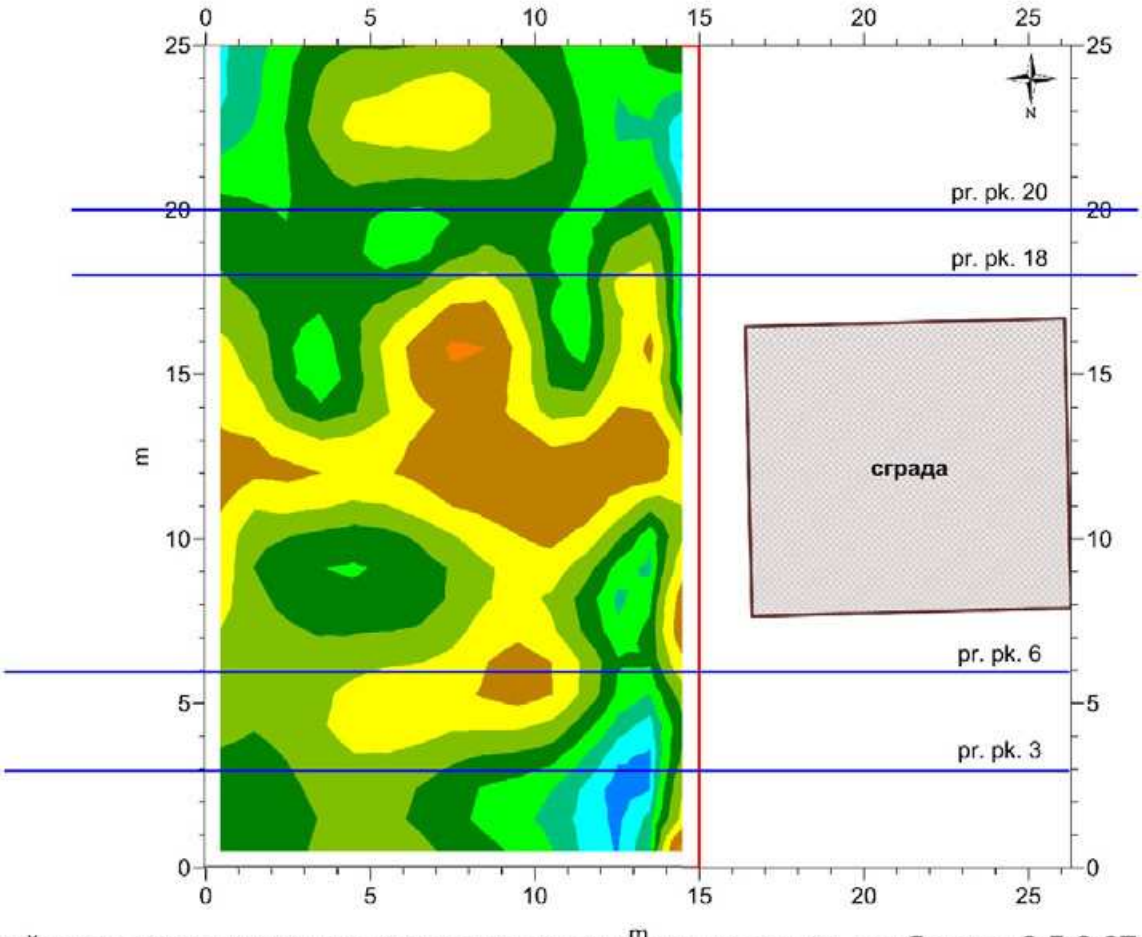
Стойности на съпротивлението от инверсионния модел за дълбочина 1.08-1.74 м.

а

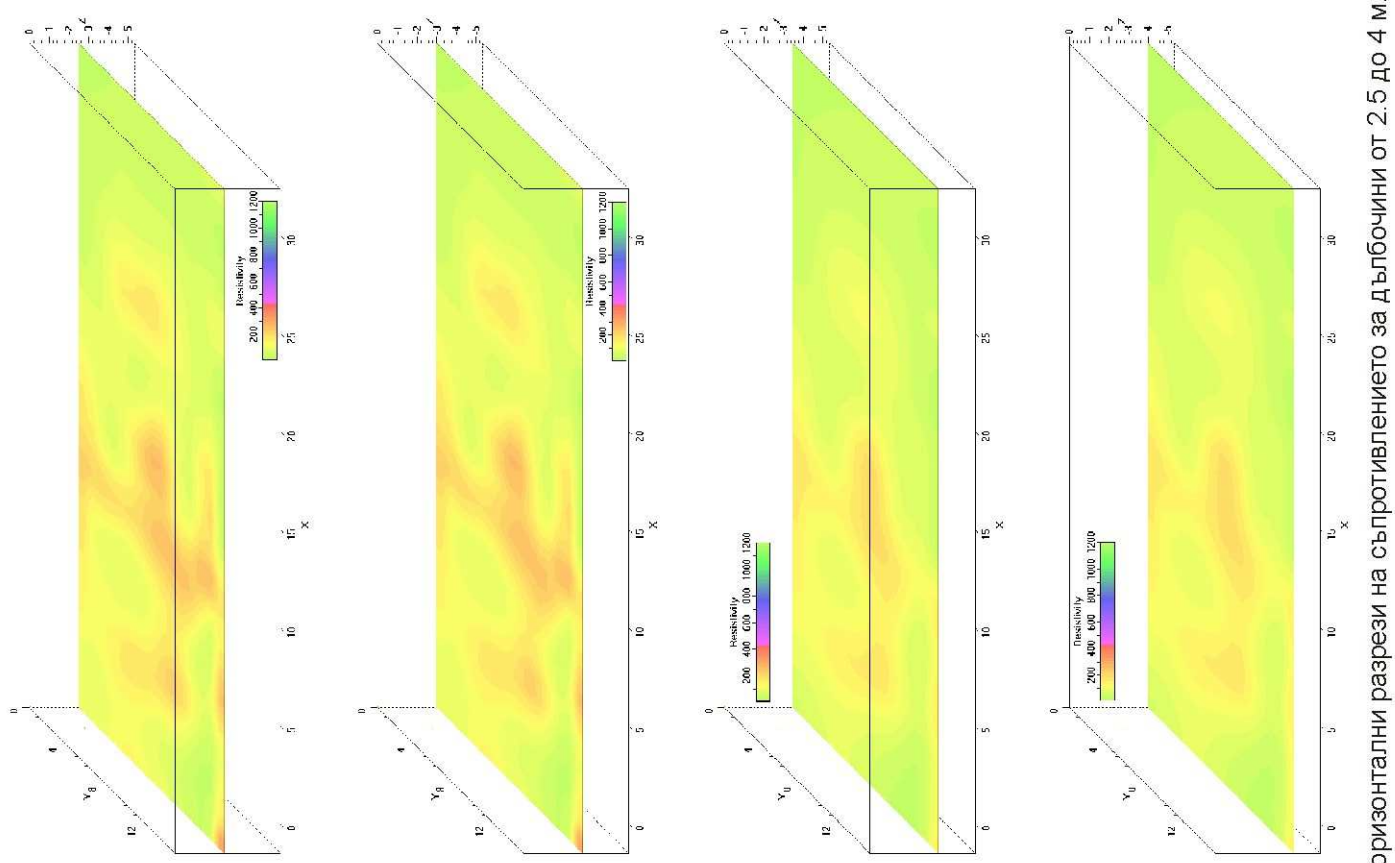


Стойности на съпротивлението от инверсионния модел за дълбочина 1.74-2.5 м.

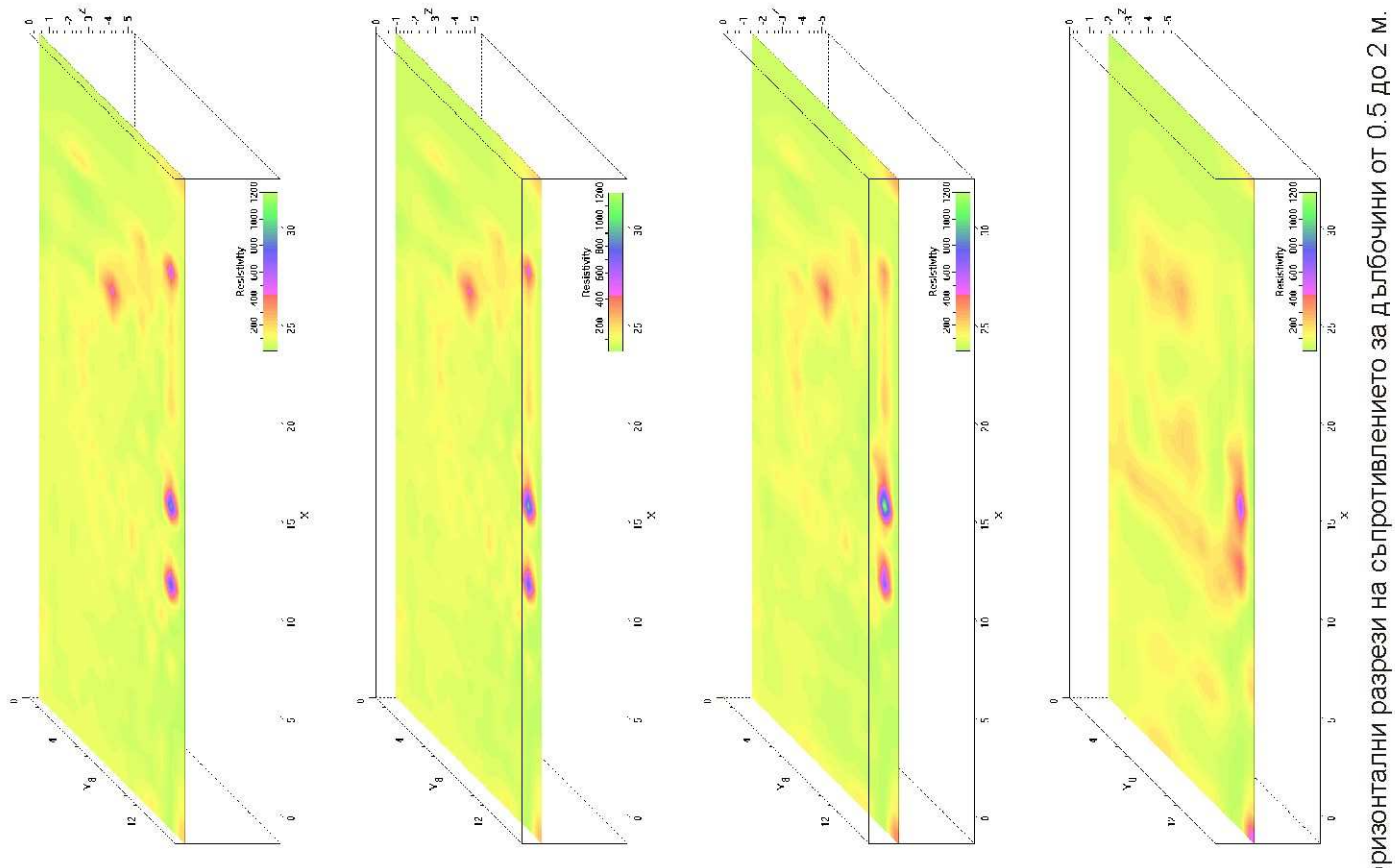
б



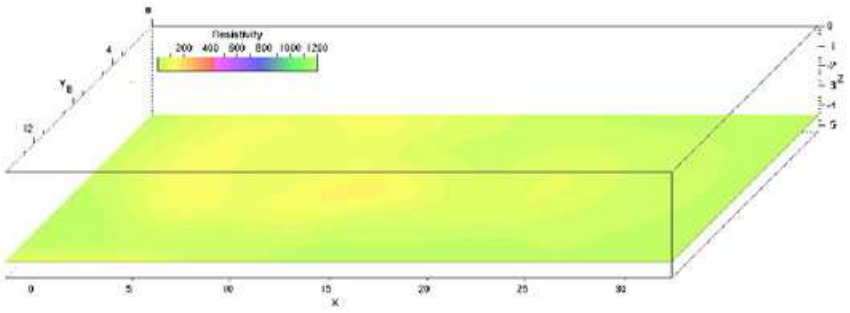
Стойности на съпротивлението от инверсионния модел за дълбочина 2.5-3.37 м.



Хоризонтални разрези на съпротивлението за дълбочини от 2.5 до 4 м.

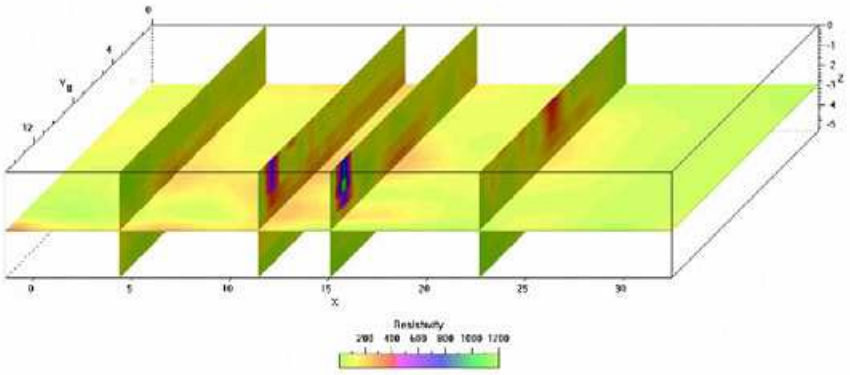


Хоризонтални разрези на съпротивлението за дълбочини от 0.5 до 2 м.



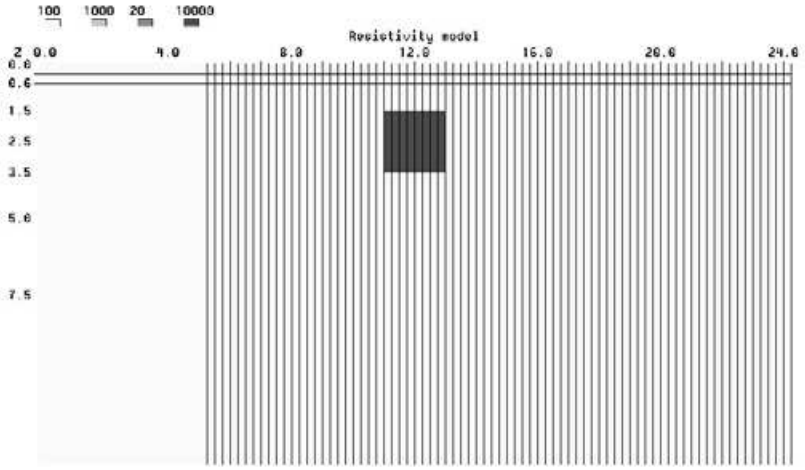
а

Хоризонтален разрез на съпротивлението за дълбочини от 4.5 м.

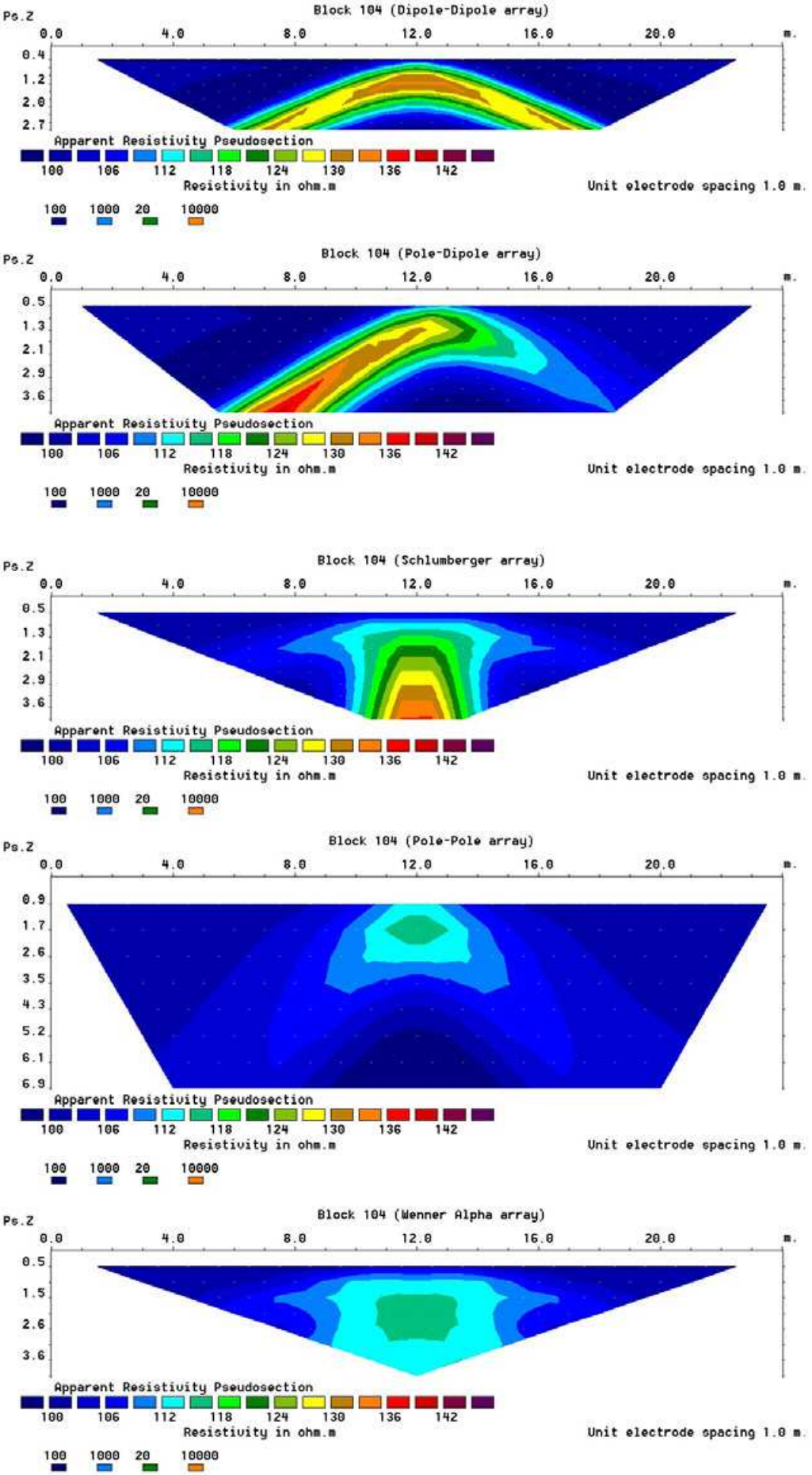


б

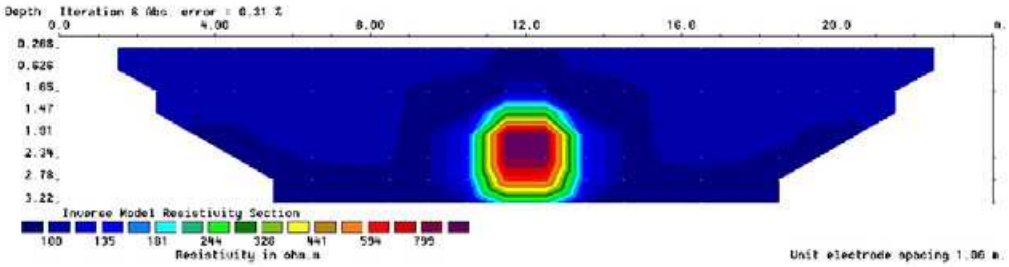
Хоризонтален разрез на съпротивлението за дълбочина 3 м и вертикални разрези през регистрираните аномалии.



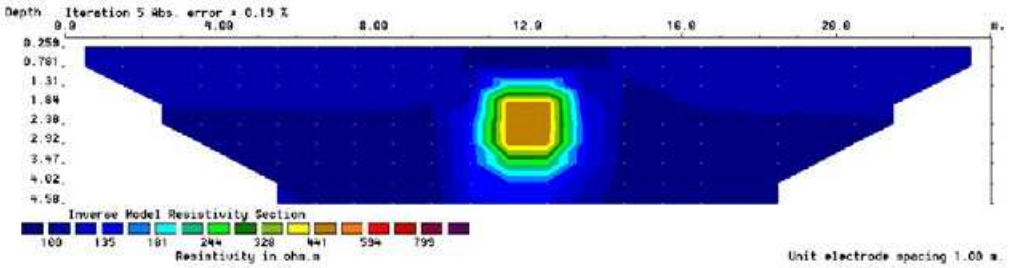
Модел на високосъпротивителен блок



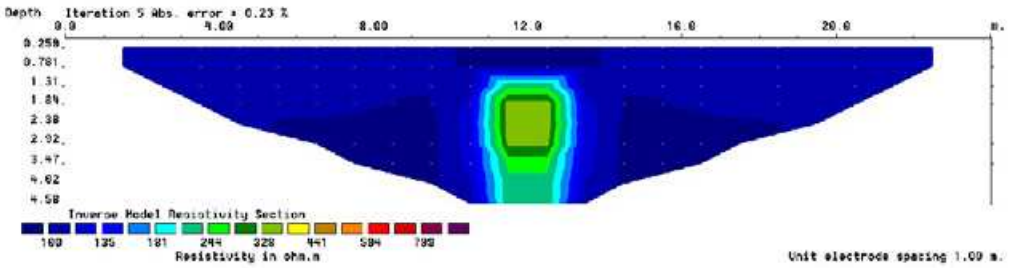
Резултати от моделните изчисления за високосъпротивителен блок за различните електродни схеми



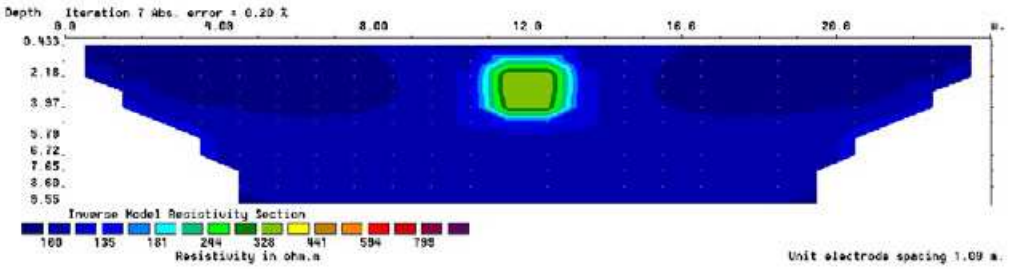
диполна



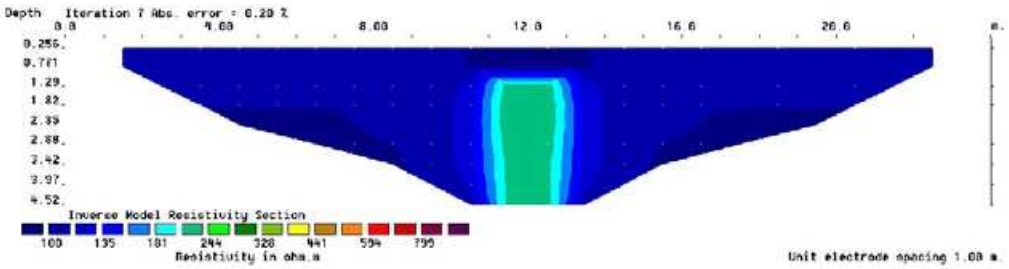
триелектродна



Шлюмберже

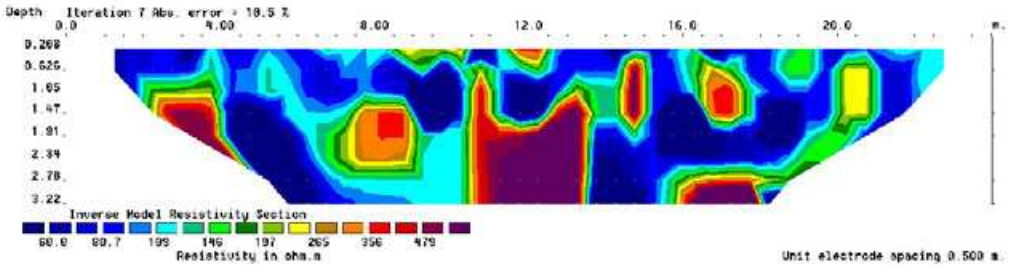


двуелектродна

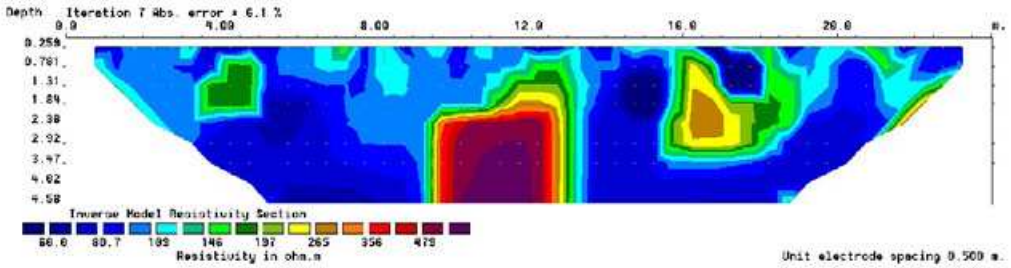


Венер

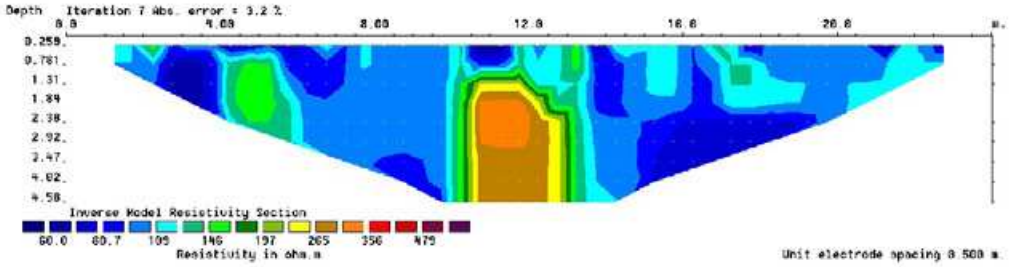
Инверсионни модели въз основа на моделните изчисления за високосъпротивителен блок



диполна

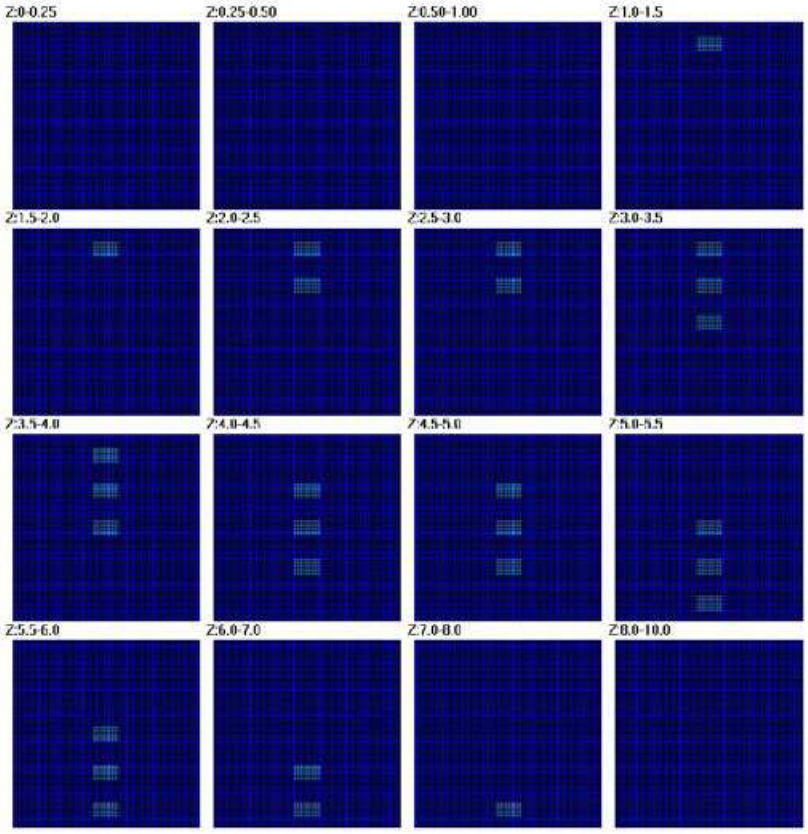


триелектродна

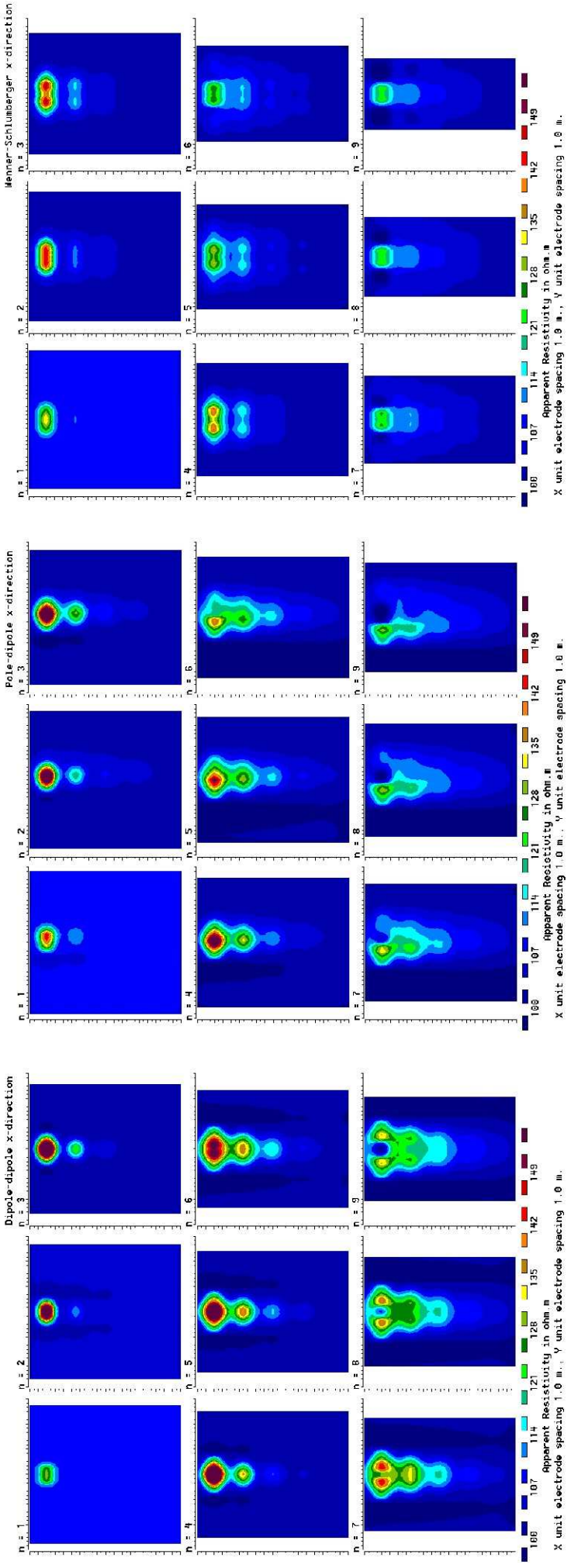


Шлюмберже

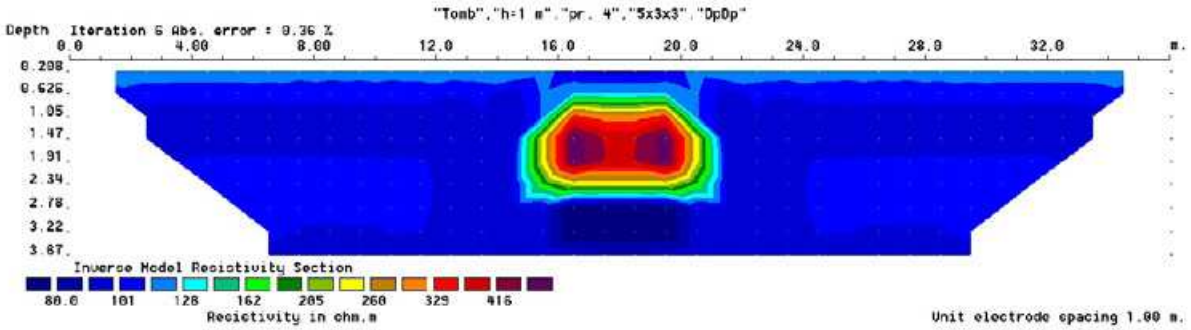
Резултати от инверсионното моделиране на моделните изчисления за високосъпротивителен блок при внесена грешка

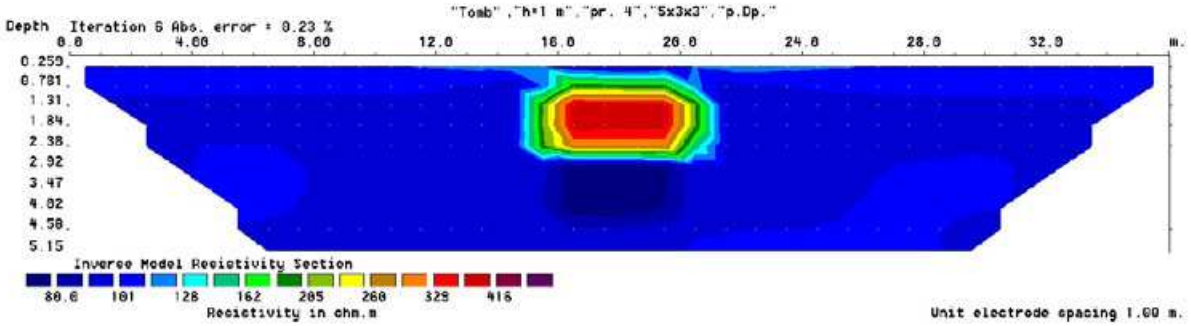


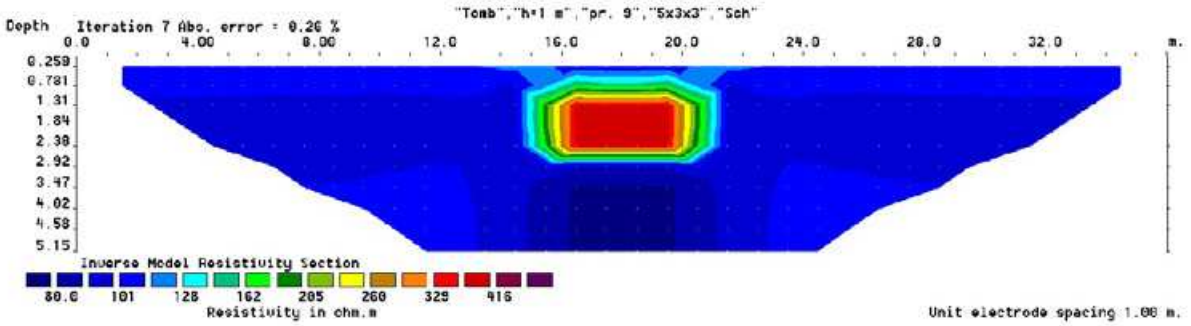
Модел на гробница с размери 5x3x3 разположена на различна дълбочина от повъхността



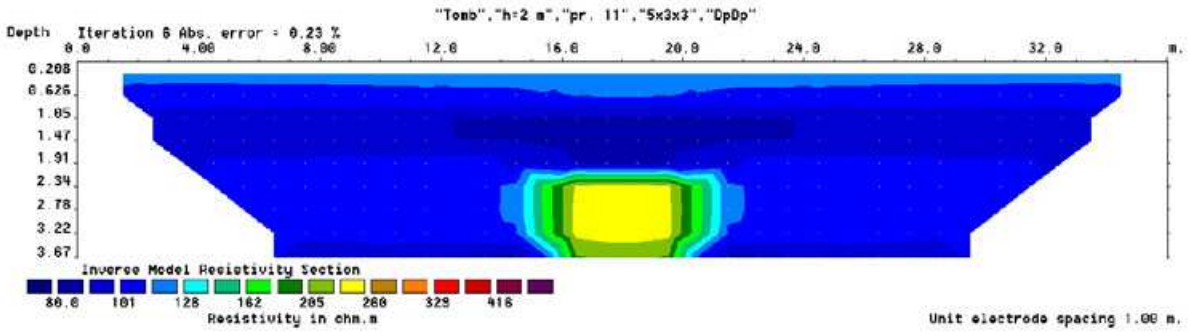
Резултати от моделните изчисления за модел на гробница

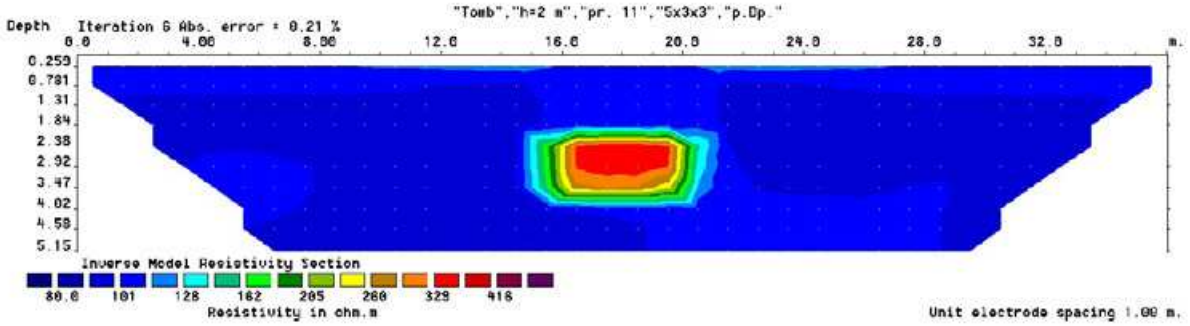


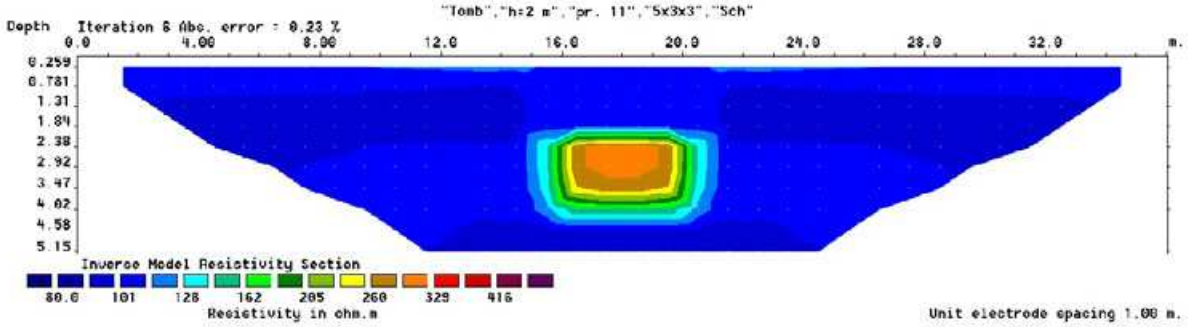




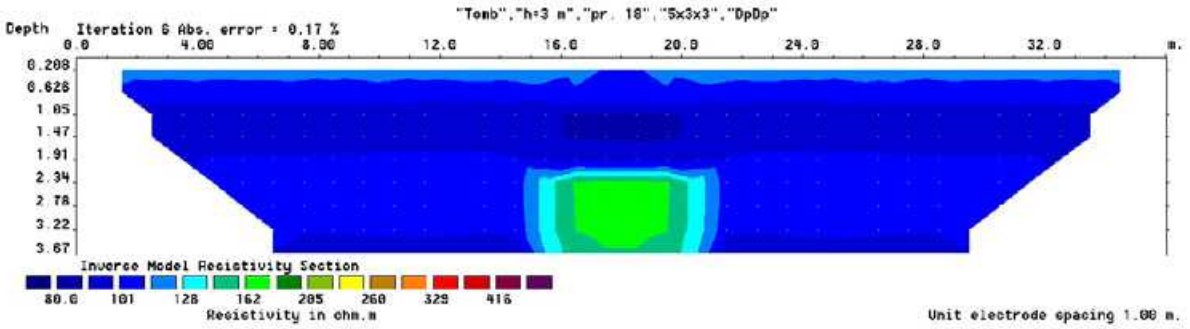
Резултати от инверсионното моделиране на моделните изчисления за гробница разположена на 1 м от повърхността

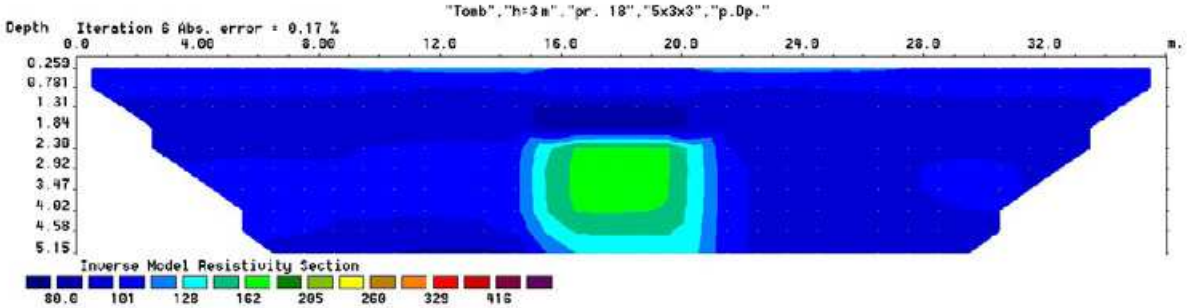


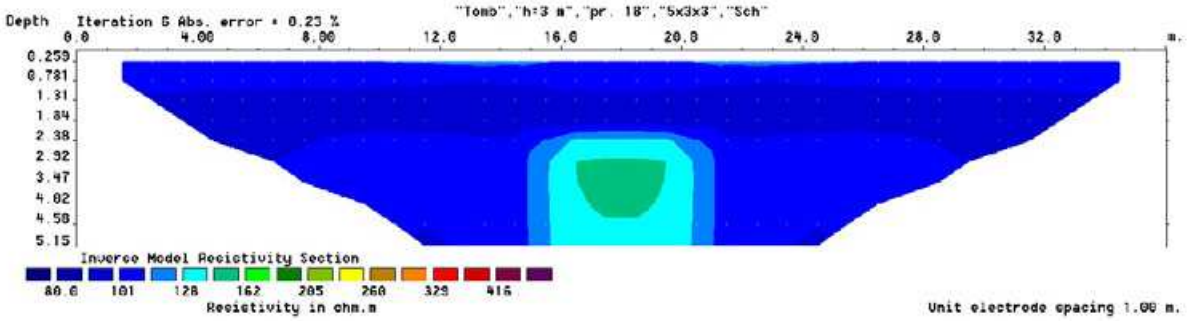




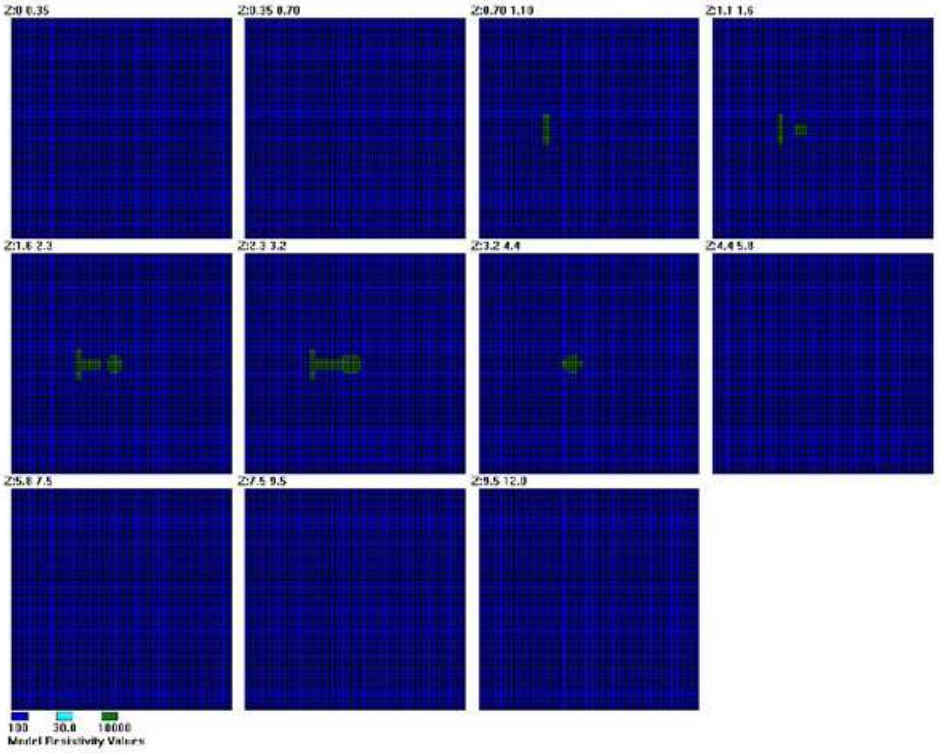
Резултати от инверсионното моделиране на моделните изчисления за гробница разположена на 2 м от повърхността

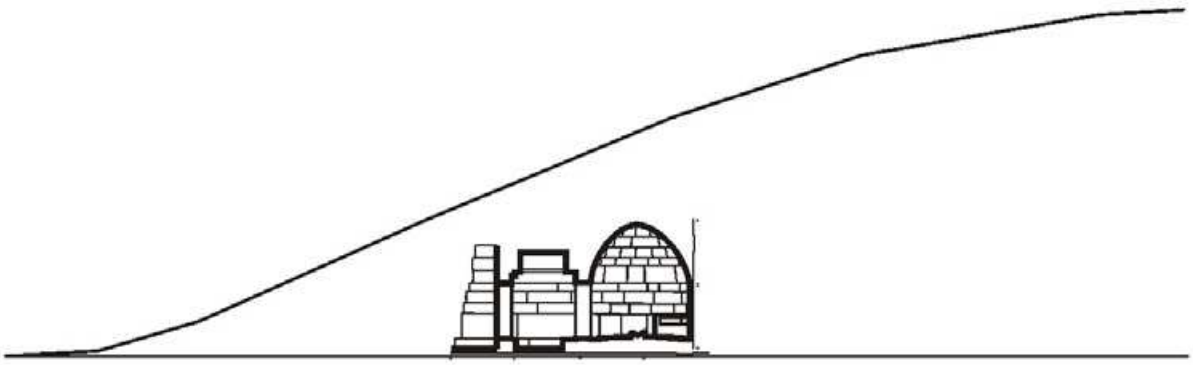




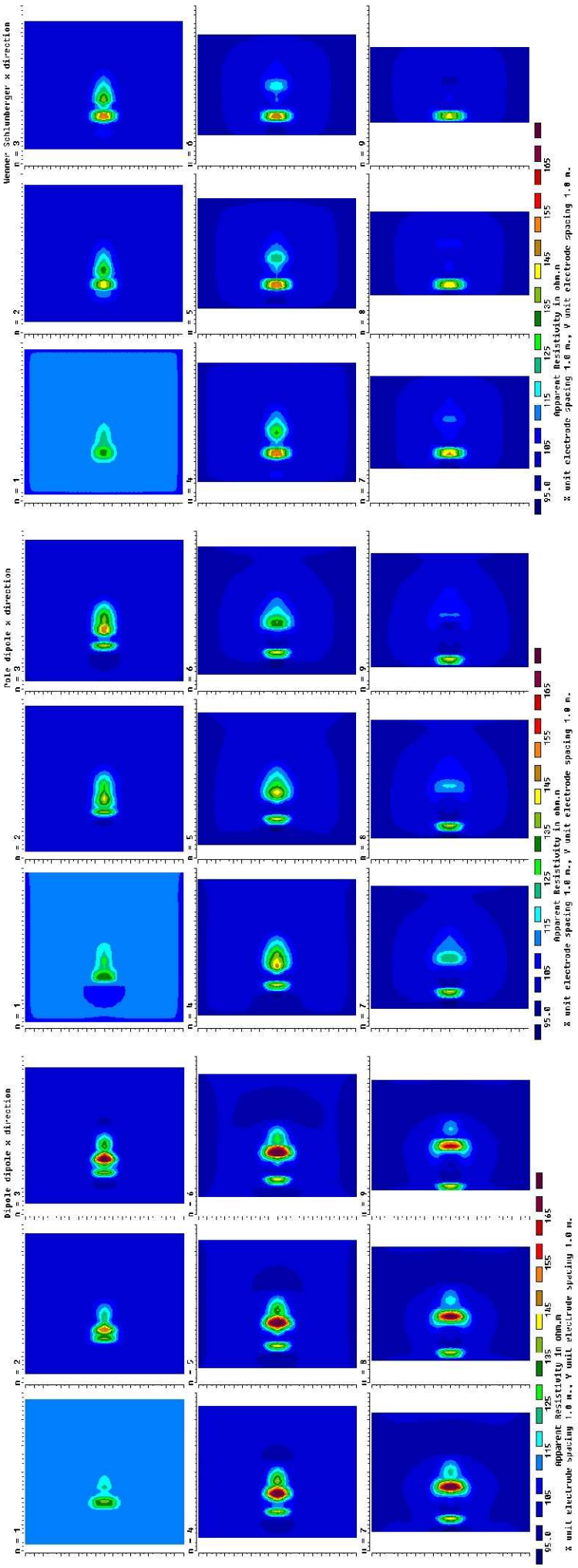


Резултати от инверсионното моделиране на моделните изчисления за гробница разположена на 3 м от повърхността

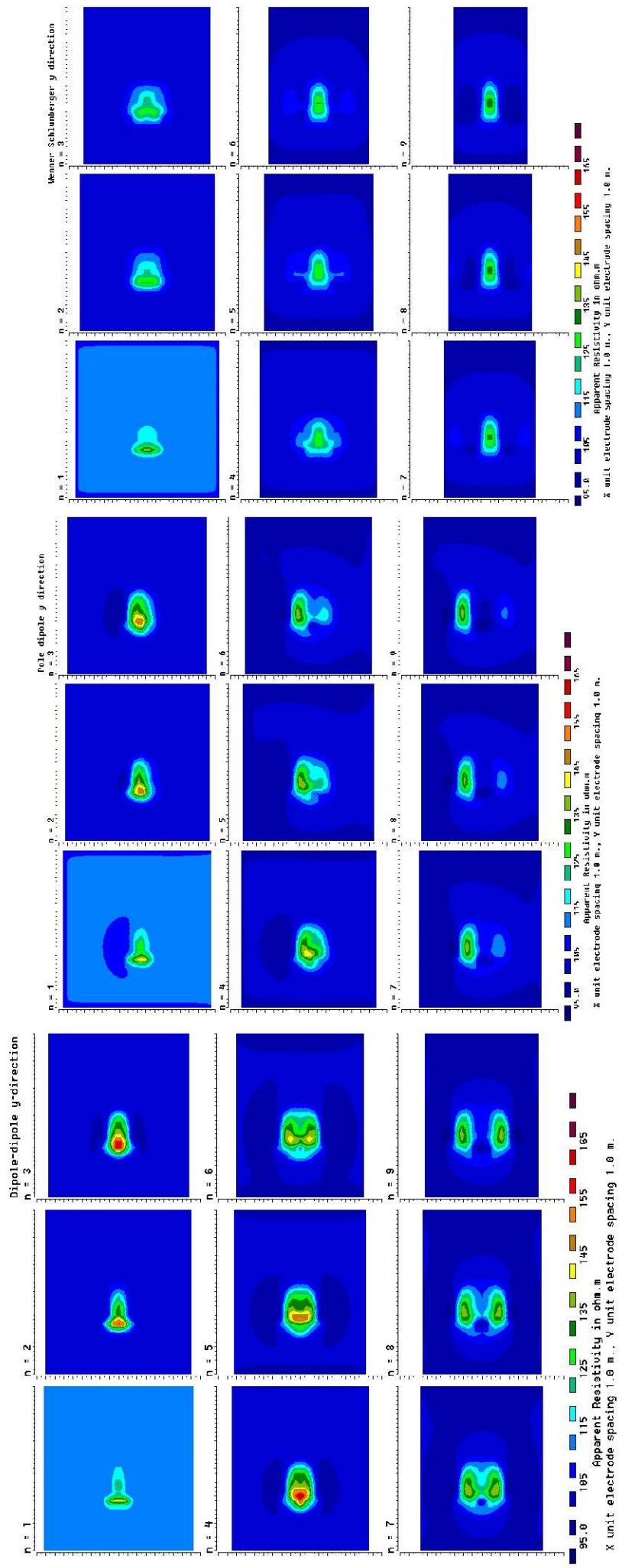




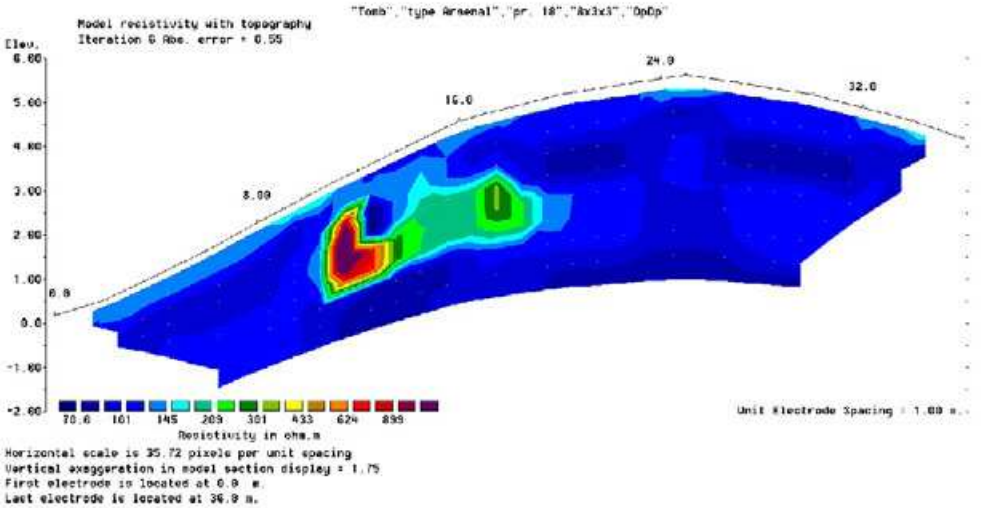
Модел на реална гробница
(по данни от гробницата в могилата Голяма Арсеналка при Шипка)

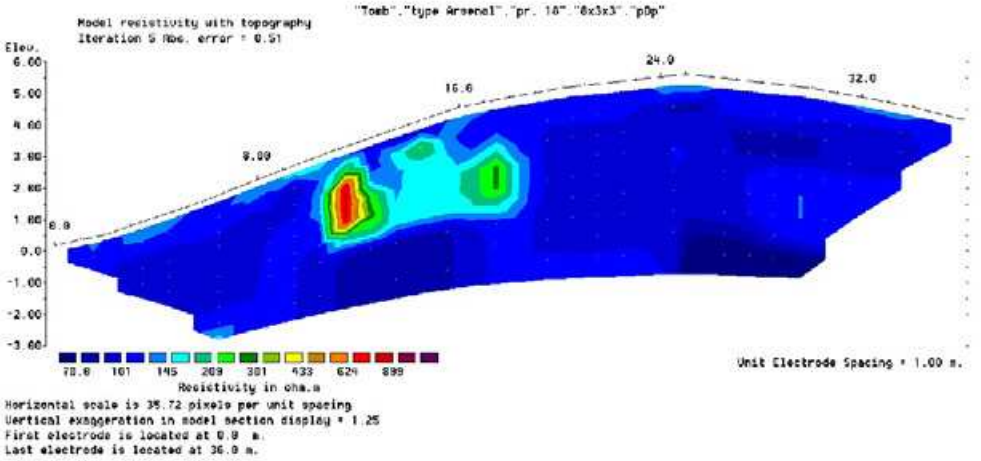


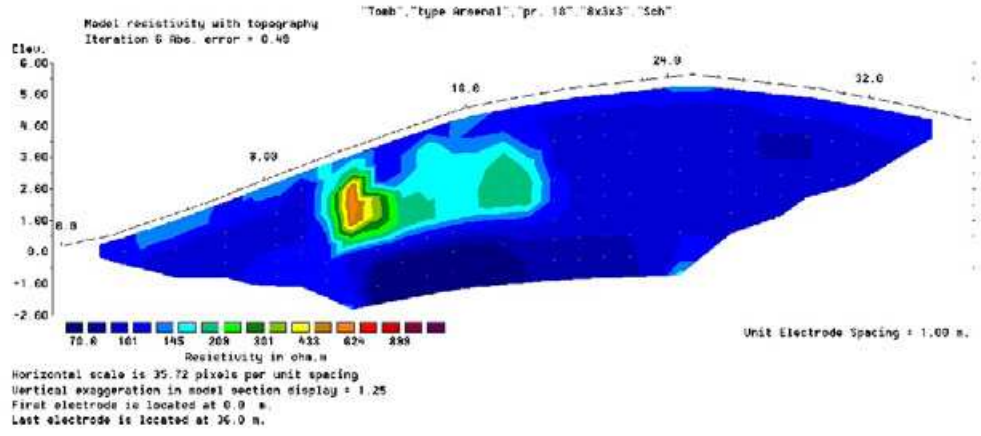
Резултати от моделните изчисления при надлъжни профили



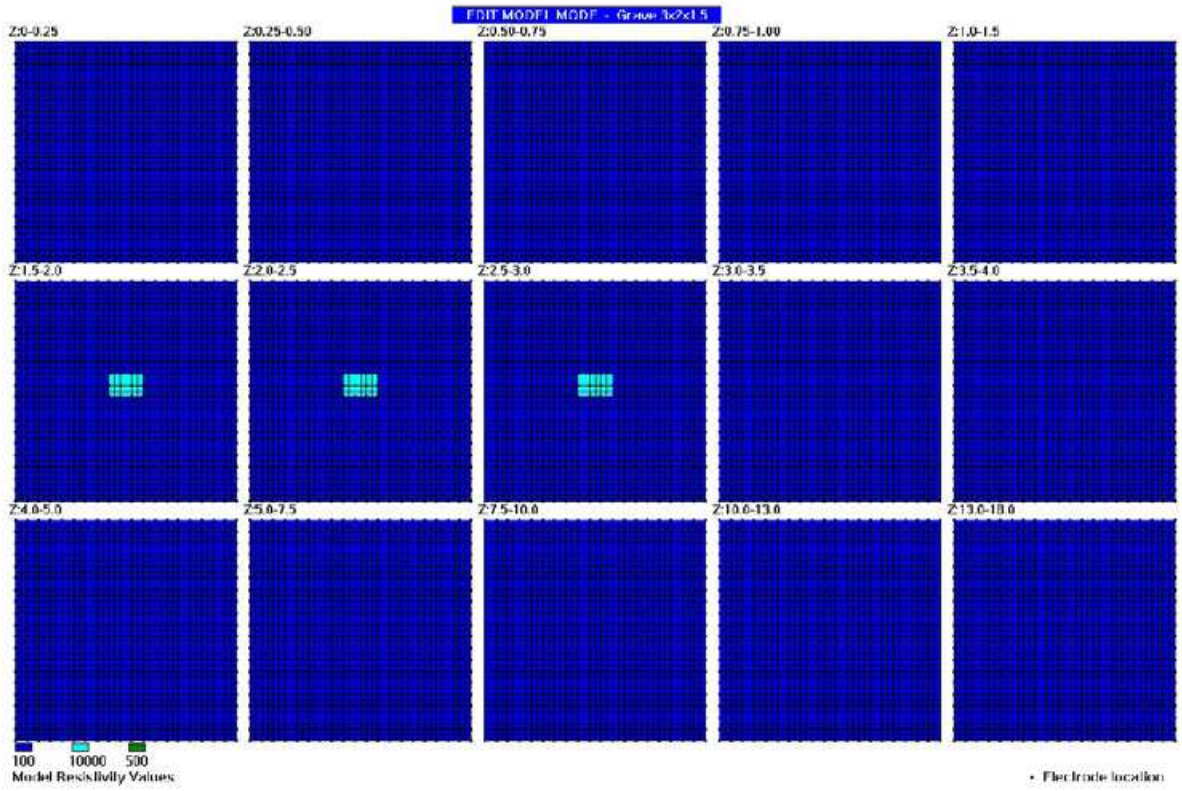
Резултати от моделните изчисления при напречни профили



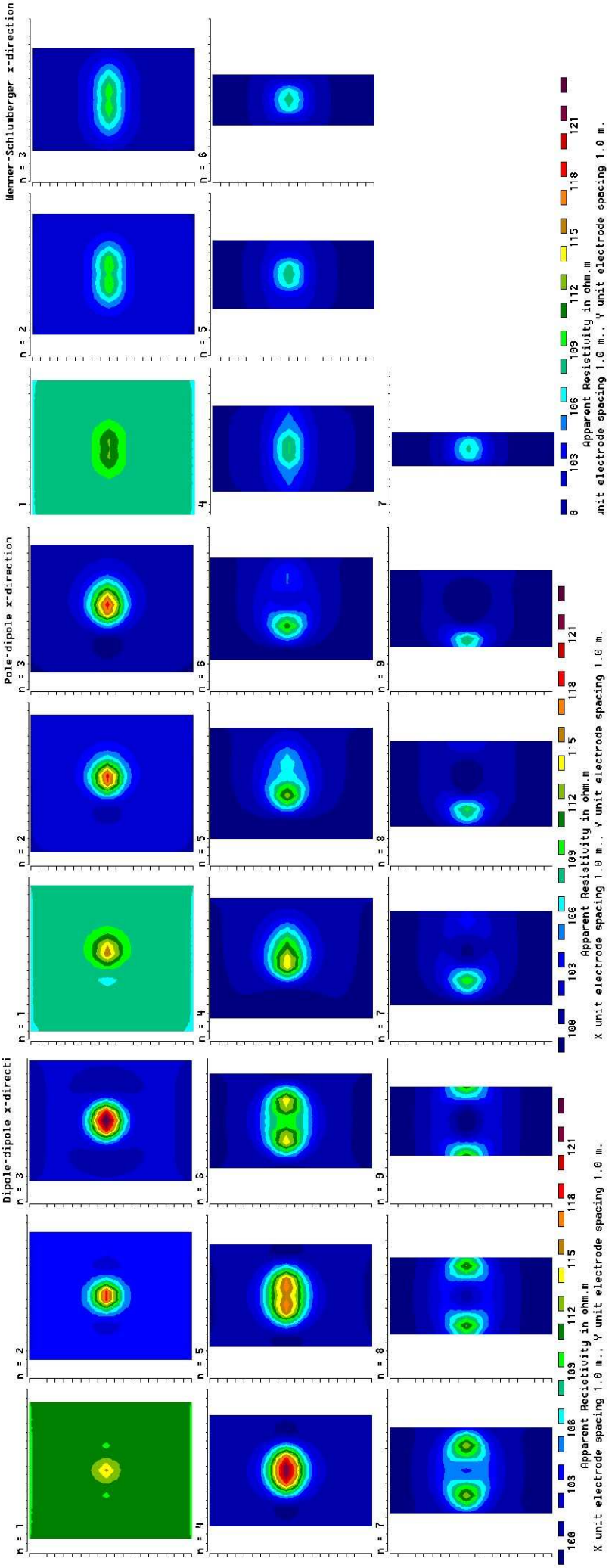




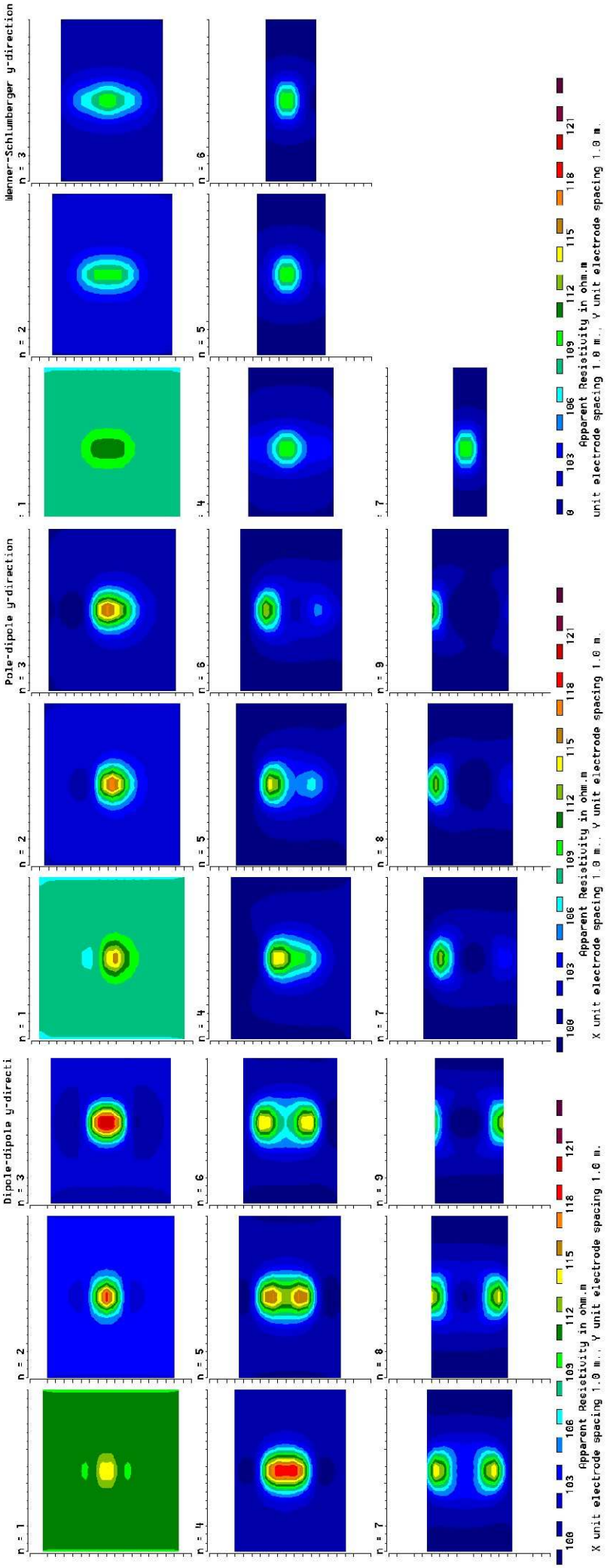
Резултати от инверсионното моделиране по профил през средата на гробницата



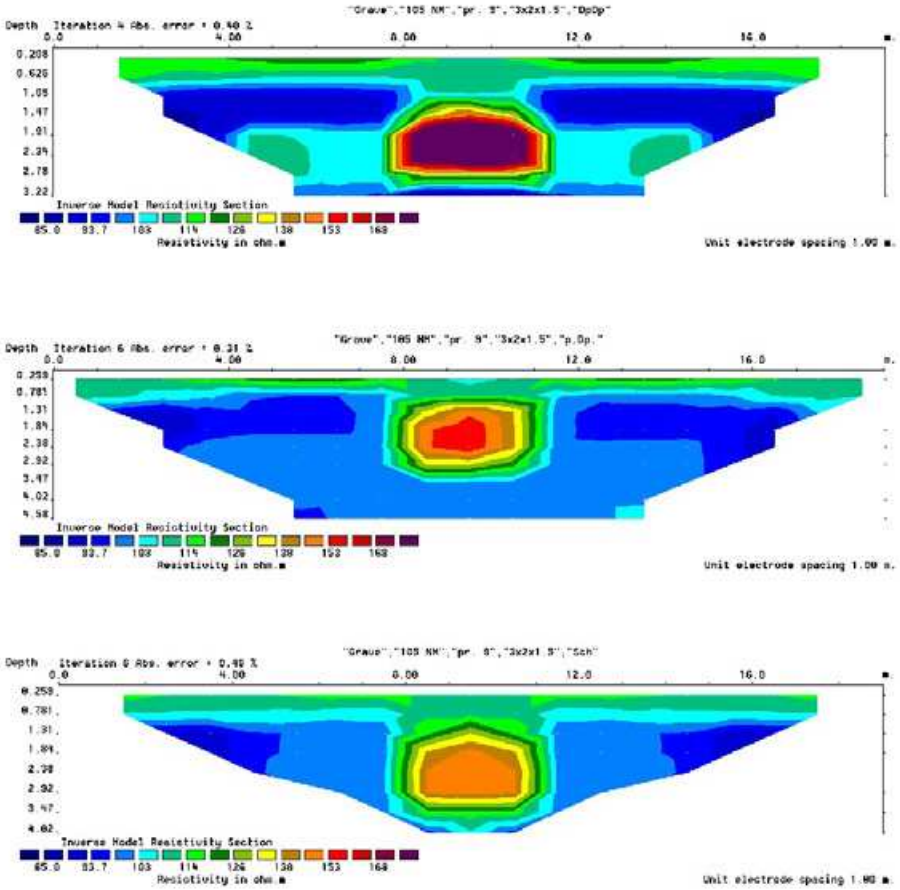
Модел на зидан гроб



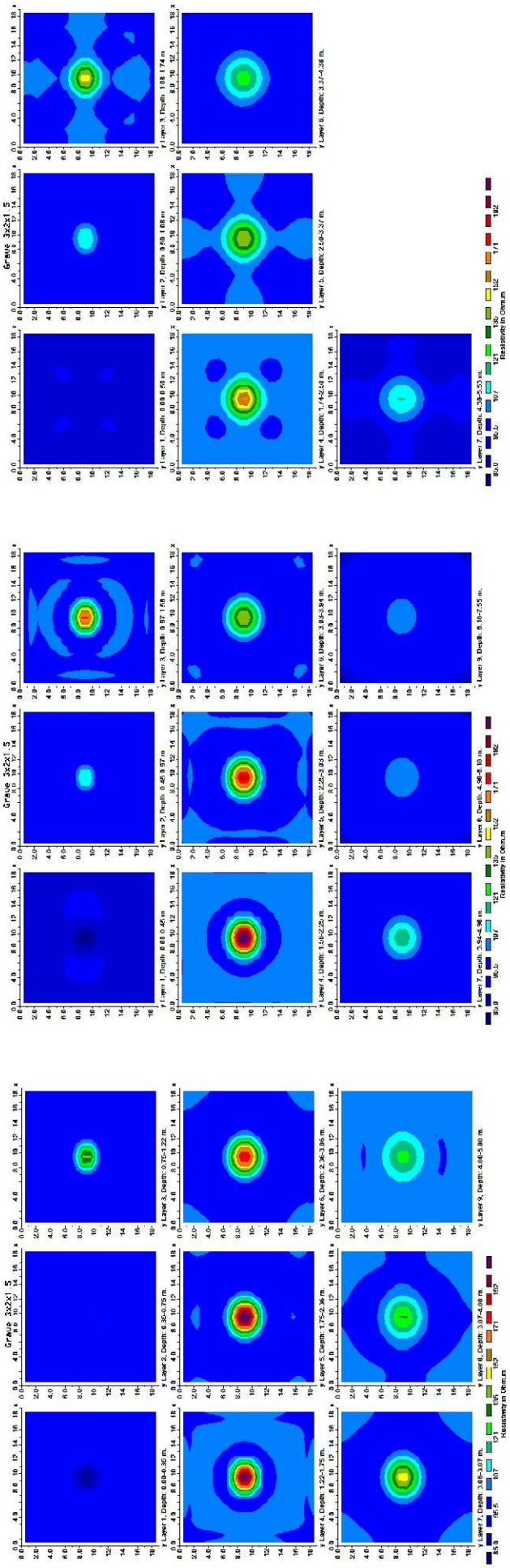
Резултати от моделните изчисления за зидан гроб при надлъжни профили



Резултати от моделните изчисления за зидан гроб при напречни профили



Резултати от двумерното инверсионно моделиране по профил през средата на гроба



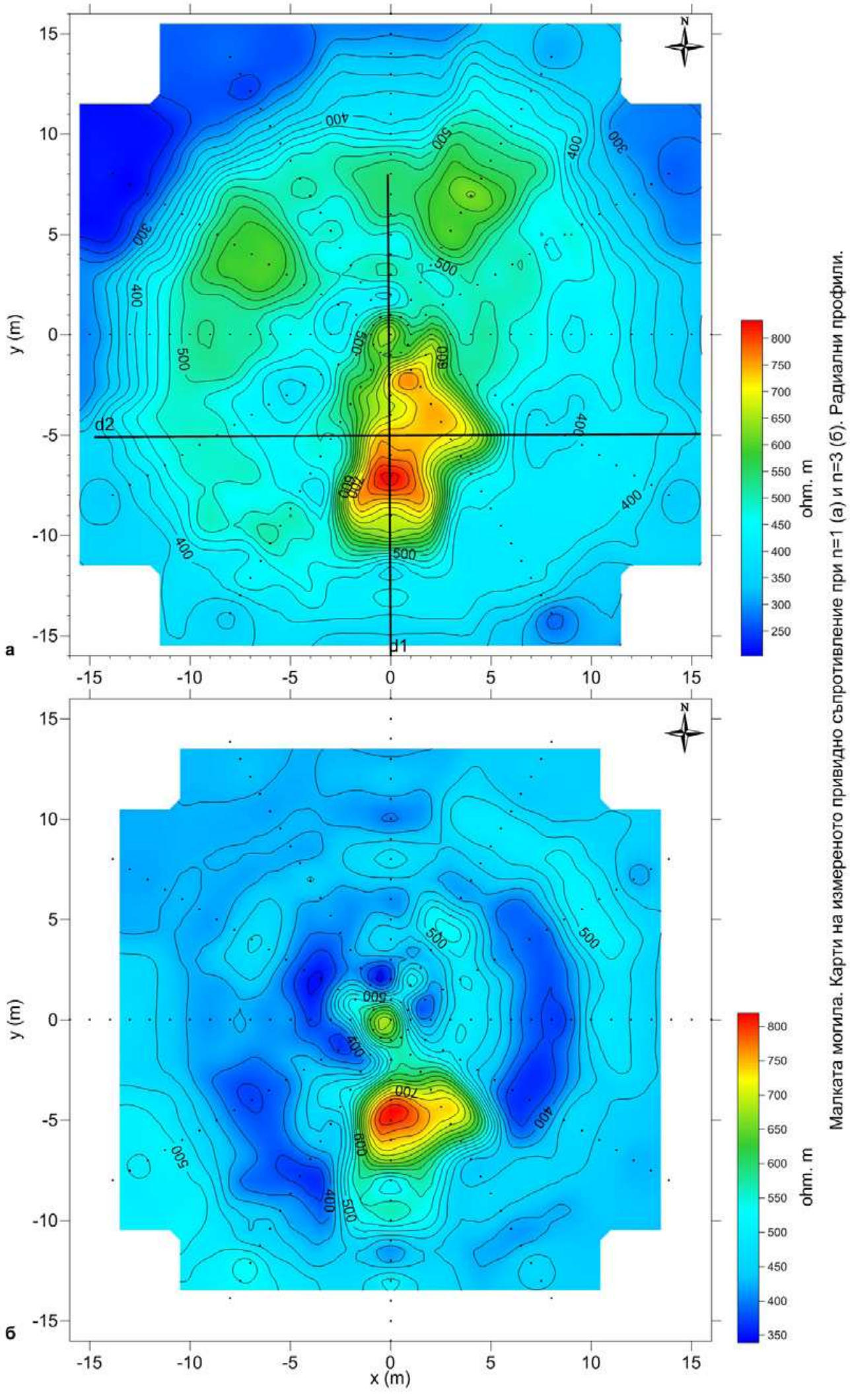
Резултати от тримерното инверсионно моделиране за модел на гроб



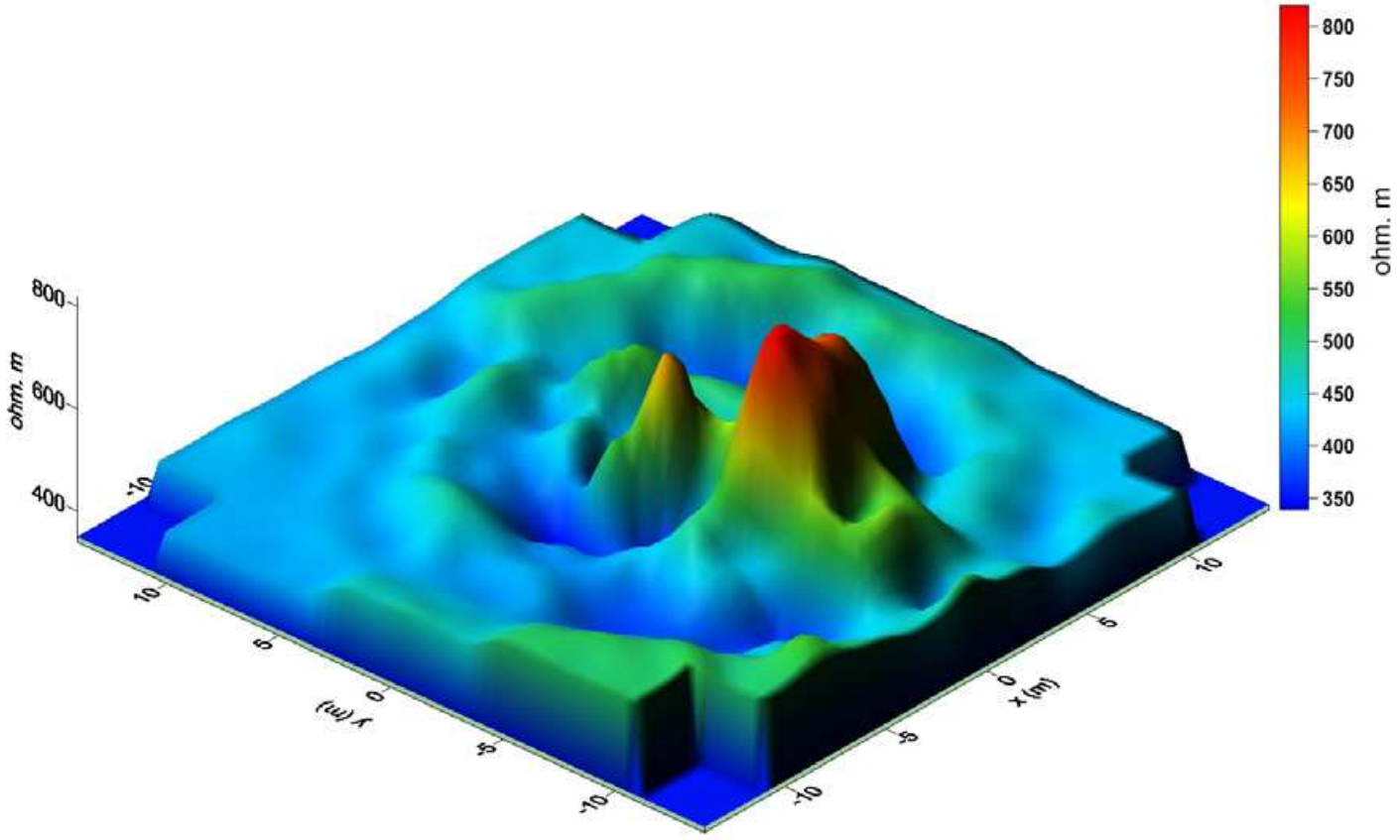
Карта на разположението на коментираните в текста могили



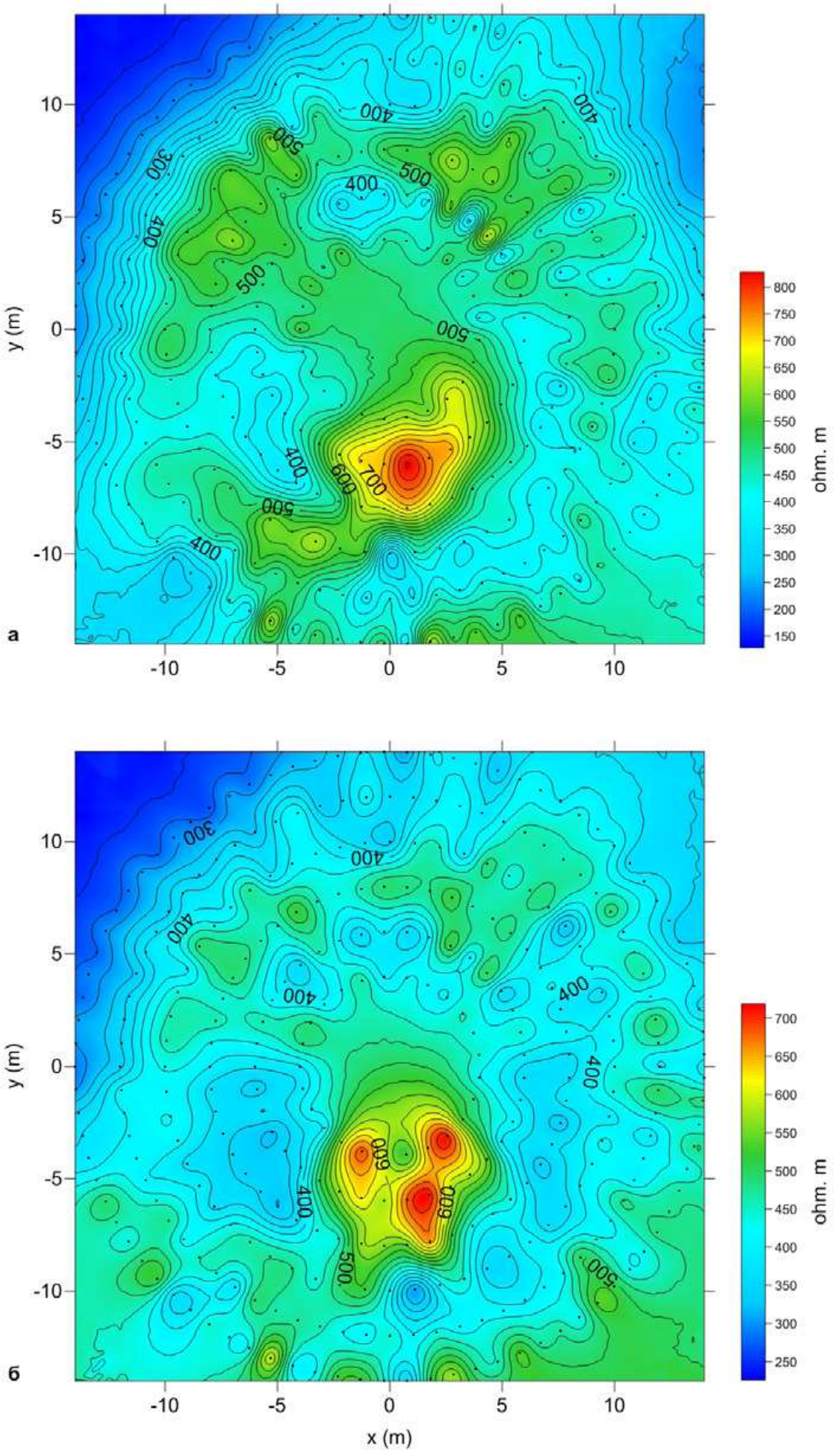
Малката могила, поглед от изток.



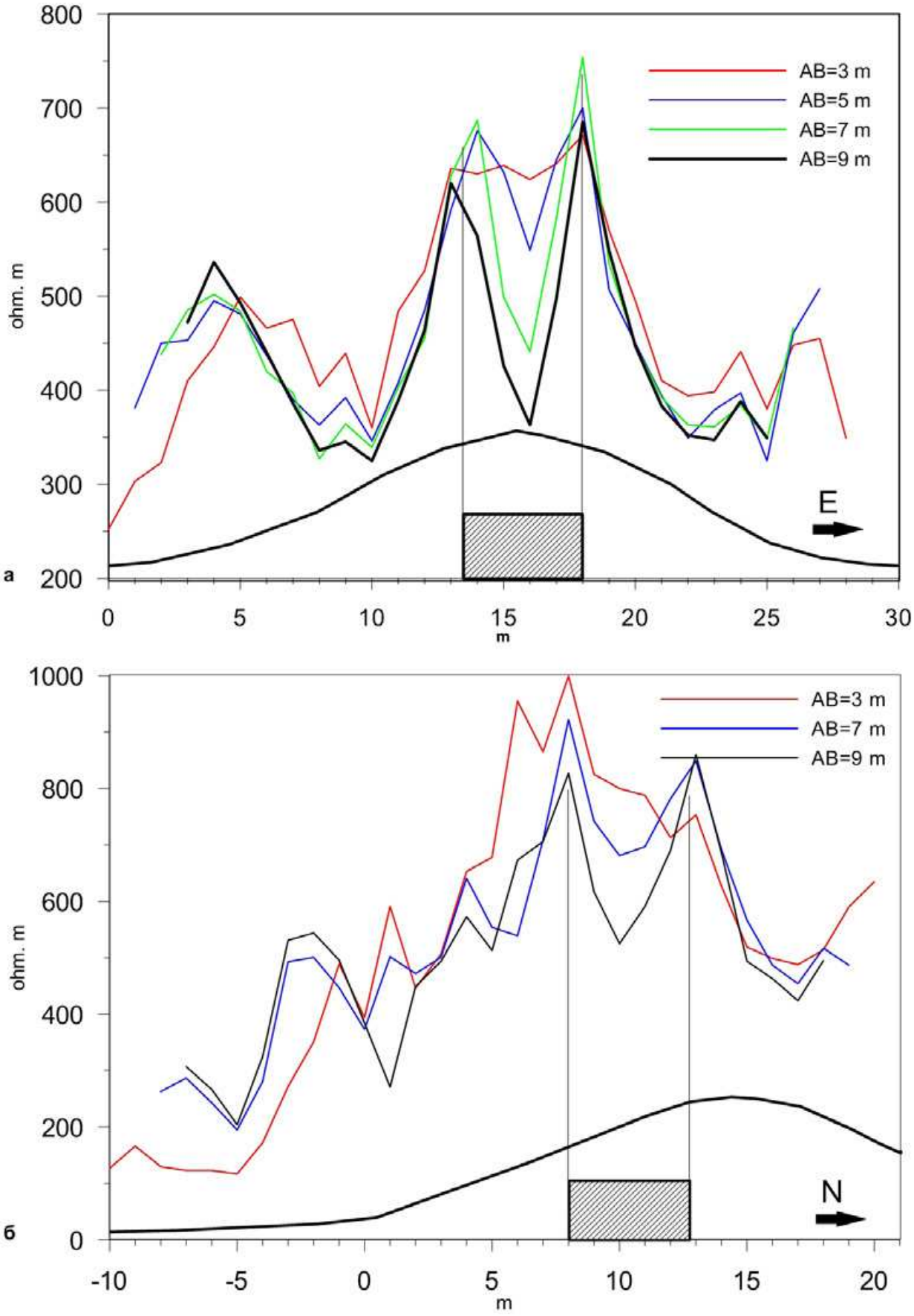
Малката могила. Карти на измереното привидно съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б). Радиални профили.



Тримерно изображение на измереното привидно съпротивление при n=3. Радиални профили.



Малката могила. Карти на измереното привидно съпротивление при n=1 (а) и n=2 (б). Кръгови профили.



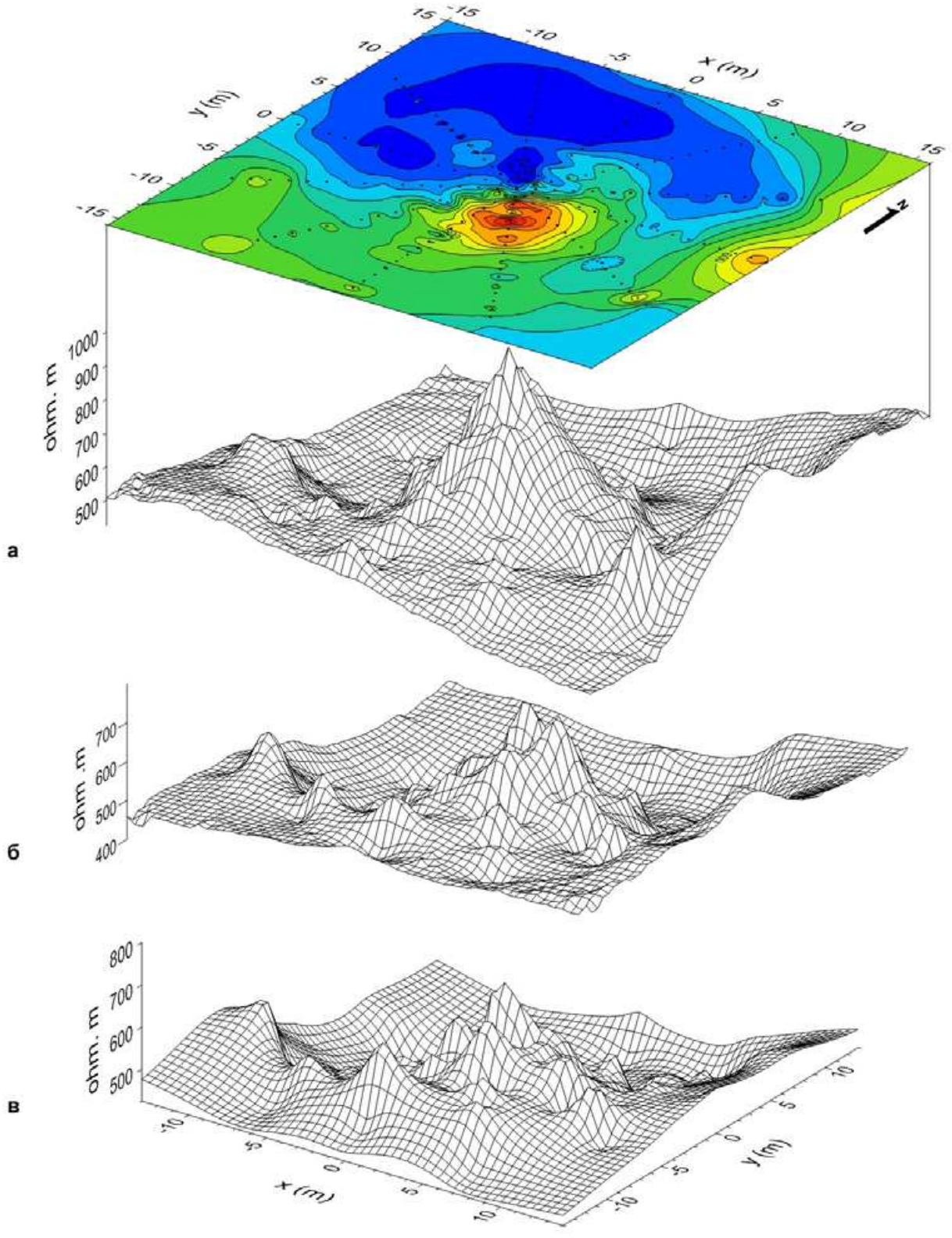
Криви на измереното привидно електрическо съпротивление по детайлизационните профили запад-изток (а) и юг-север (б) през средата на аномалията







Гробът и част от находките от Малката могила



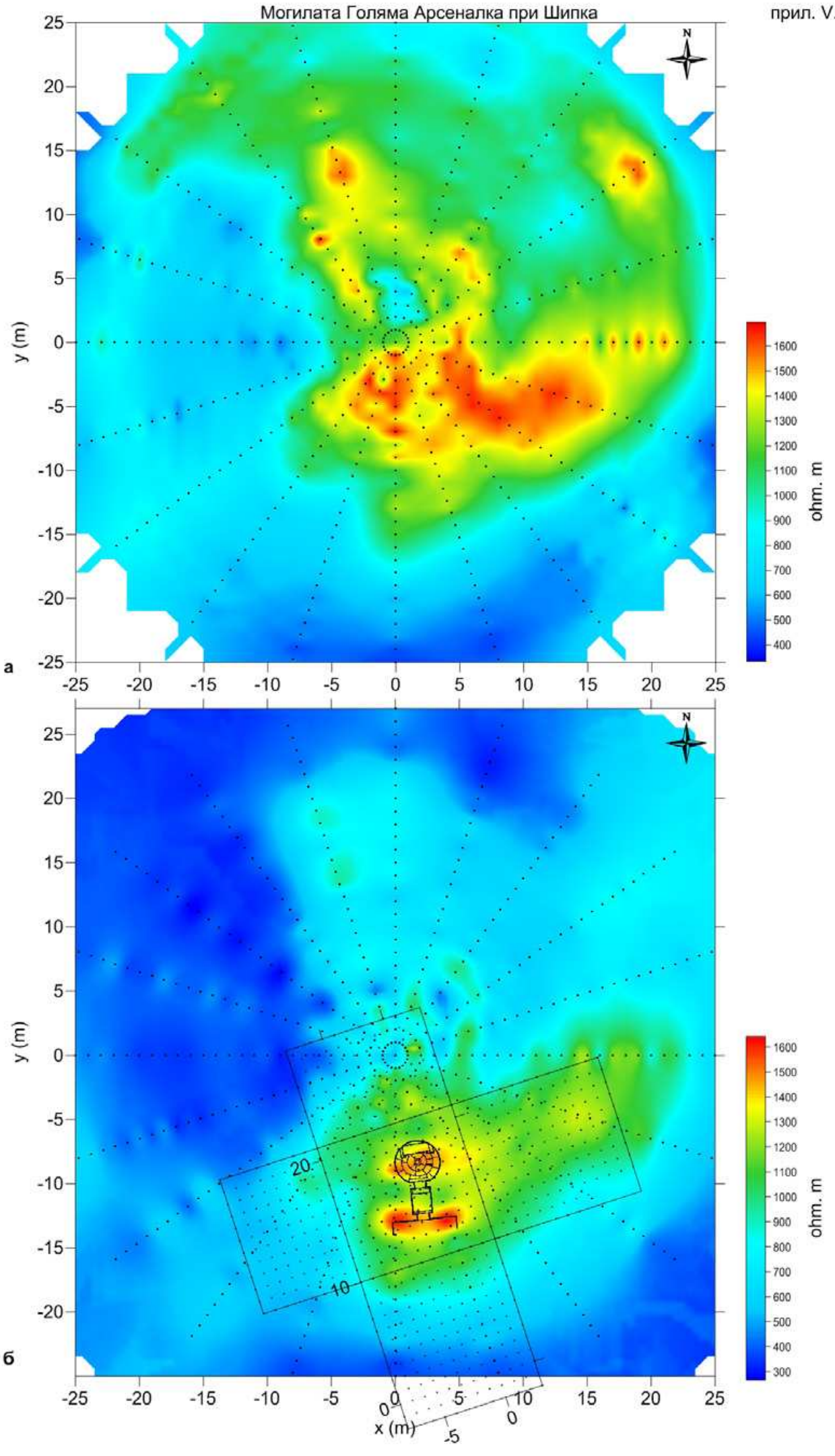
Зарева могила.
Карта и тримерни изображения на привидното електрическо съпротивление n=1 (а), n=2 (б) и n=3 (в).



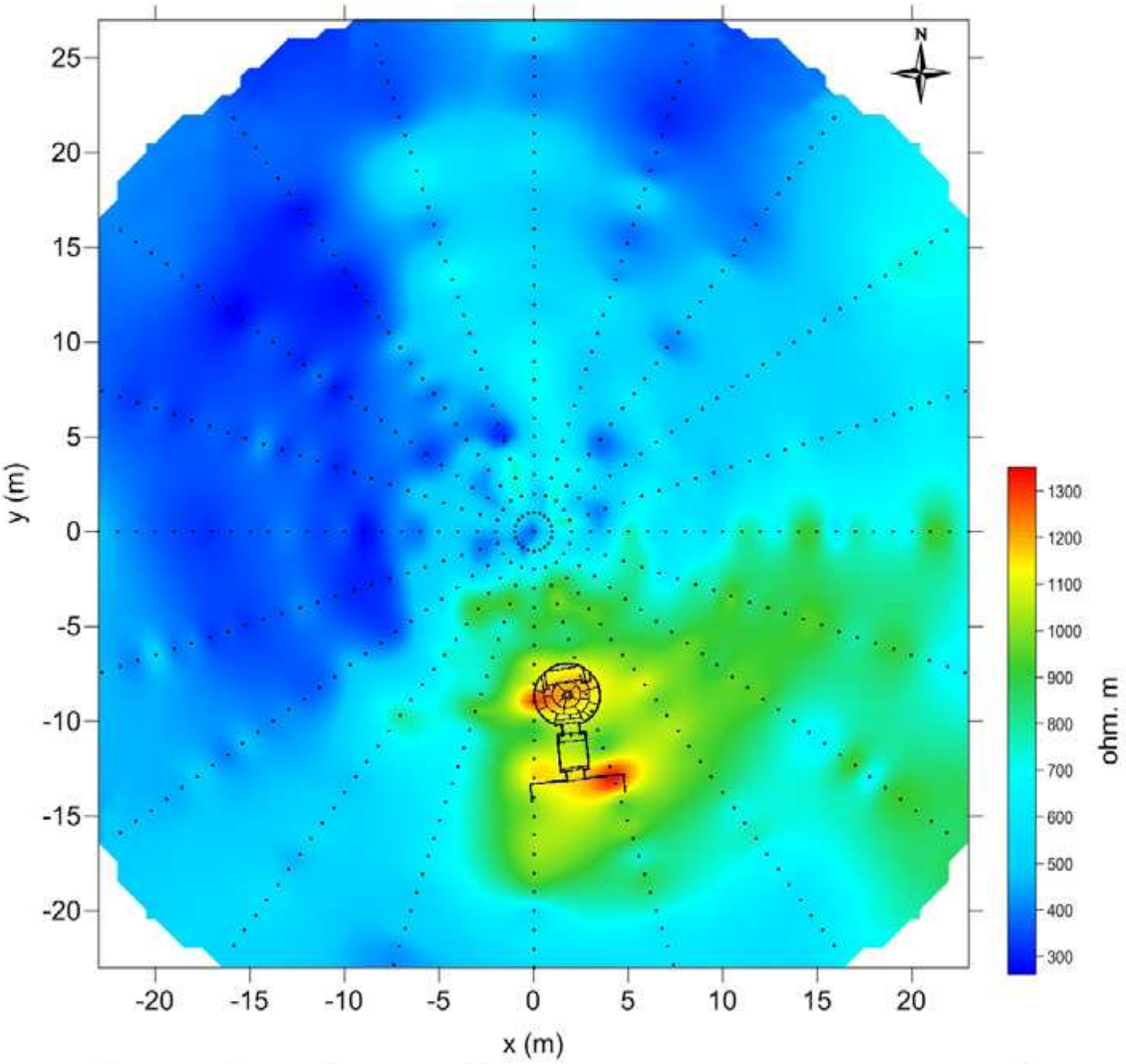
Гробът от Зарева могила



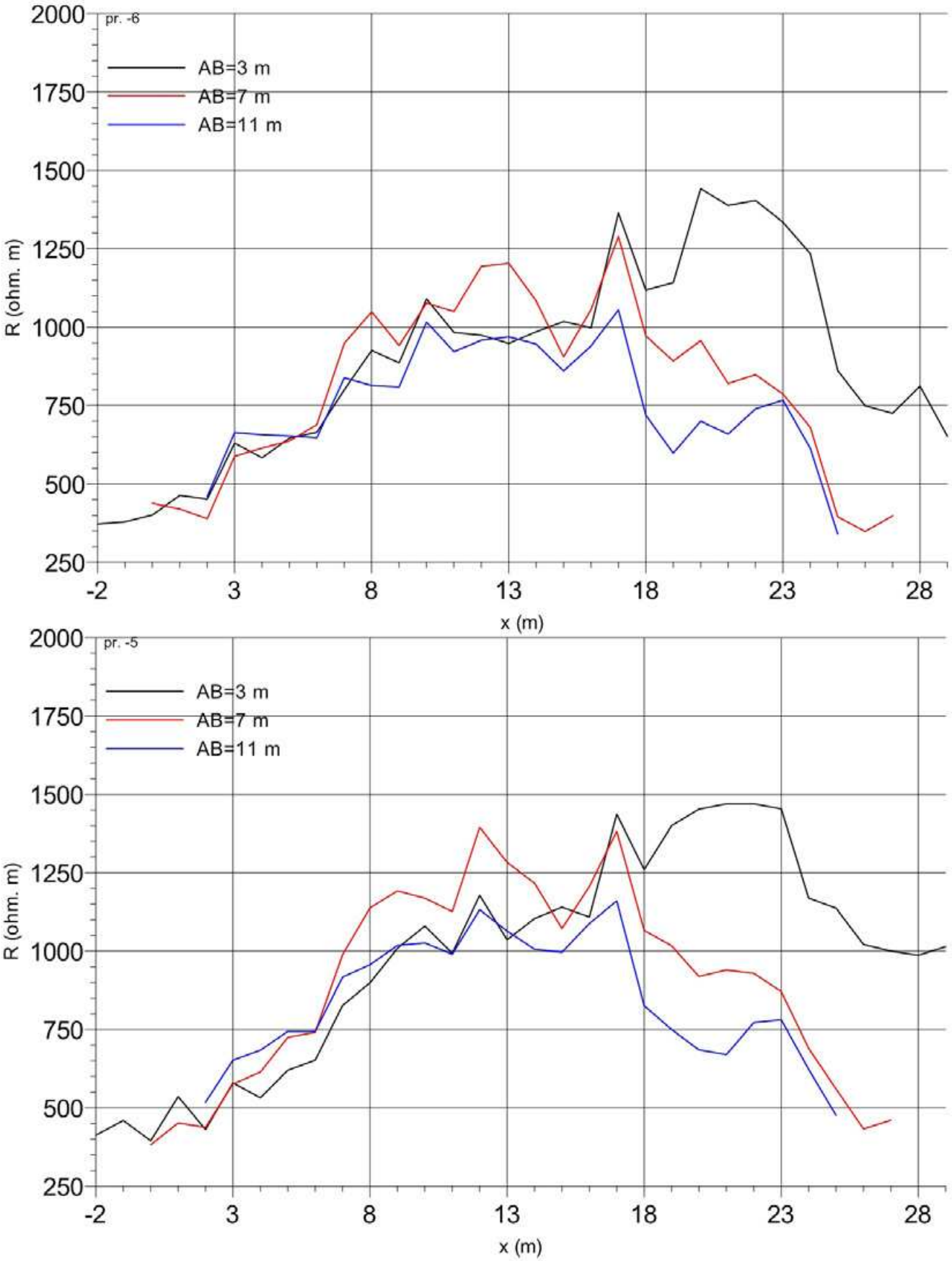
Могилата Голяма Арсеналка, поглед от запад.



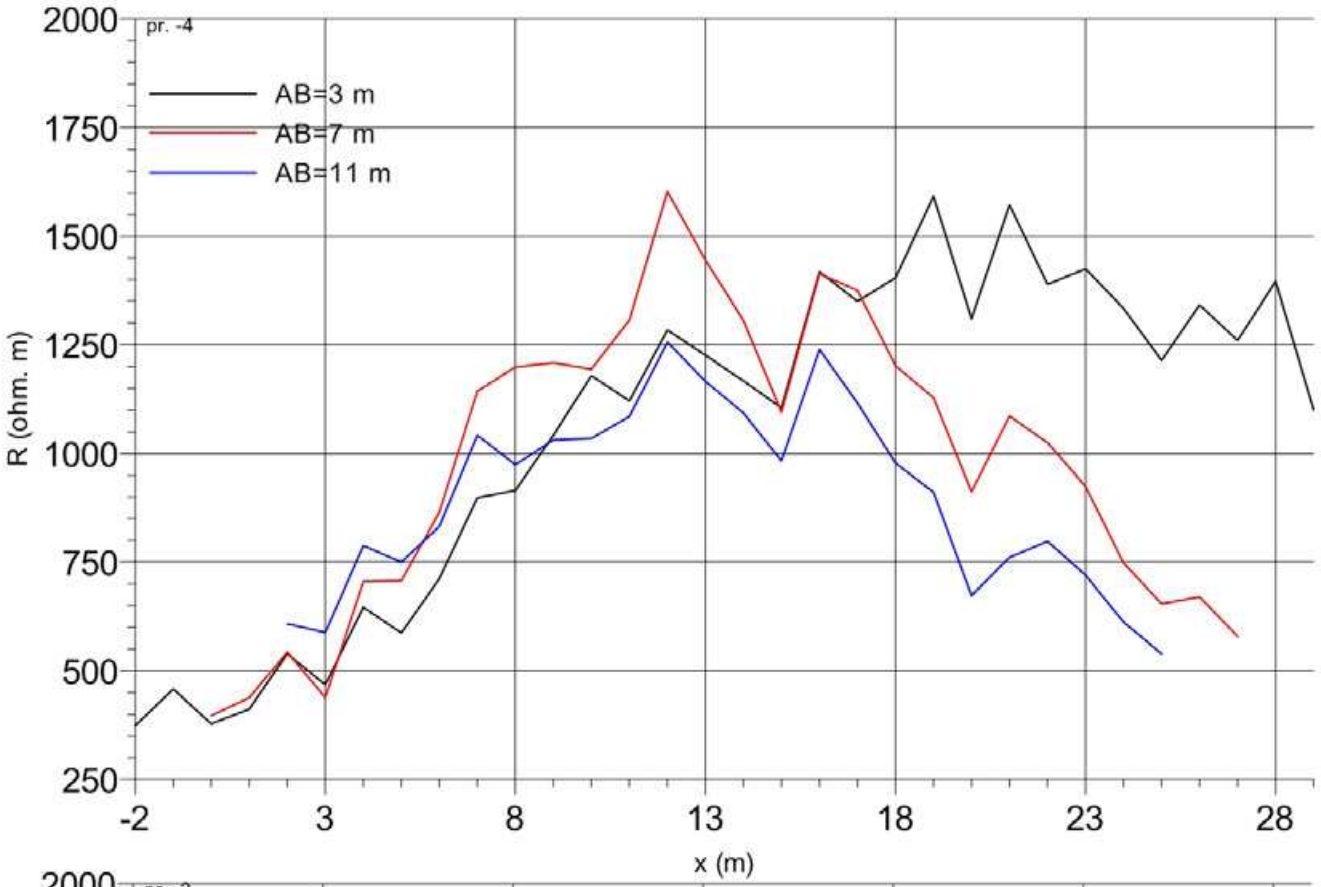
Могилата Голяма Арсеналка. Карти на привидното съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б) с нанесена детайлизационната мрежа

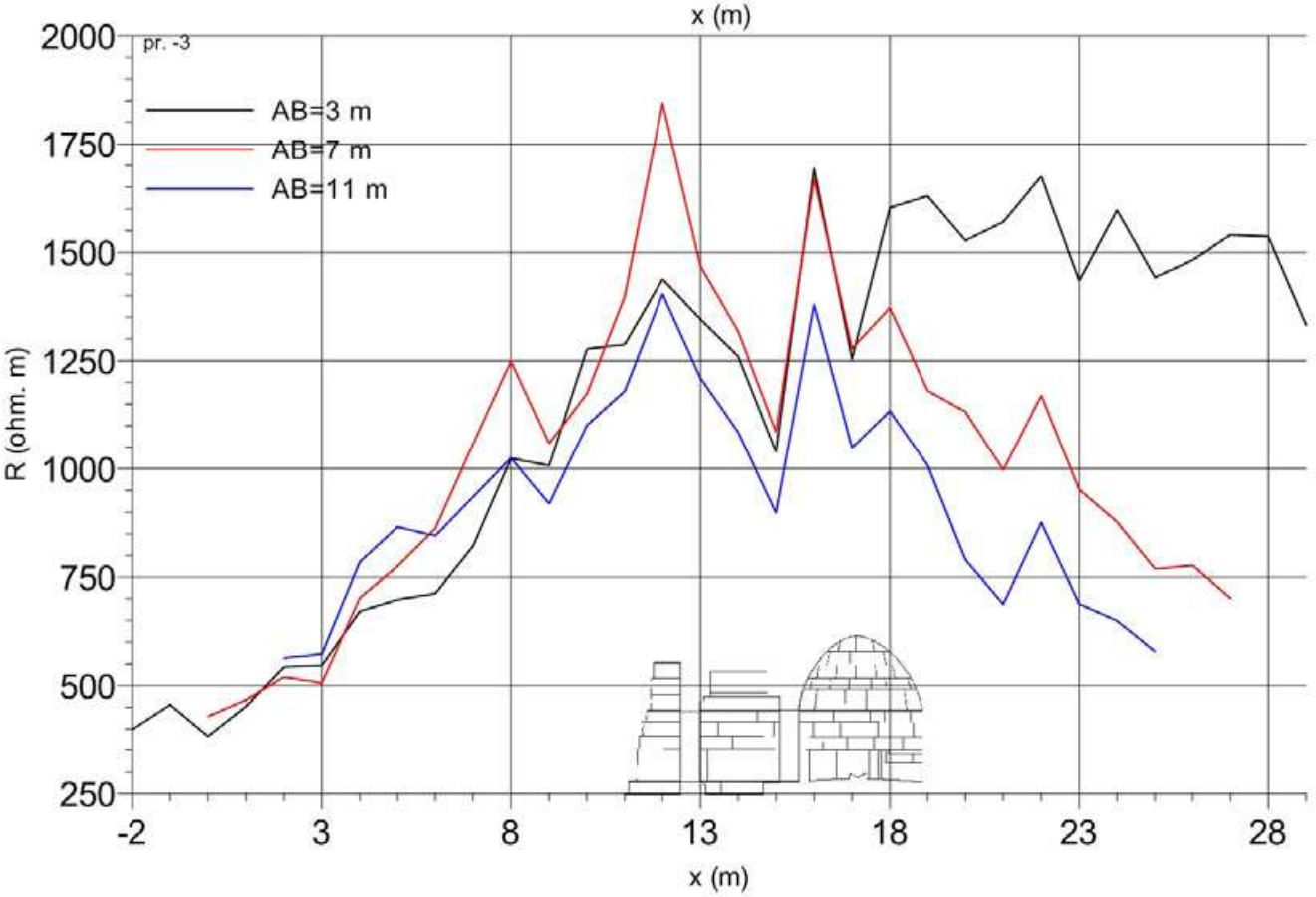


Могилата Голяма Арсеналка. Карта на привидното съпротивление при n=5.

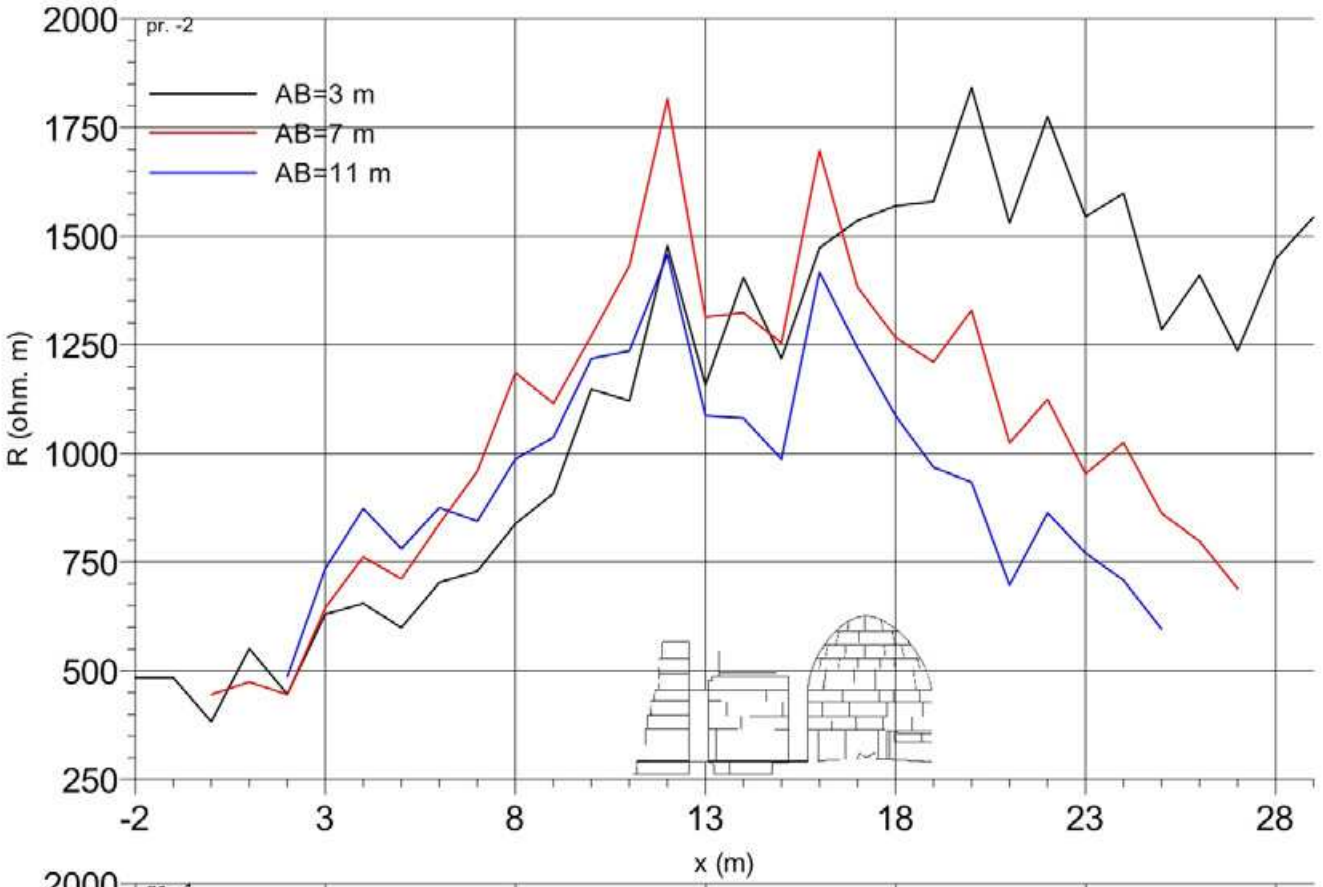


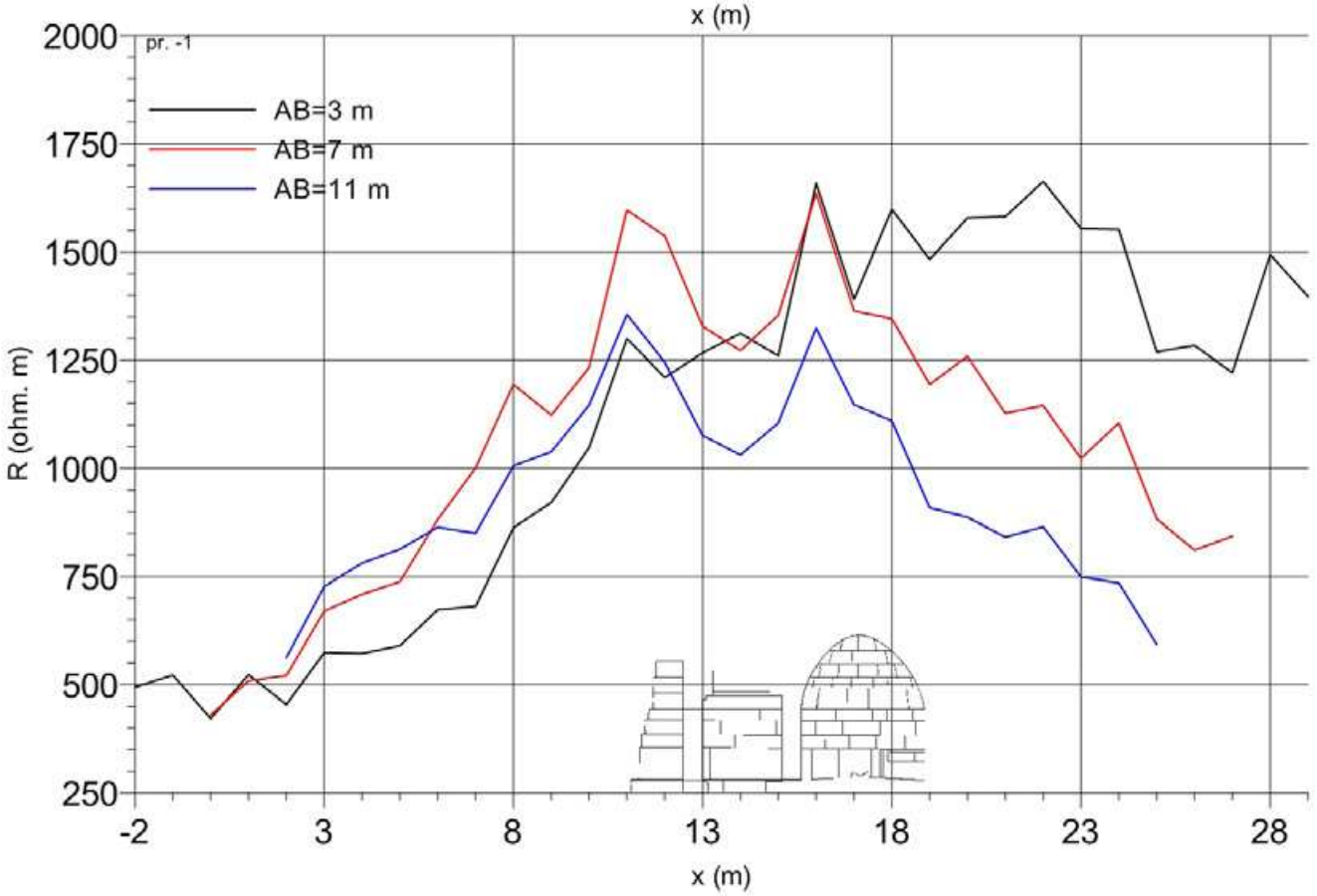
Криви на съпротивлението по профили -6 и -5 от детайлизационната мрежа



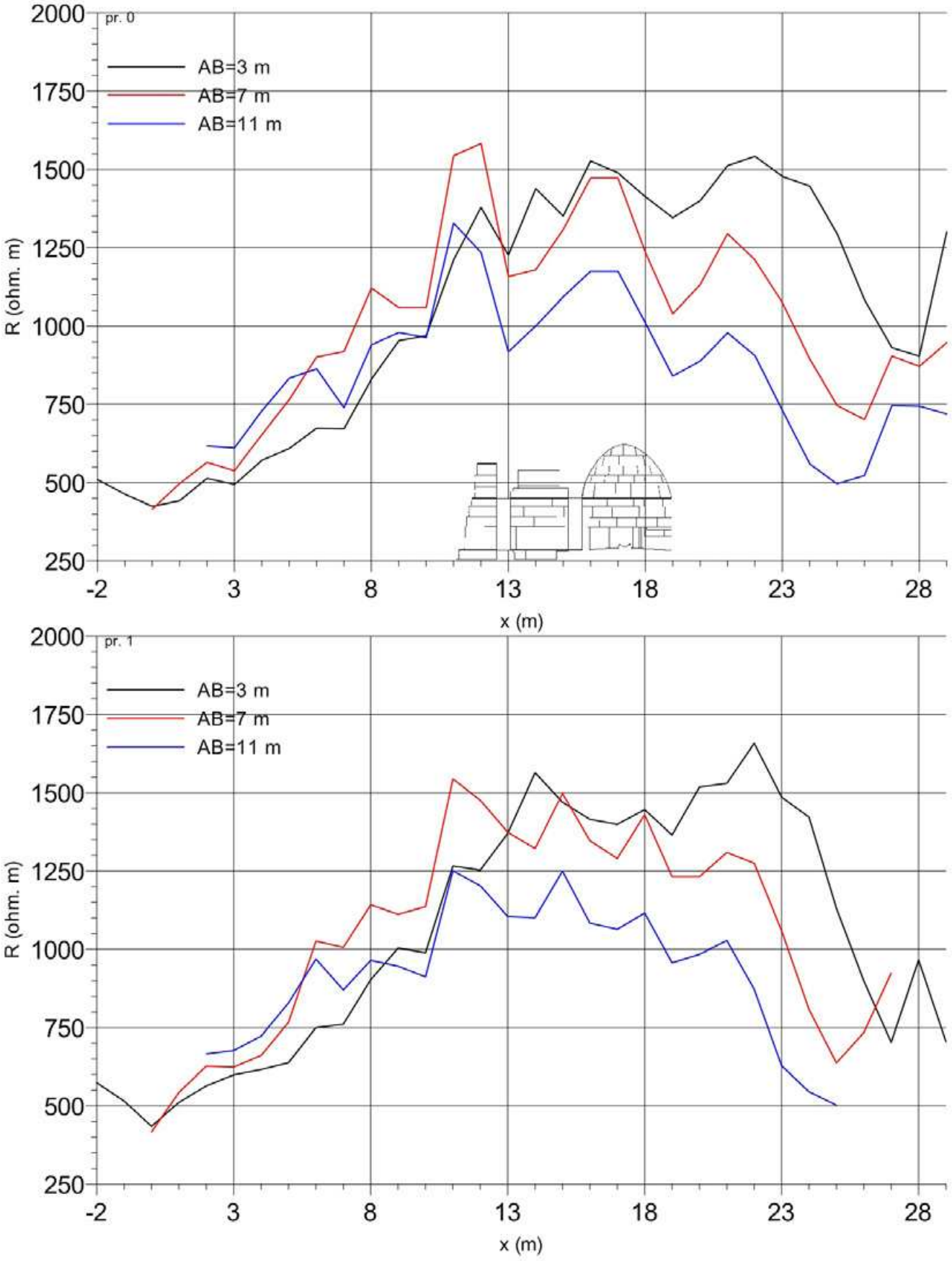


Криви на съпротивлението по профили -4 и -3 от детайлизационната мрежа

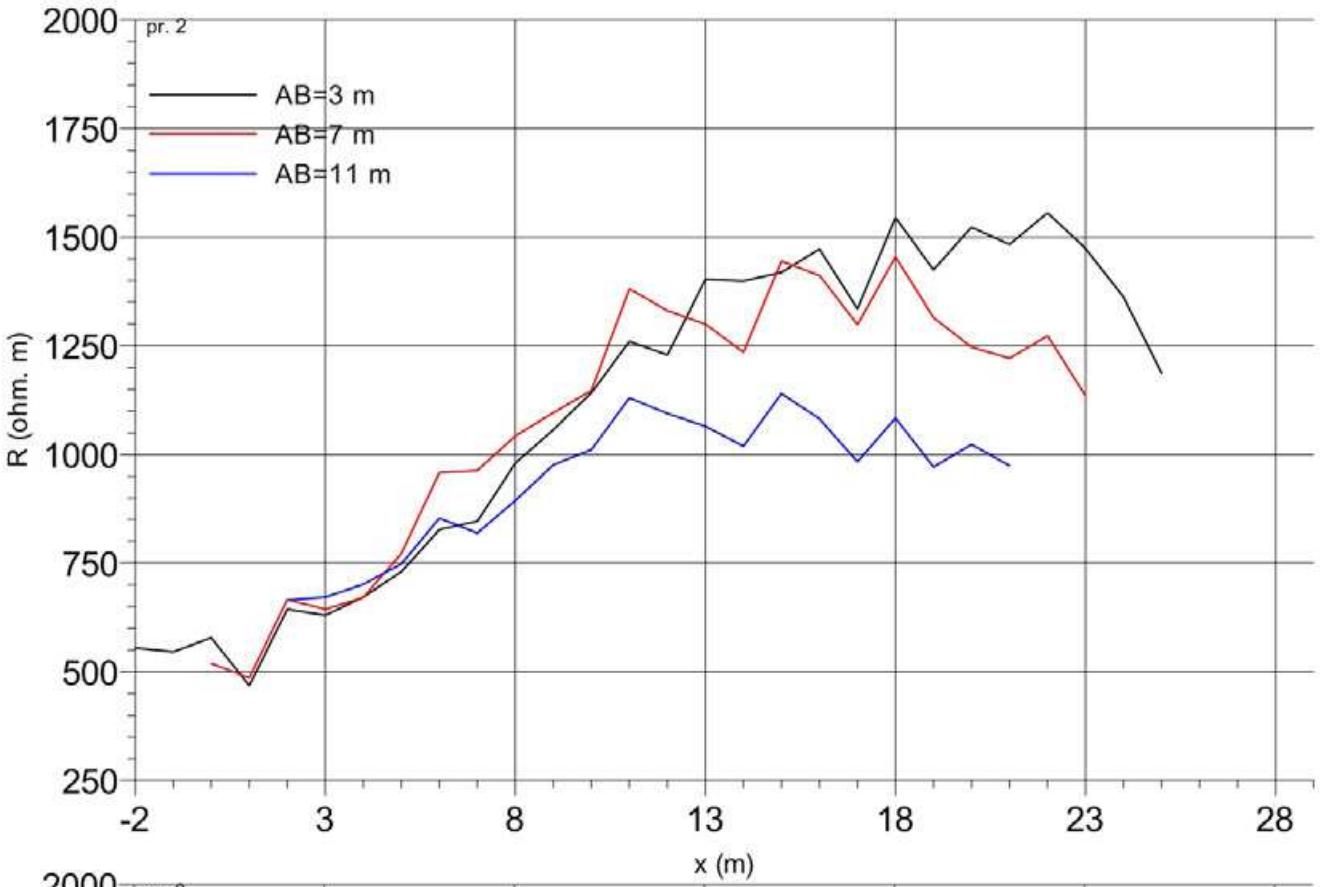


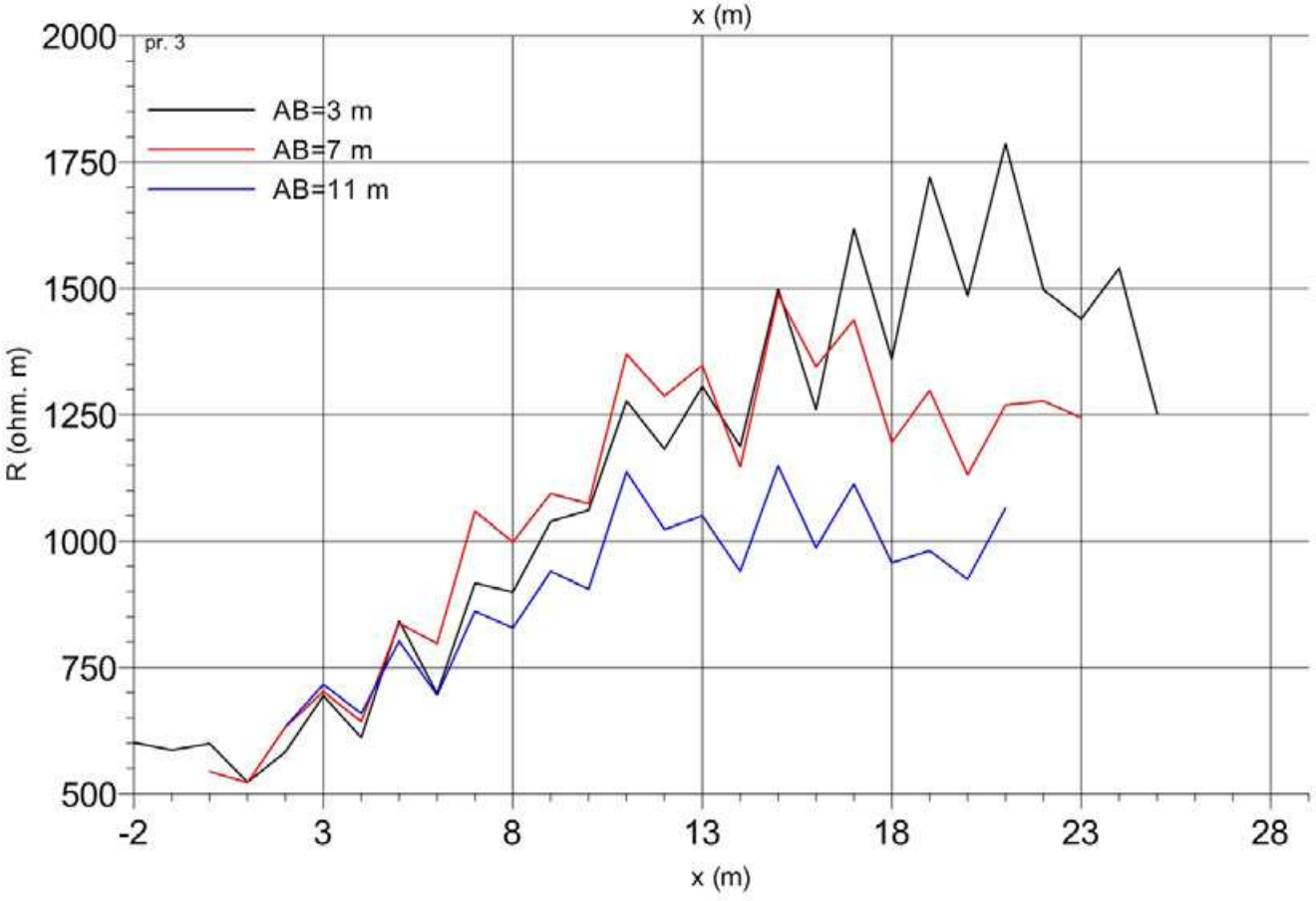


Криви на съпротивлението по профили -2 и -1 от детайлизационната мрежа

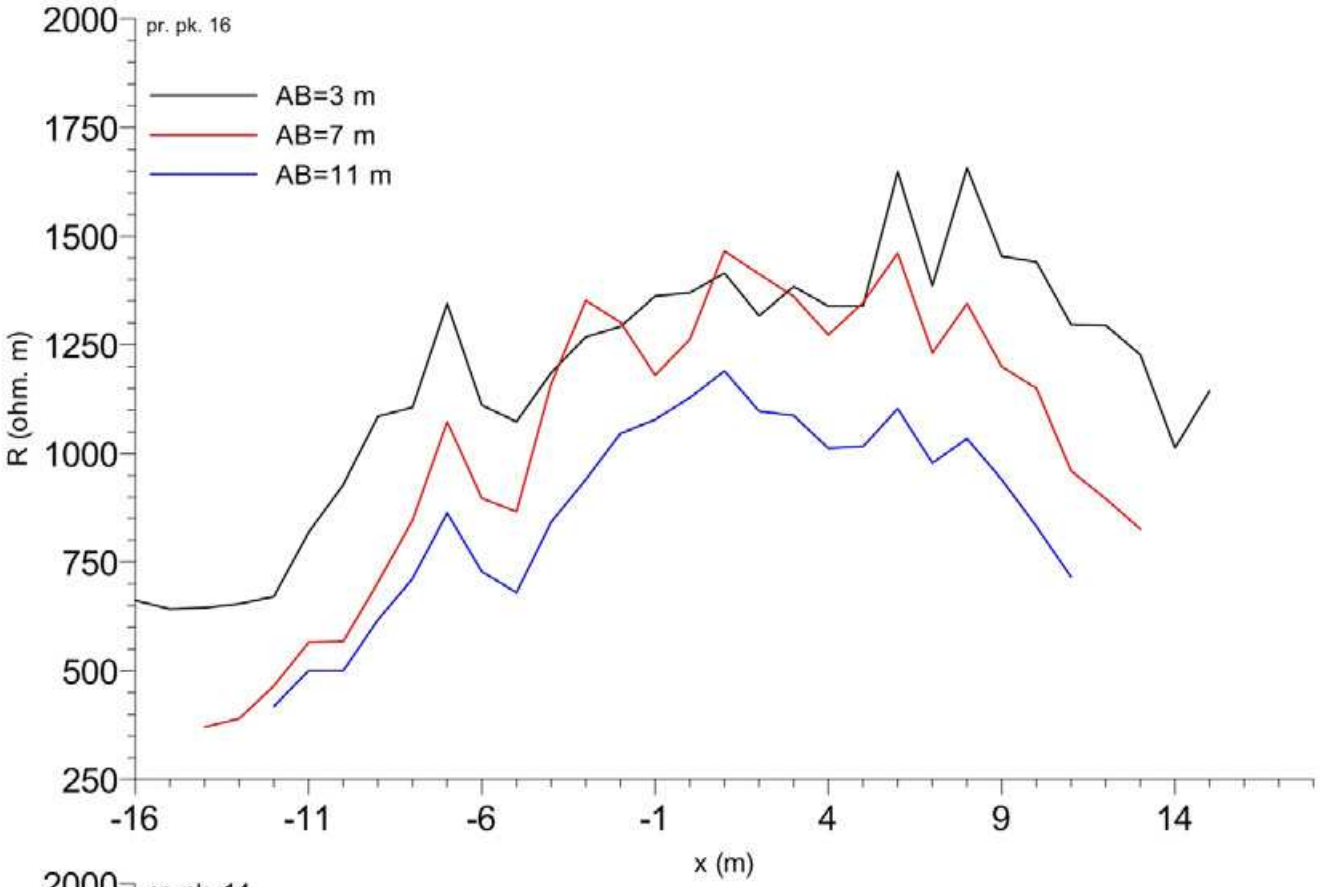


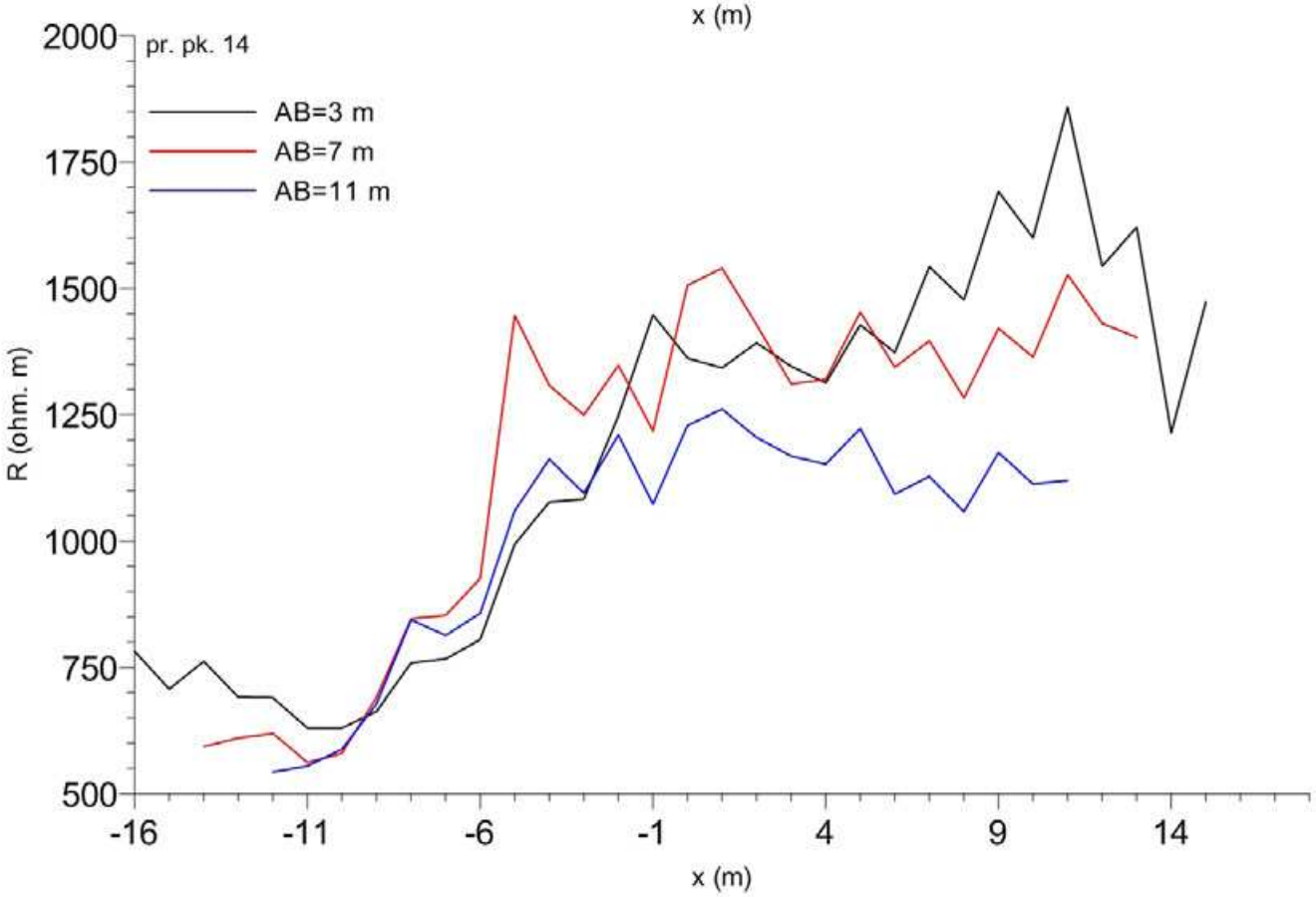
Криви на съпротивлението по профили 0 и 1 от детайлизационната мрежа



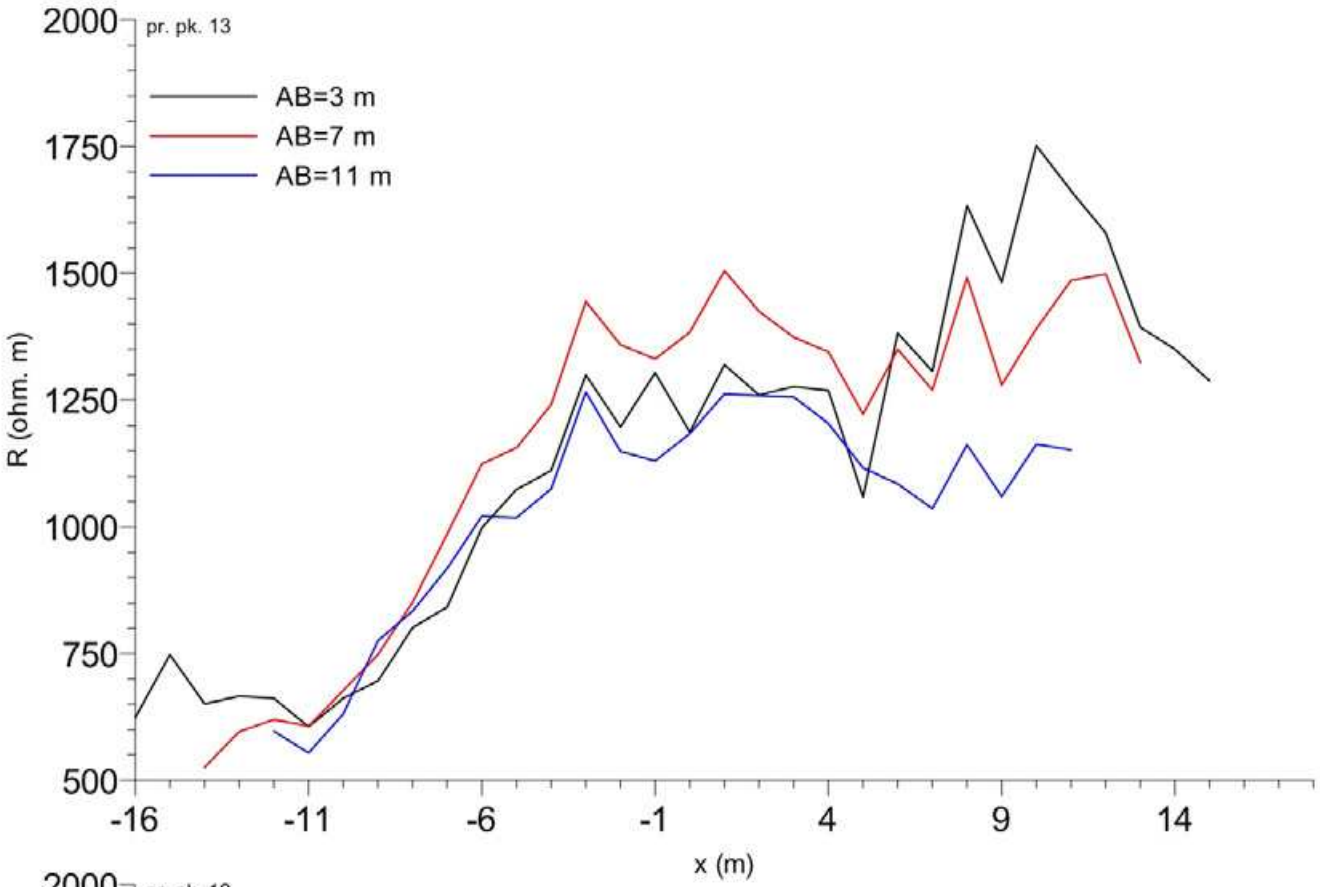


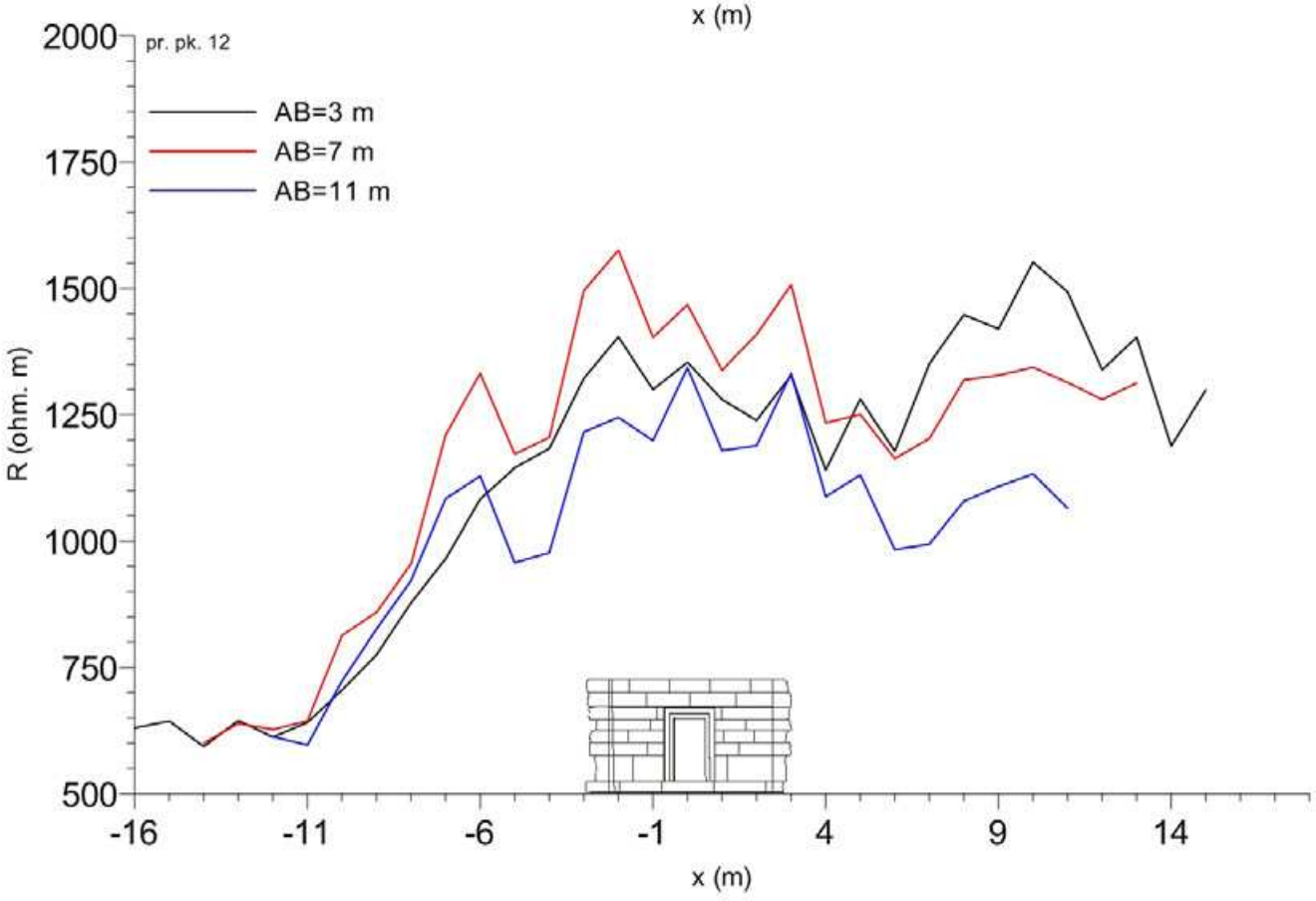
Криви на съпротивлението по профили 2 и 3 от детайлизационната мрежа





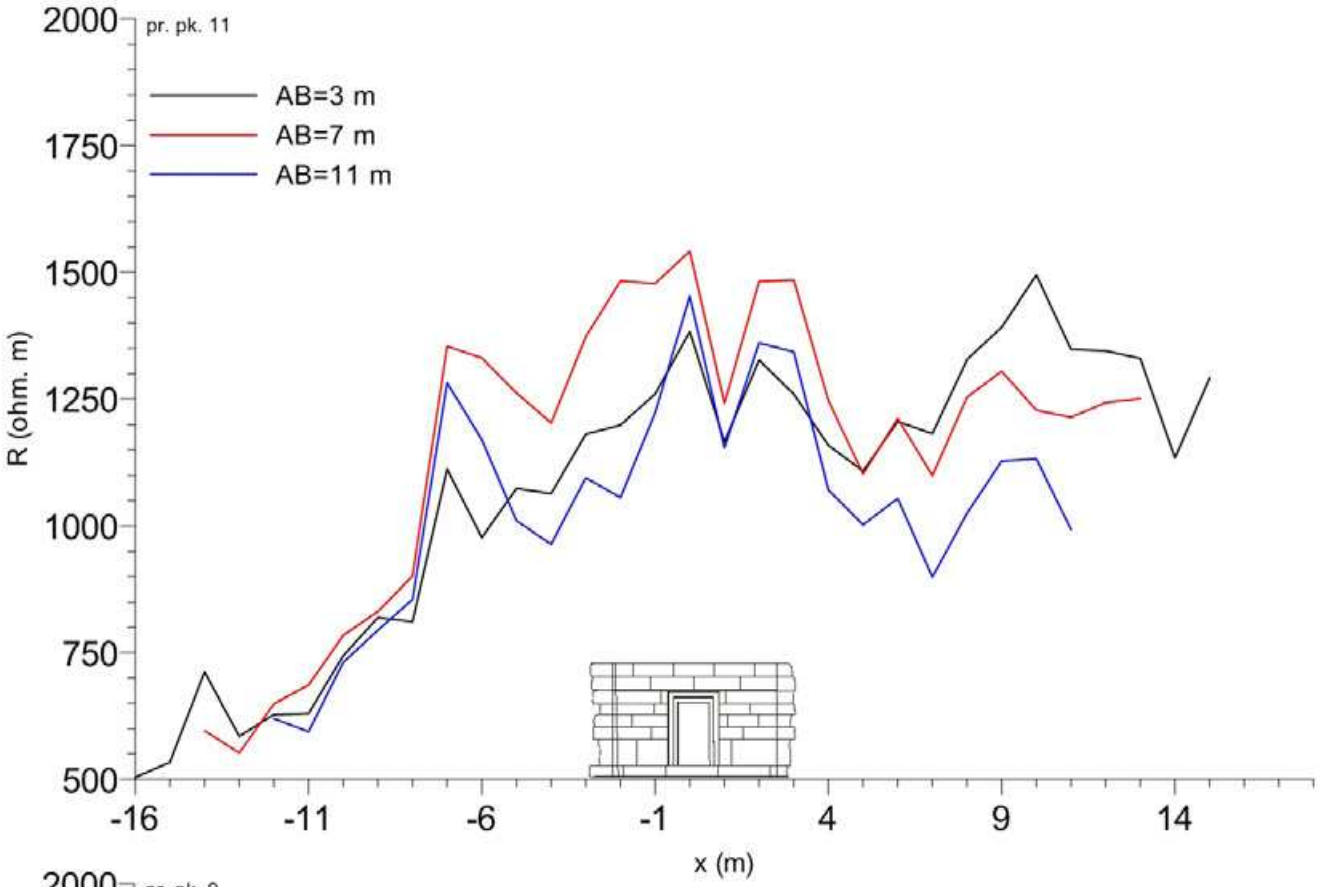
Криви на съпротивлението по напреч ни профили 16 и 14 от детайлизационната мрежа

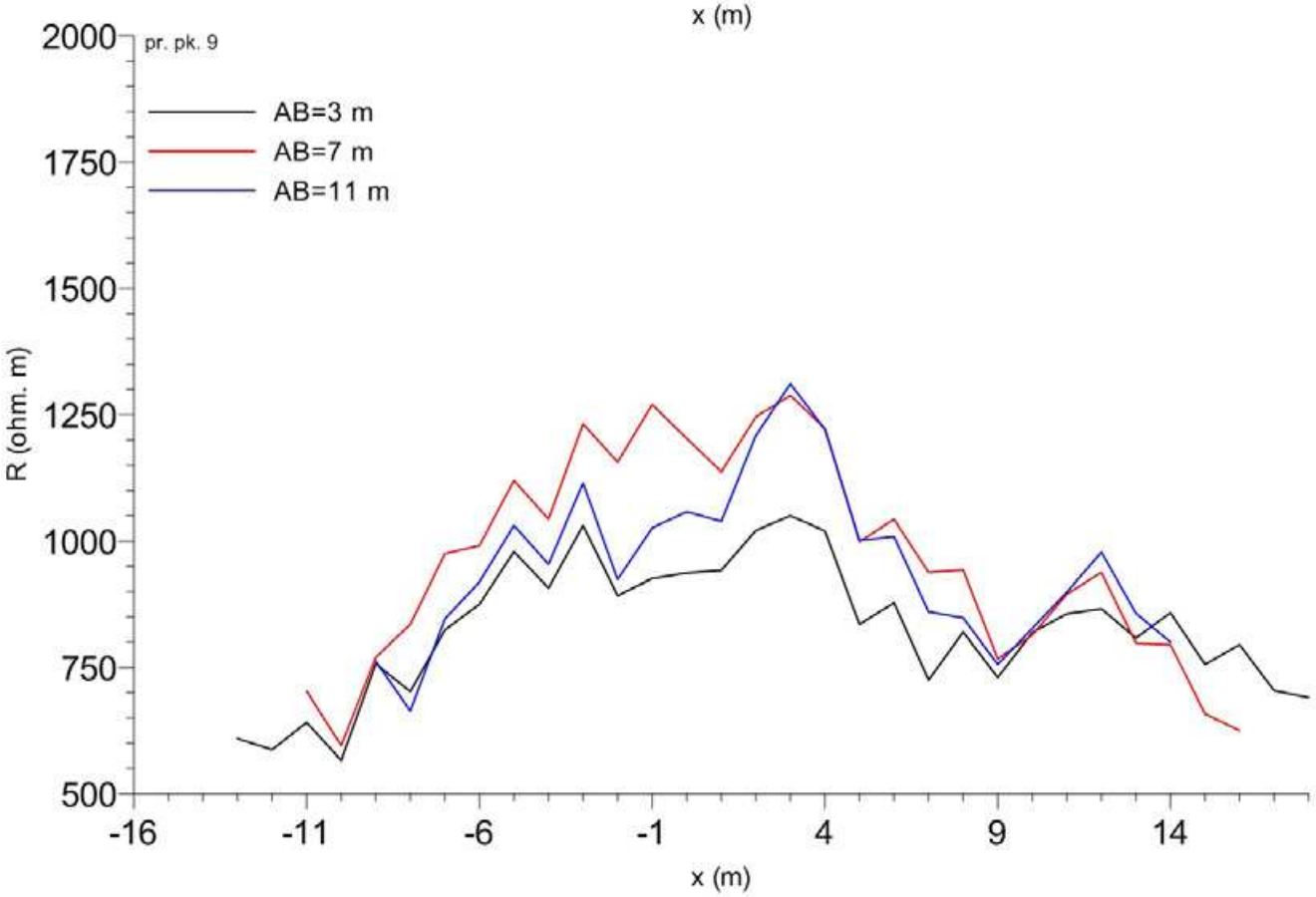




Криви на съпротивлението по напреч ни профили 13 и 12 от детайлизационната мрежа

Могилата Голяма Арсеналка при Шипка

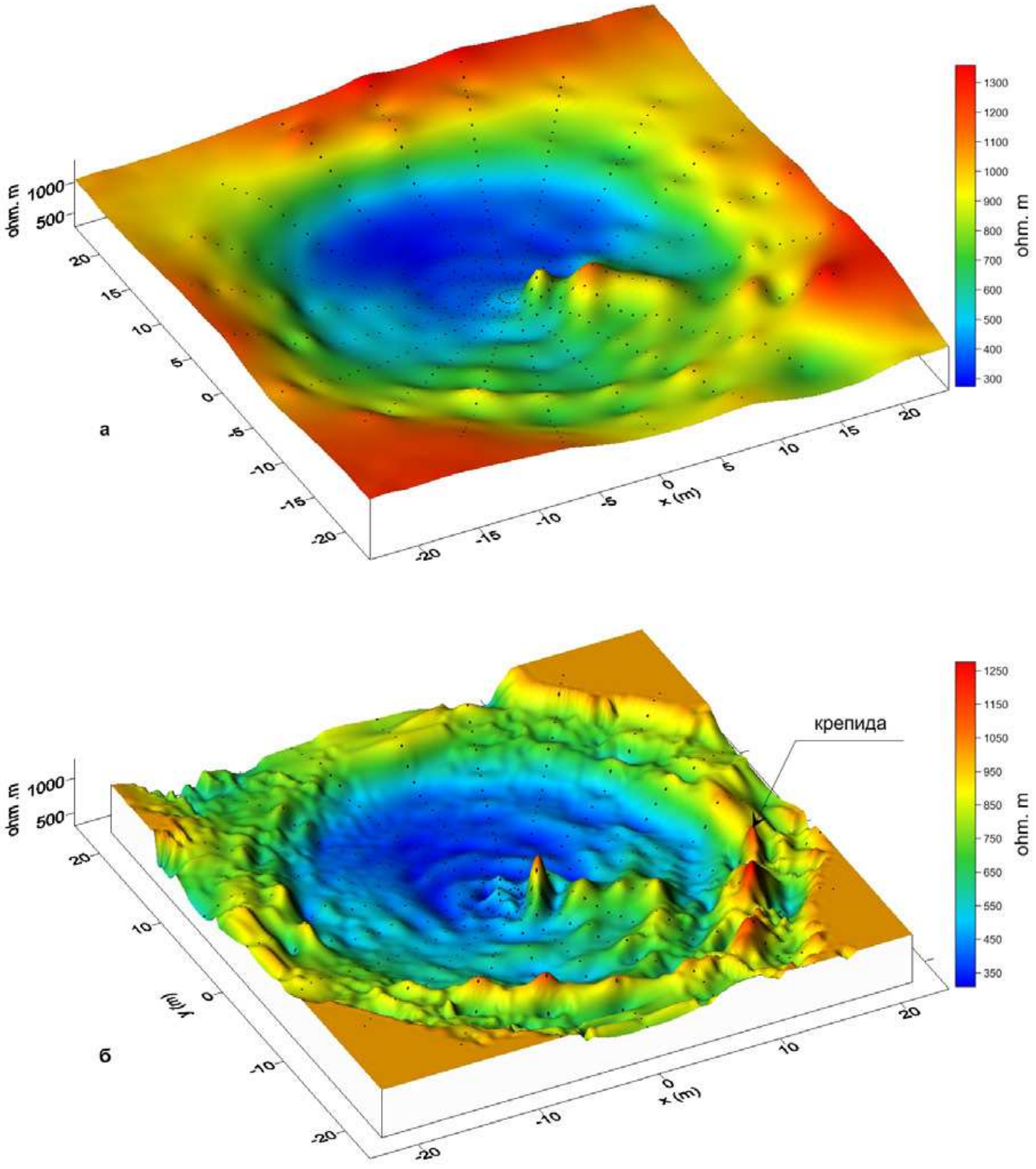




Криви на съпротивлението по напреч ни профили 11 и 9 от детайлизационната мрежа



Гробницата в могилата Голяма Арсеналка



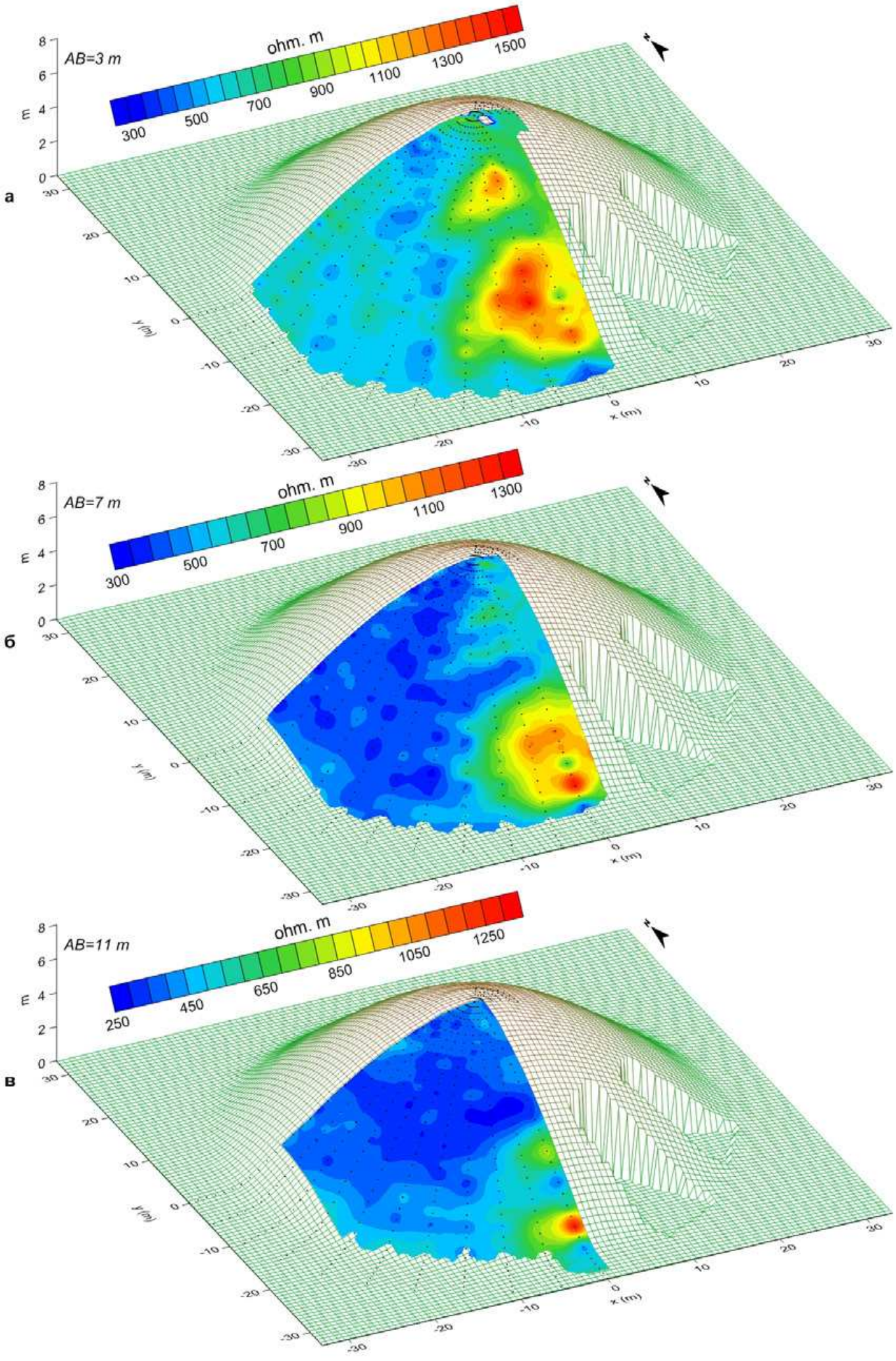
Атьова могила. Тримерно изображение на измереното съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б).



Крепидата в Атьова могила

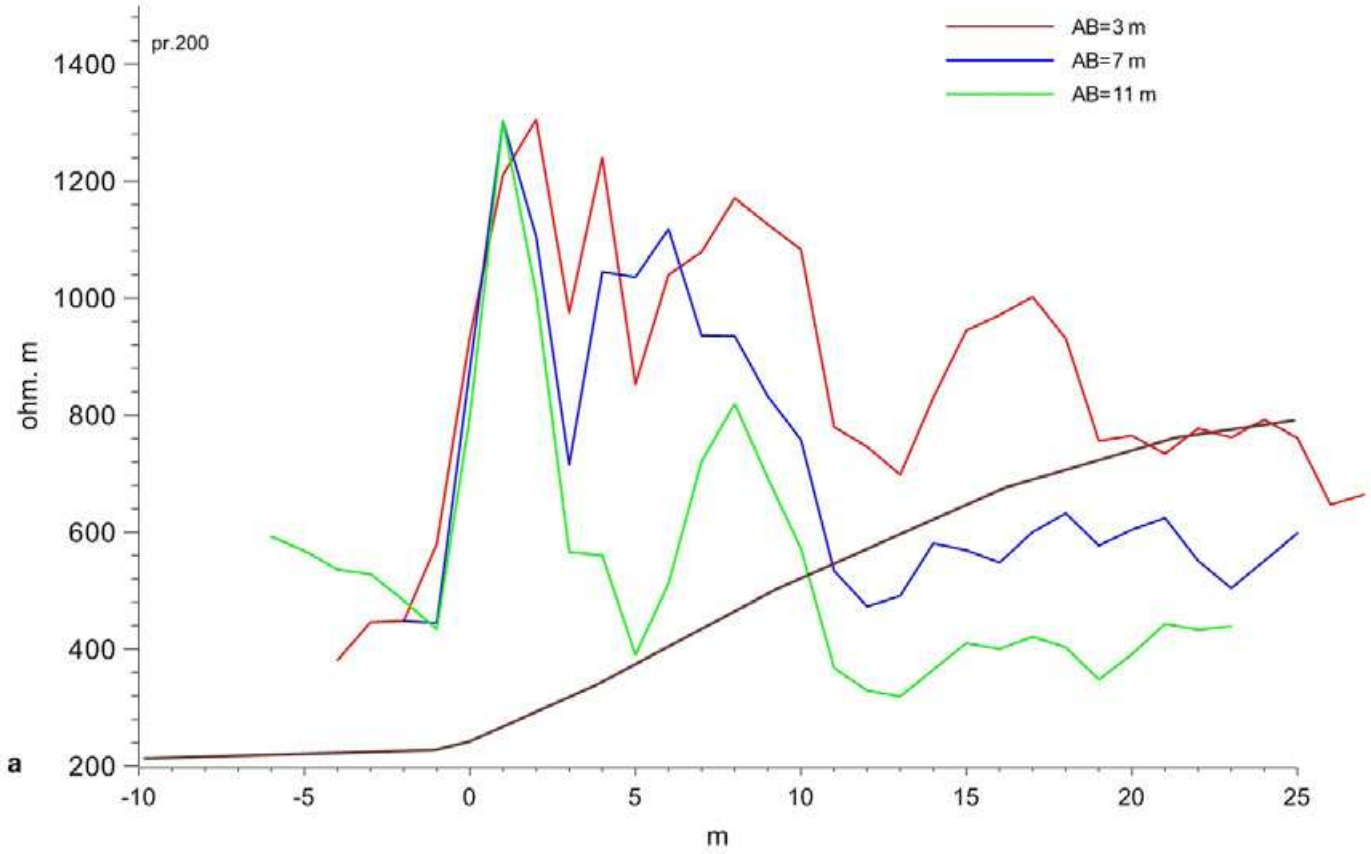


Могилата Светица, поглед от запад.

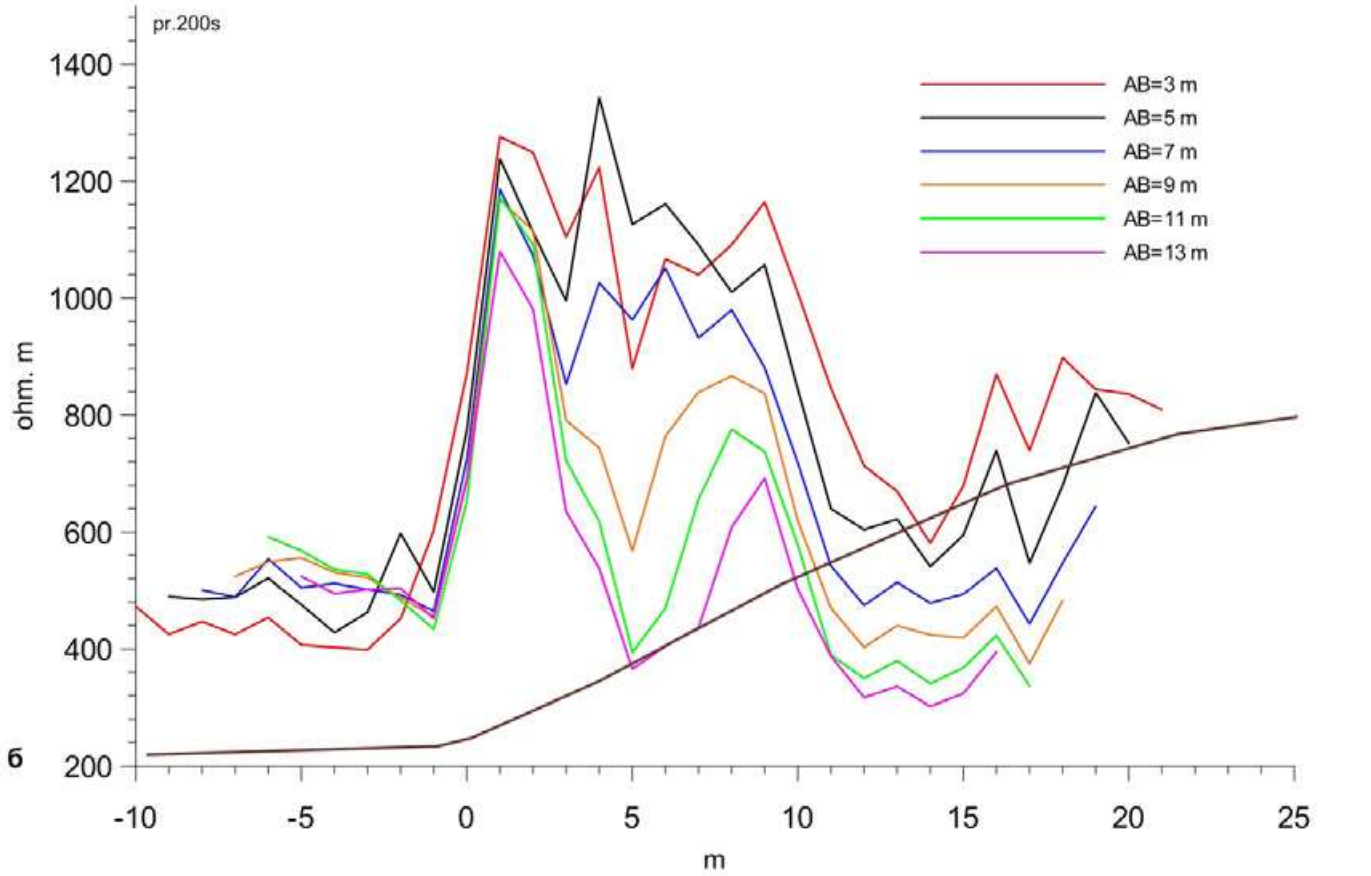


Могилата Светица. Карти на привидното съпротивление при n=1 (а), n=3 (б) и n=5 (в).

Могилата Светица при Шипка

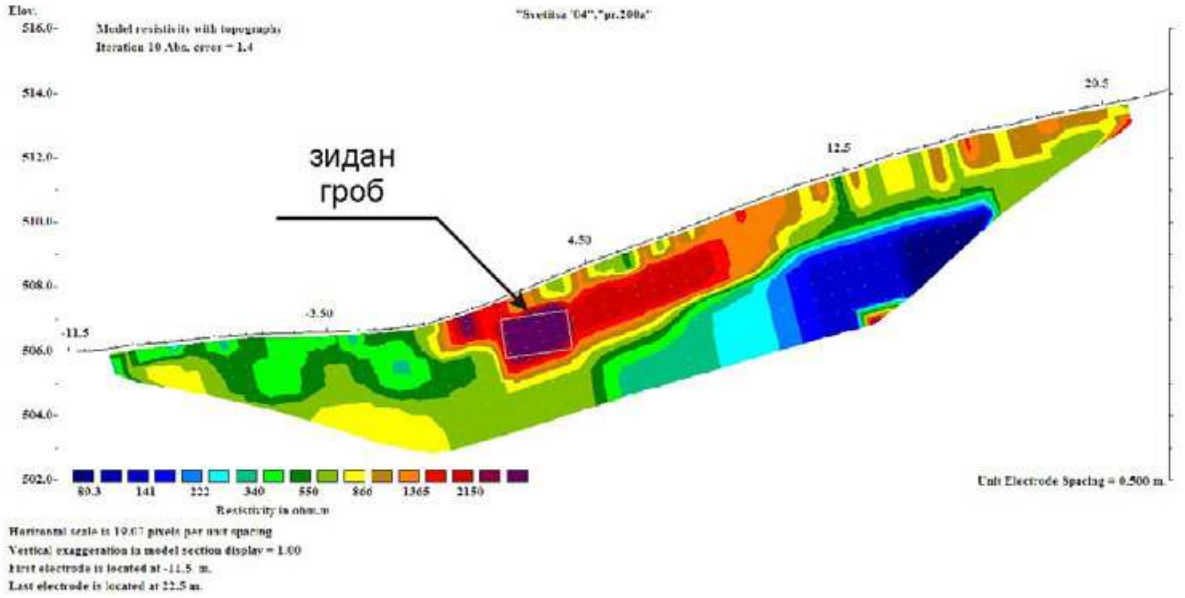


а



б

Могилата Светица. Криви на измереното съпротивление по профил 200^{9}, редови измервания (а) и НВЕС (б).



Могилата Светица.
Двумерен инверсионен модел на електрическото съпротивление по профил 200^{0}.

а

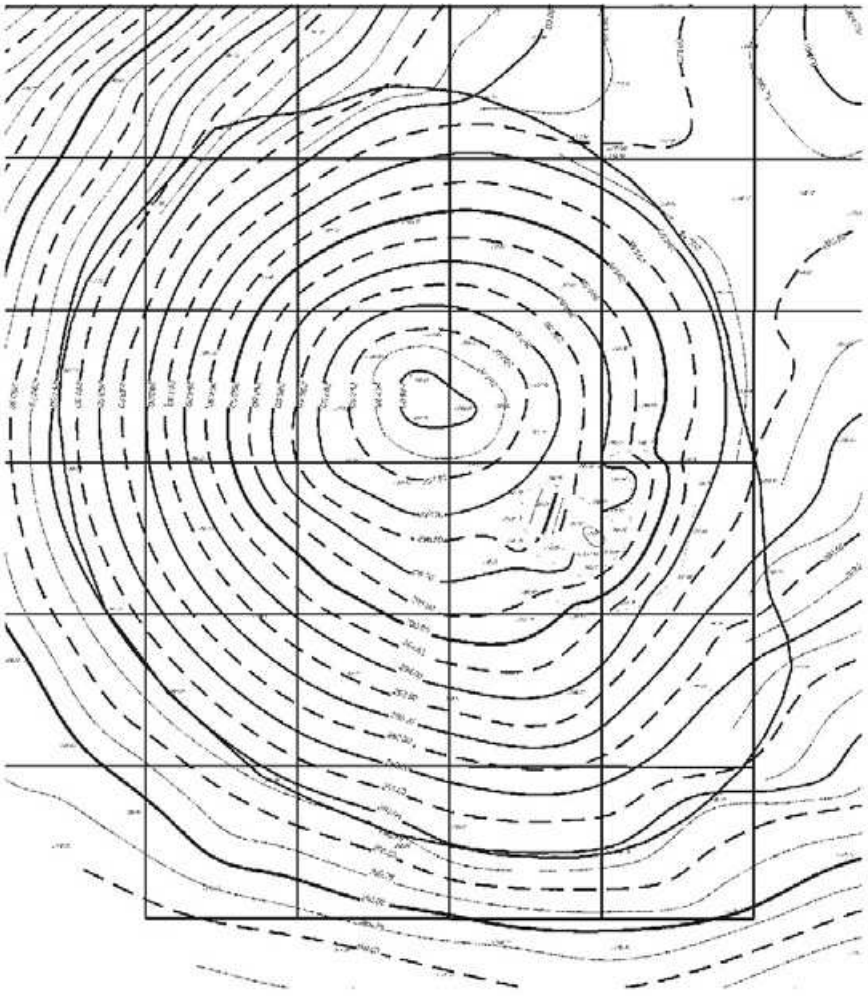


б



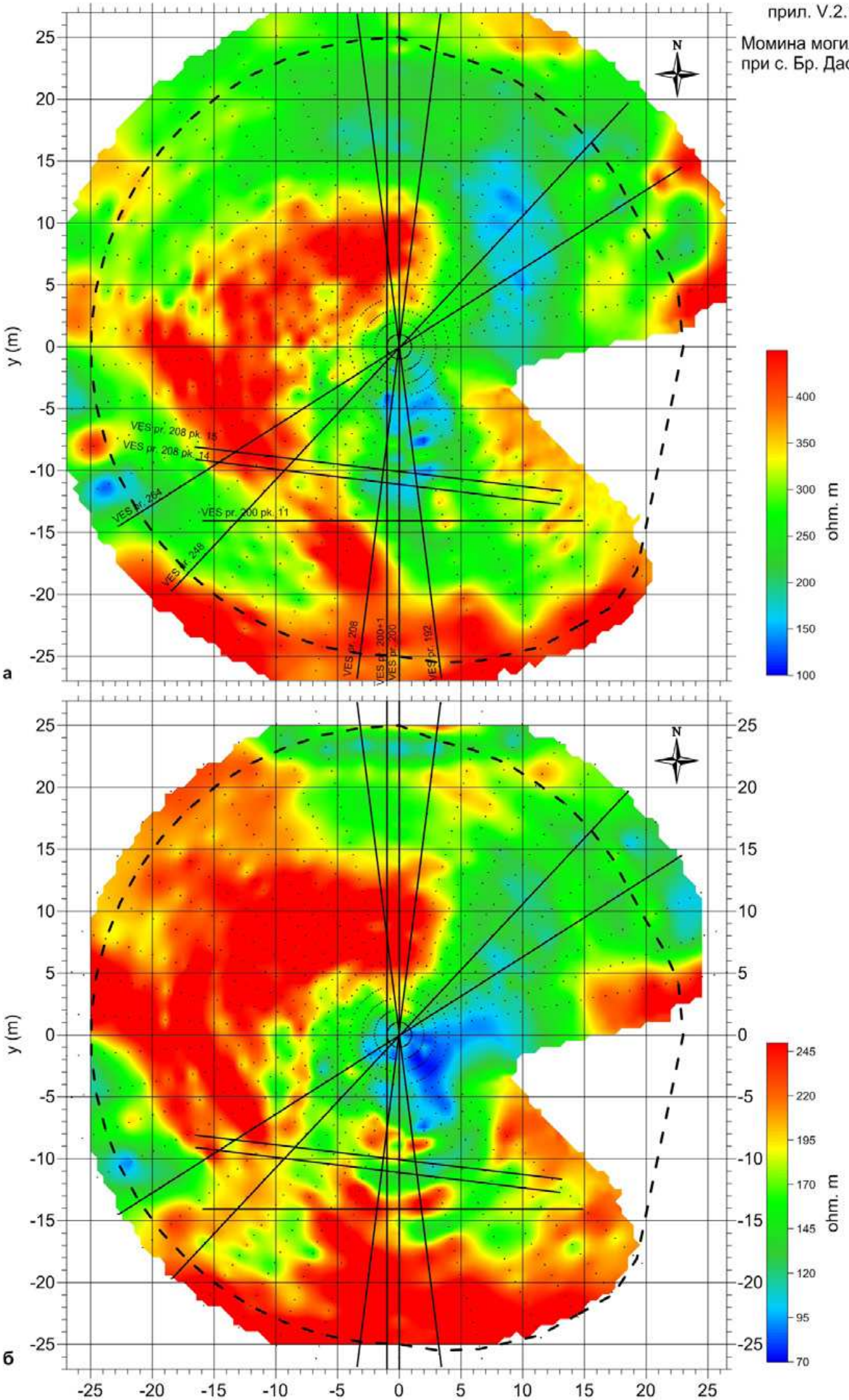
Гробът и златната маска от могилата Светица



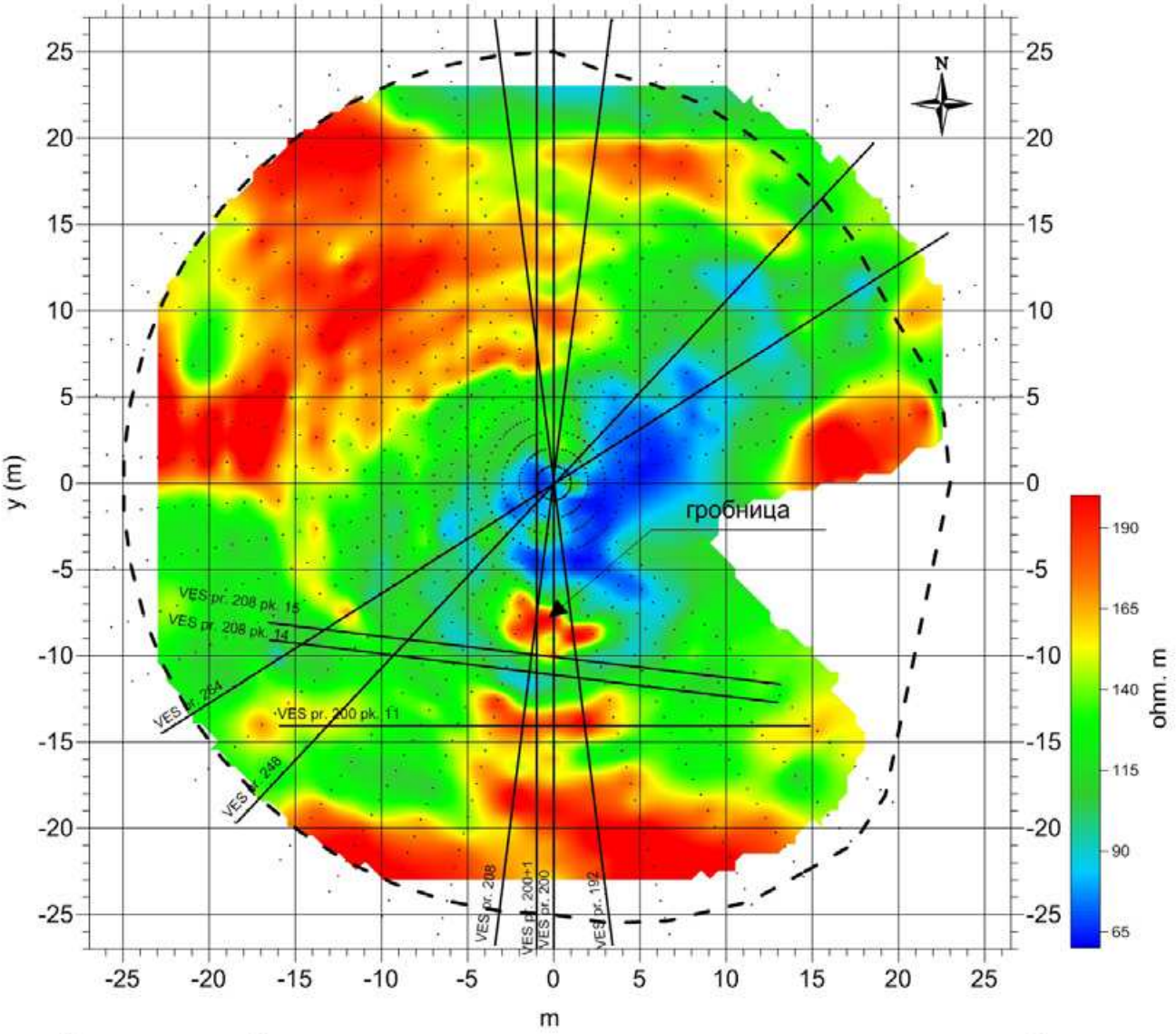


Момина могила при с. Братя Даскалови. Изглед от запад.

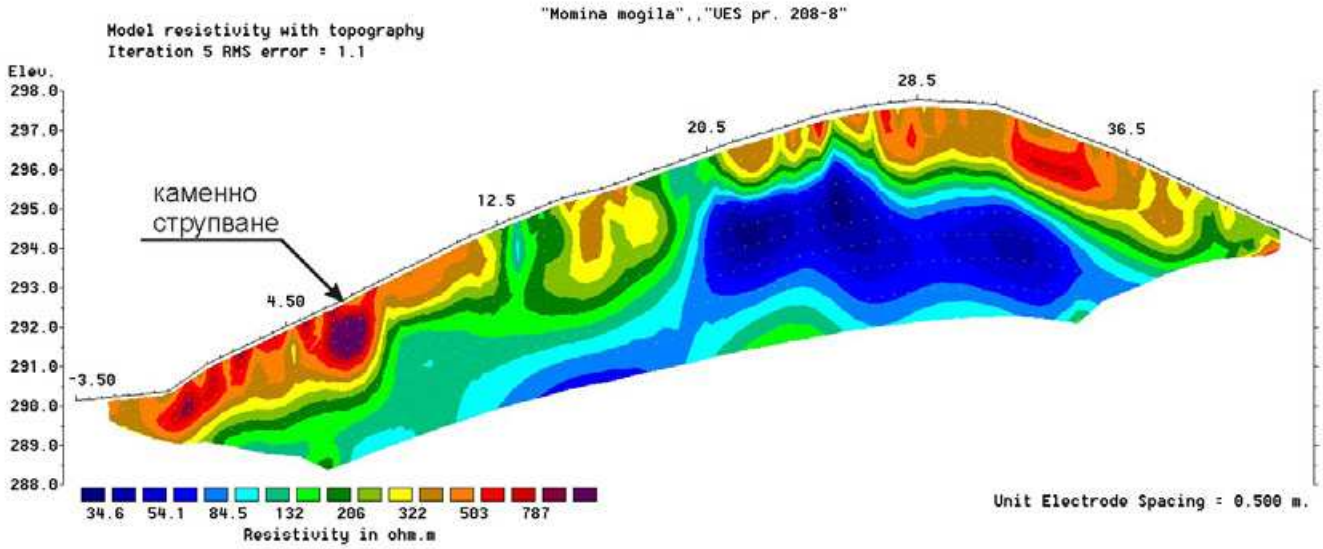
Момина могила
при с. Бр. Даскалови



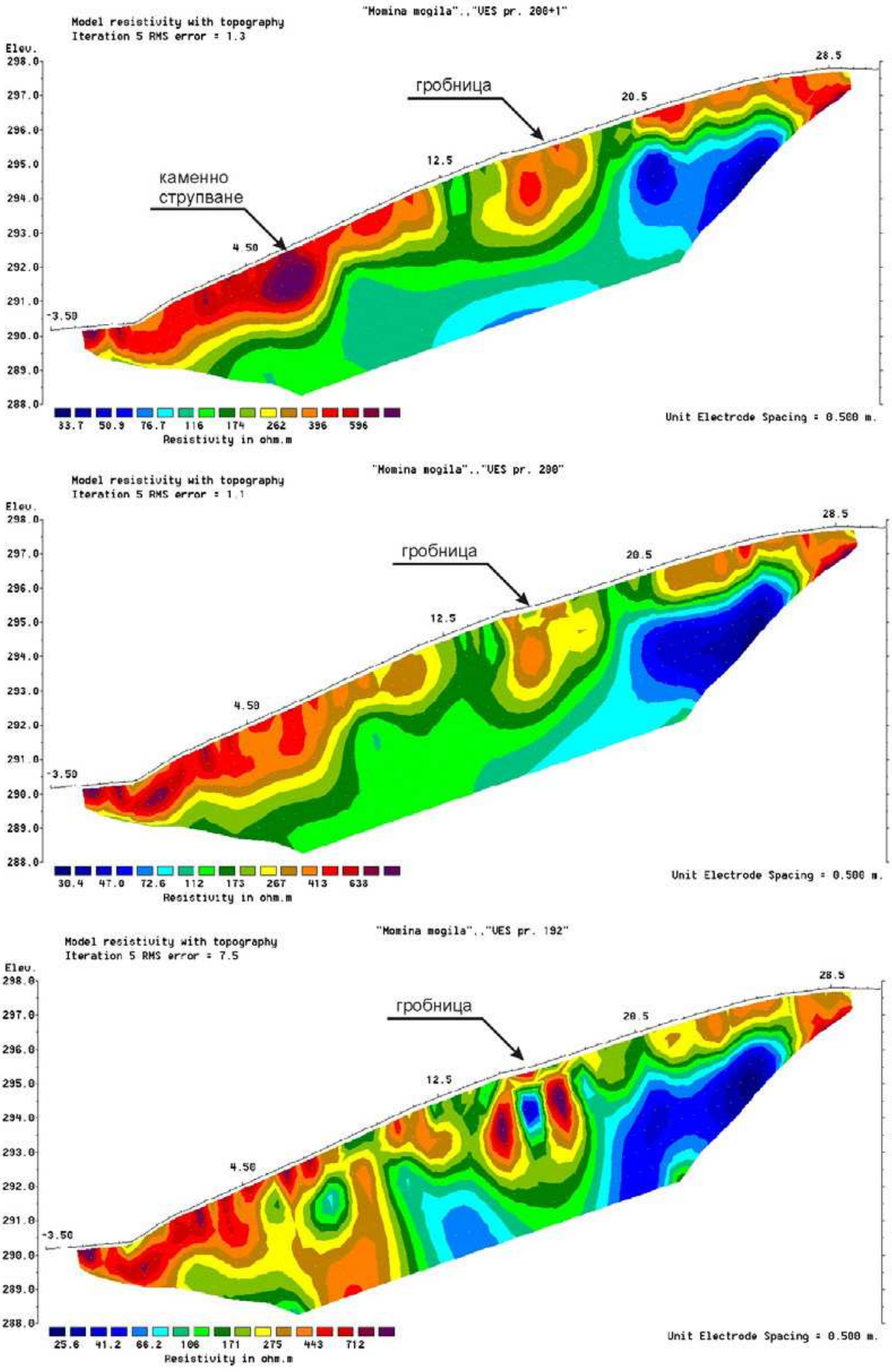
Момина могила. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б).



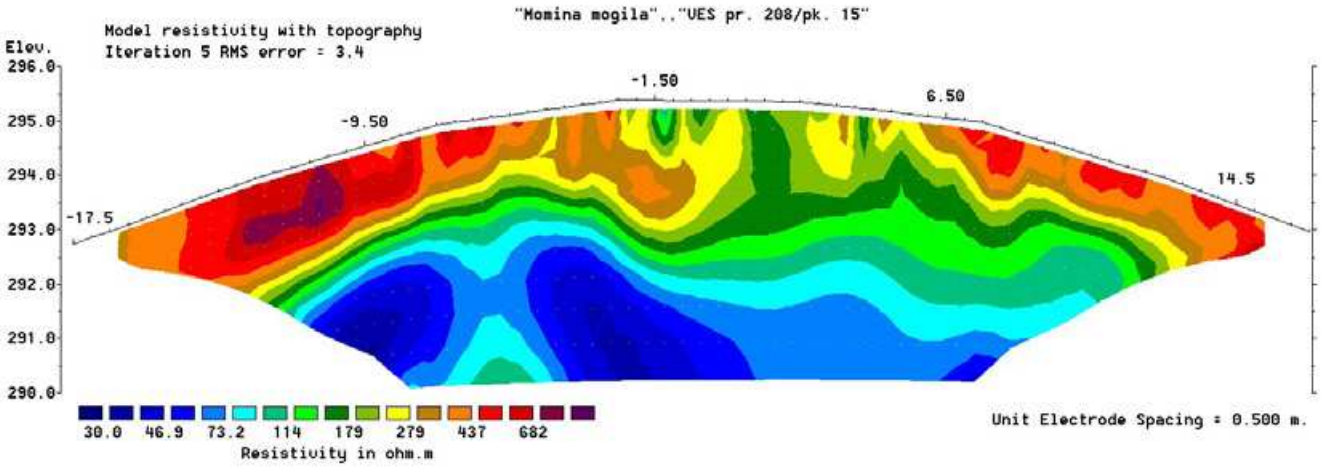
Момина могила. Карта на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5.

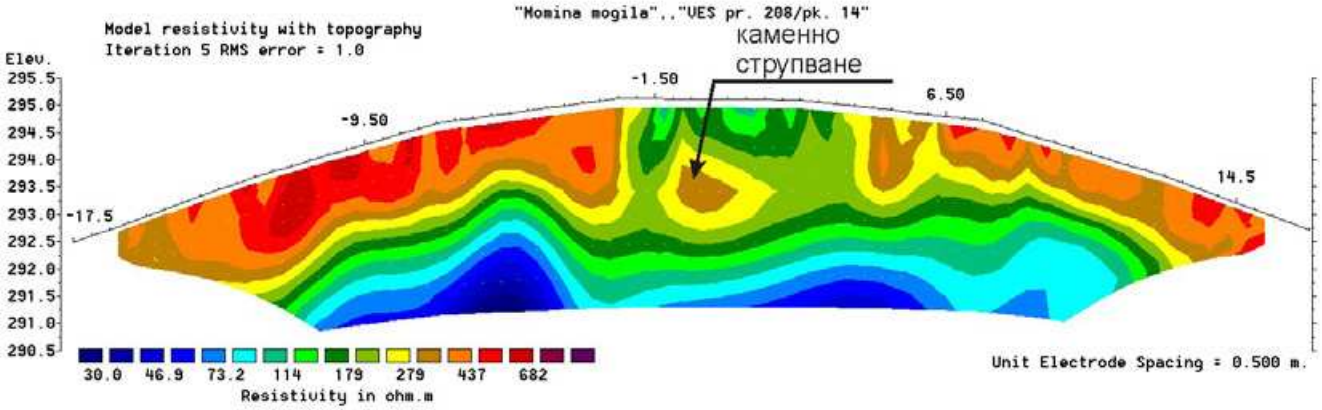


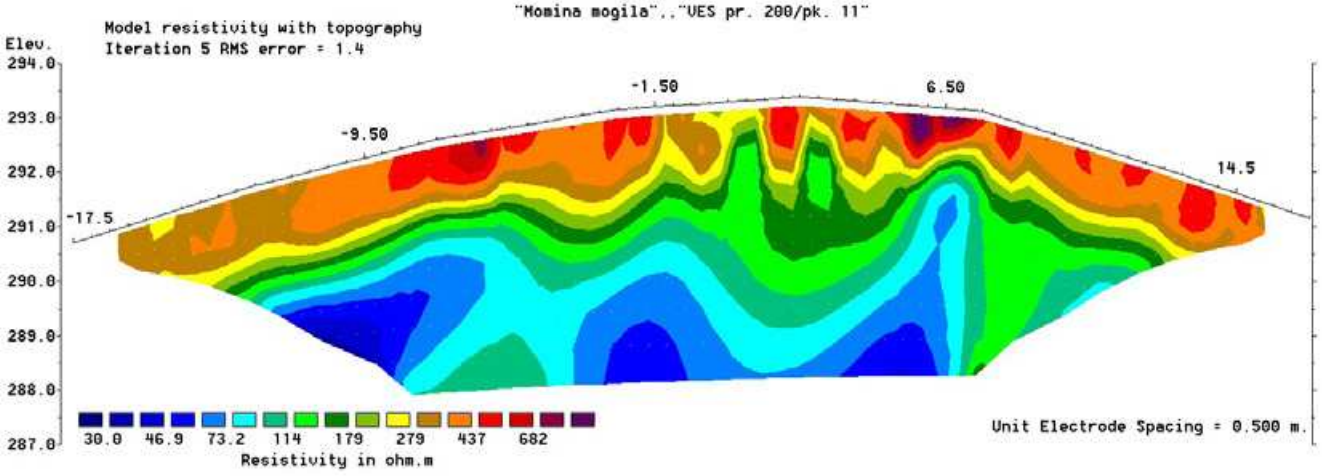
Двумерен инверсионен модел на съпротивлението по профил 208-8[9]



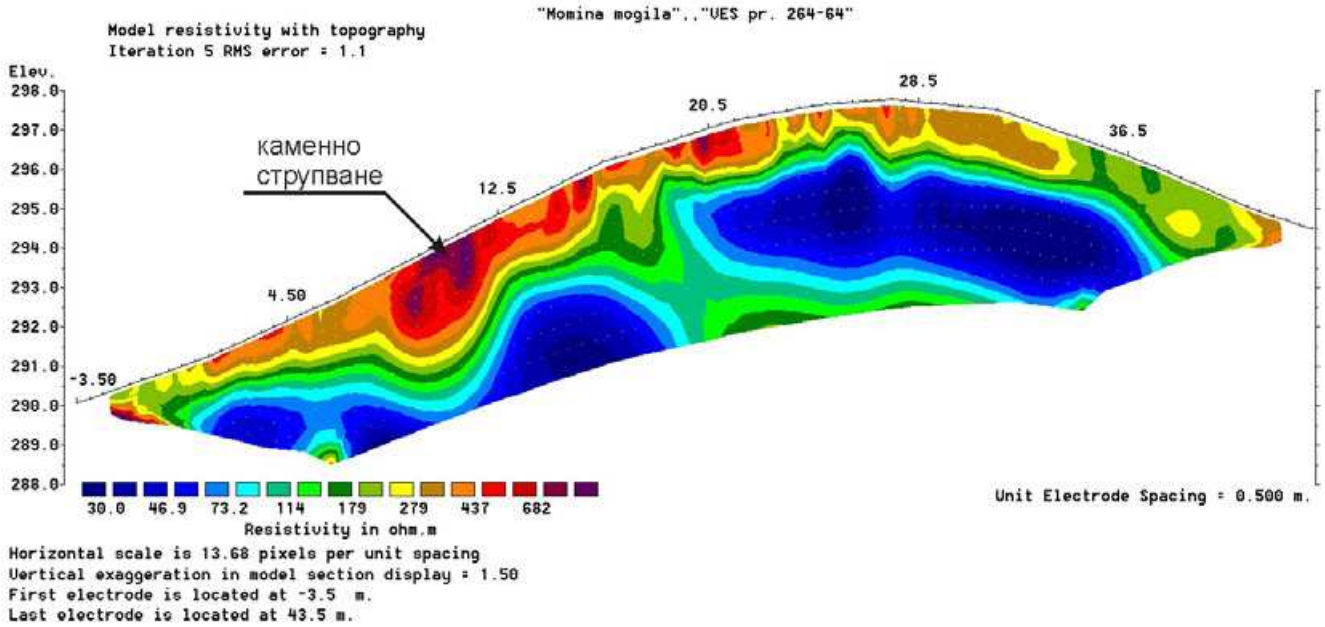
Двумерни инверсионни модели по профили 200+1, 200 и 192

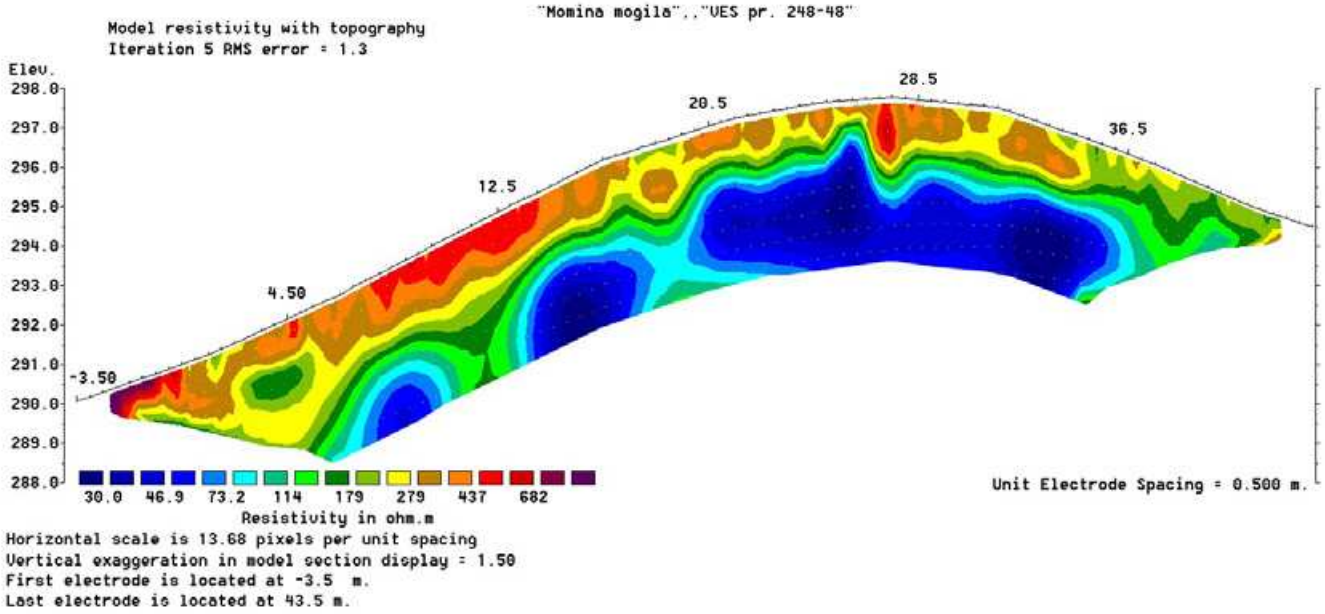




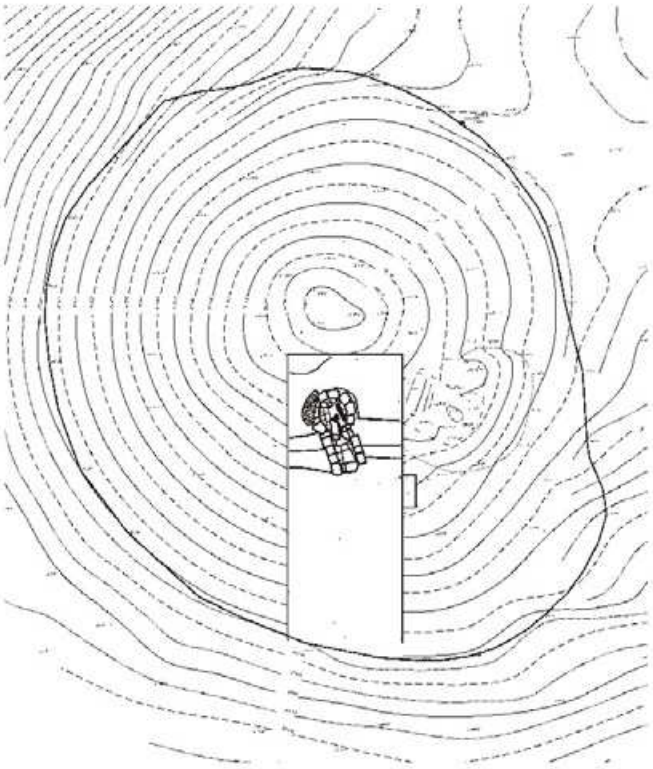


Двумерни инверсионни модели по напречни профили през метри 15, 14 и 11





Двумерни инверсионни модели по профили 264-64^{g} и 248-48^{g}



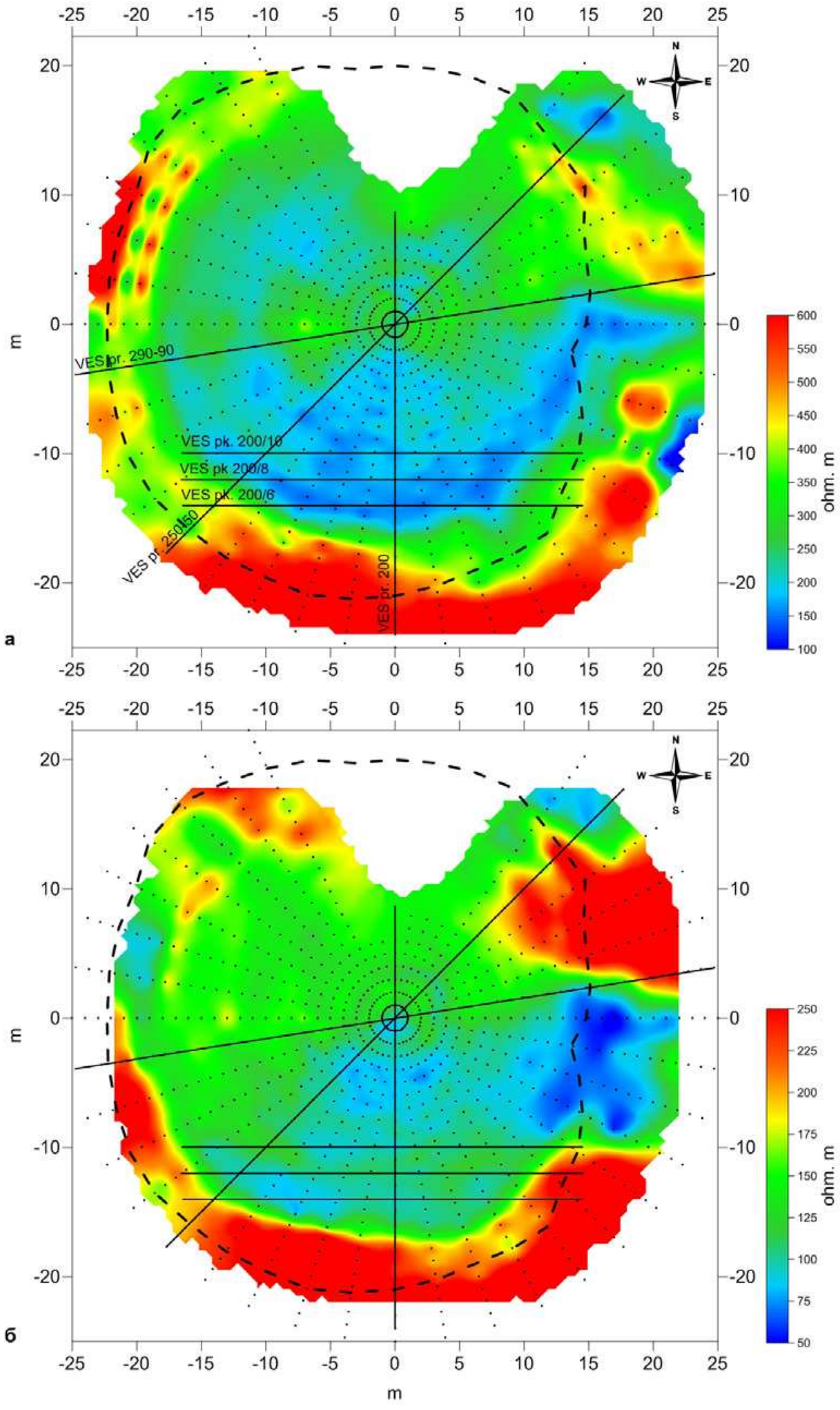




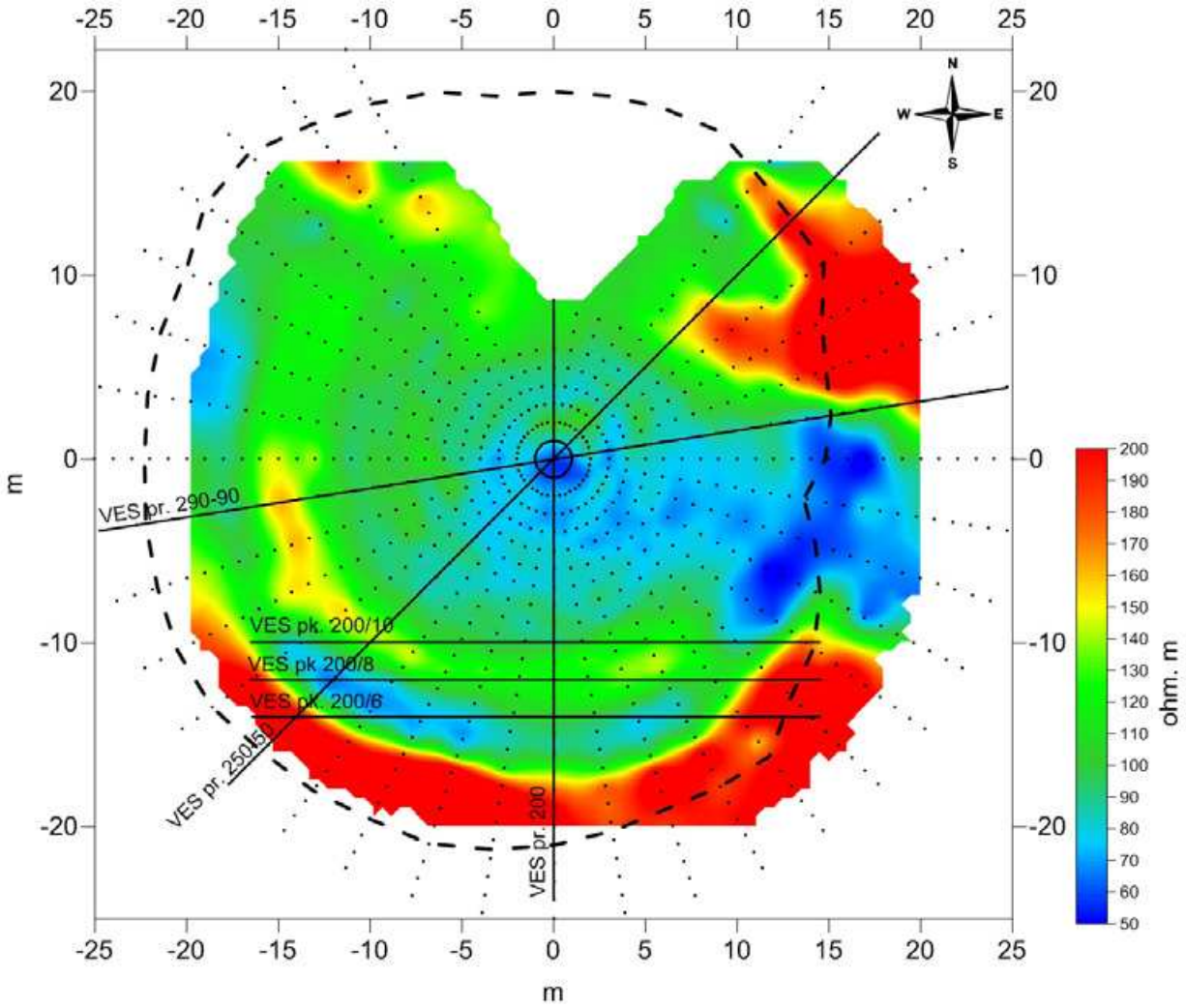
Гробницата в Момина могила



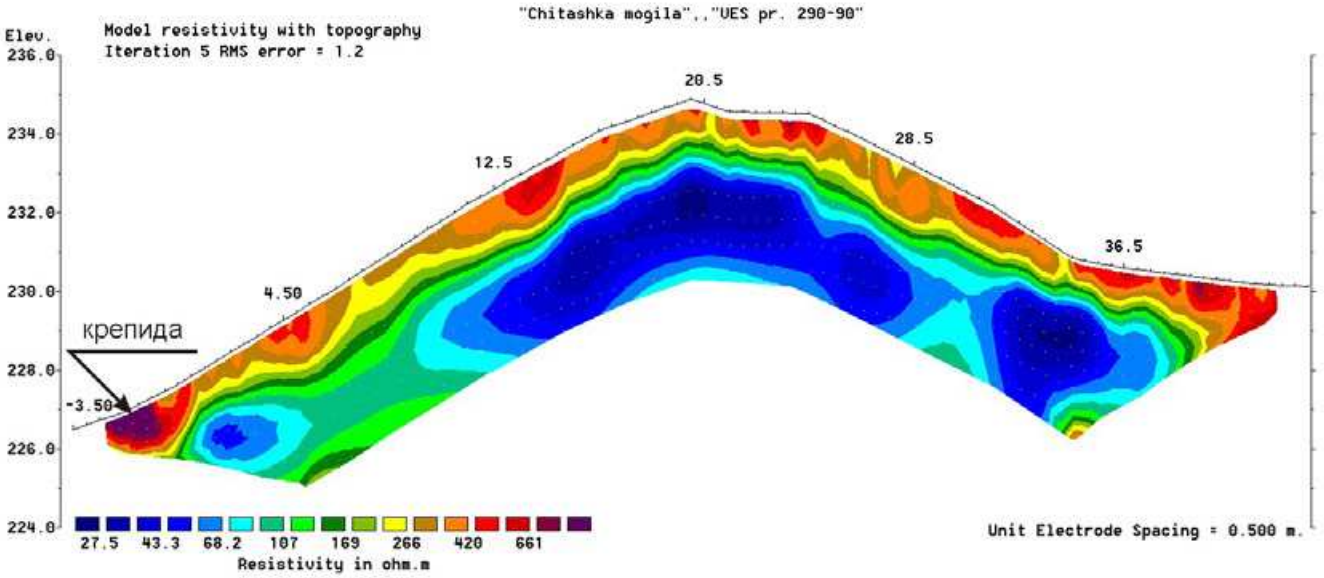
Читашката могила при с. Братя Даскалови.
Изглед от изток.

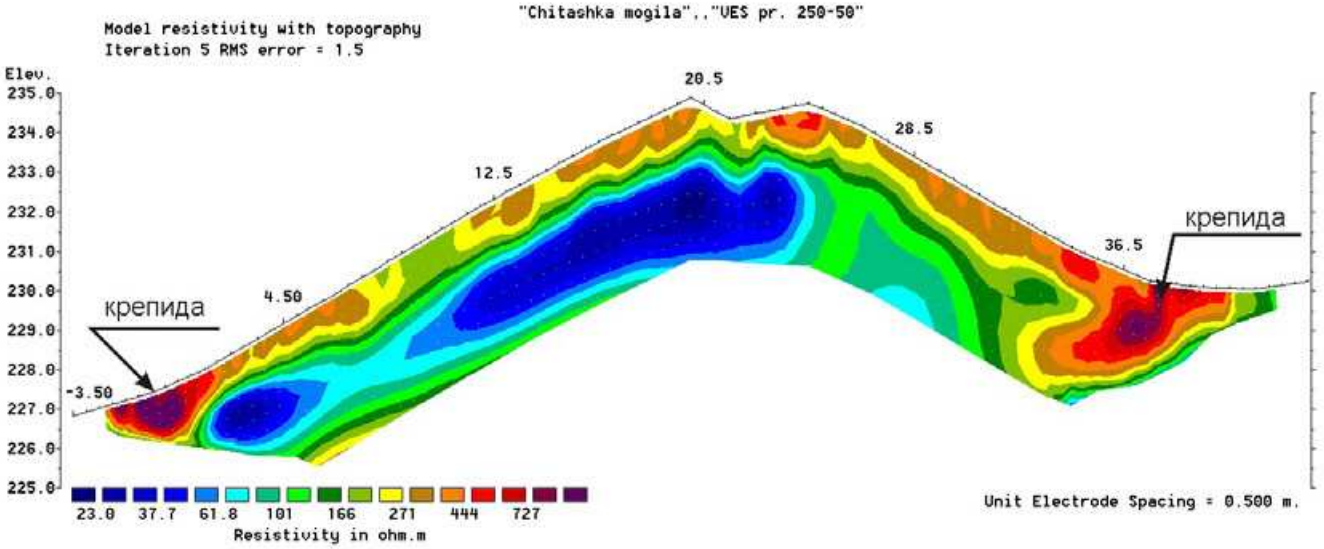


Читашката могила. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б).



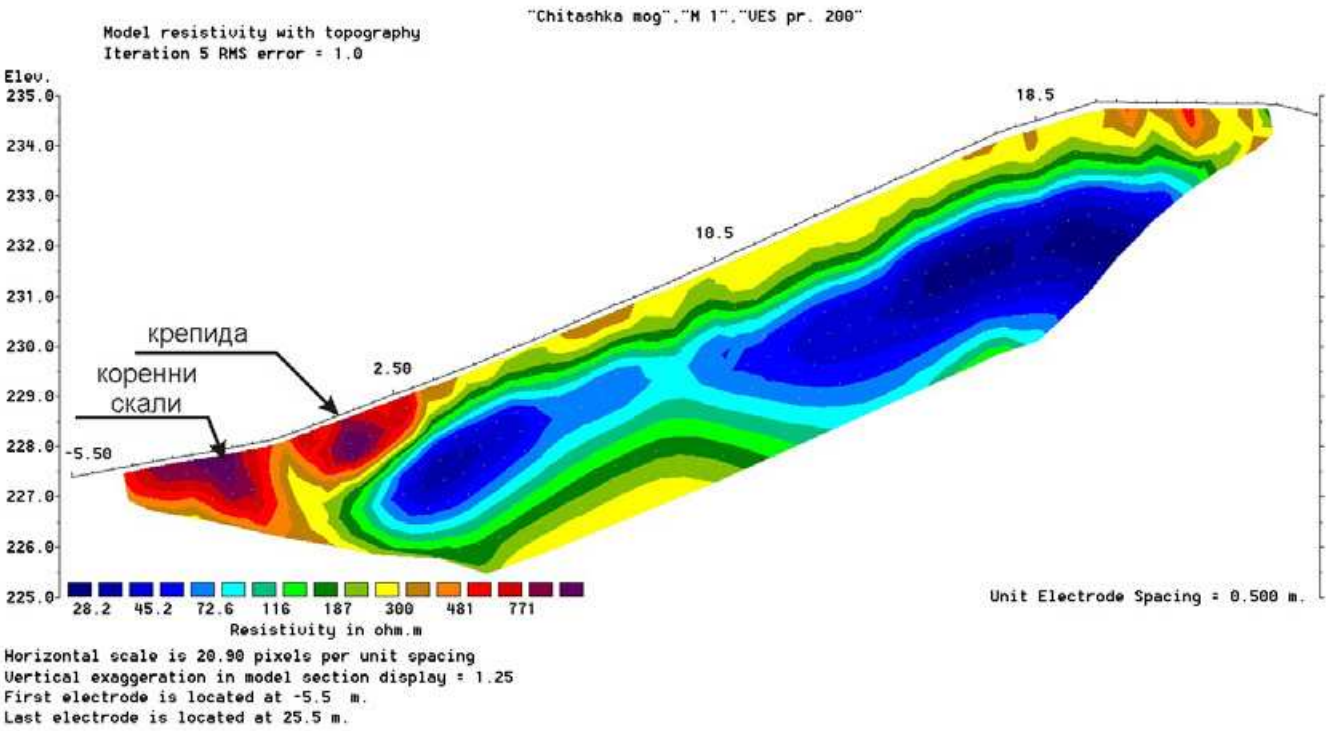
Читашката могила. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5.



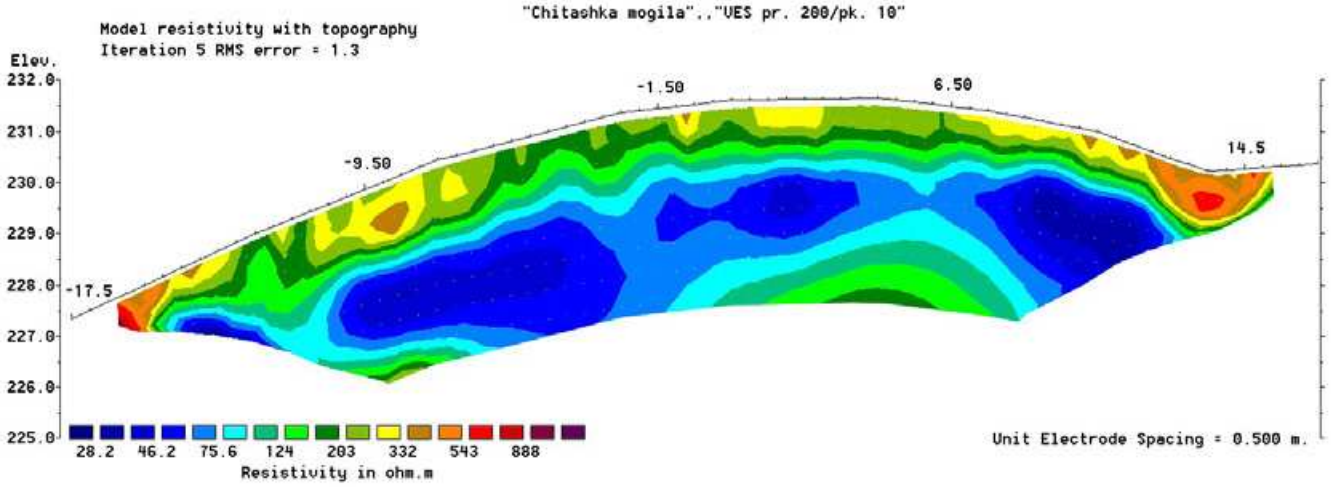


Horizontal scale is 13.68 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.50
First electrode is located at -3.5 m.
Last electrode is located at 43.5 m.

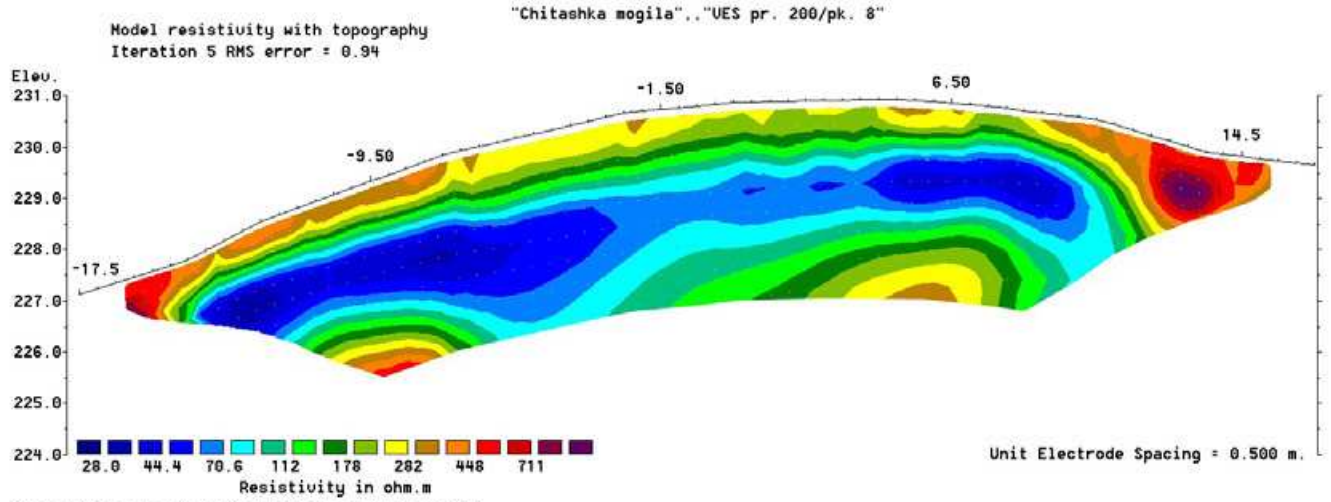
Инверсионни модели на съпротивлението по профили 290-90^{0} и 250-50^{0}



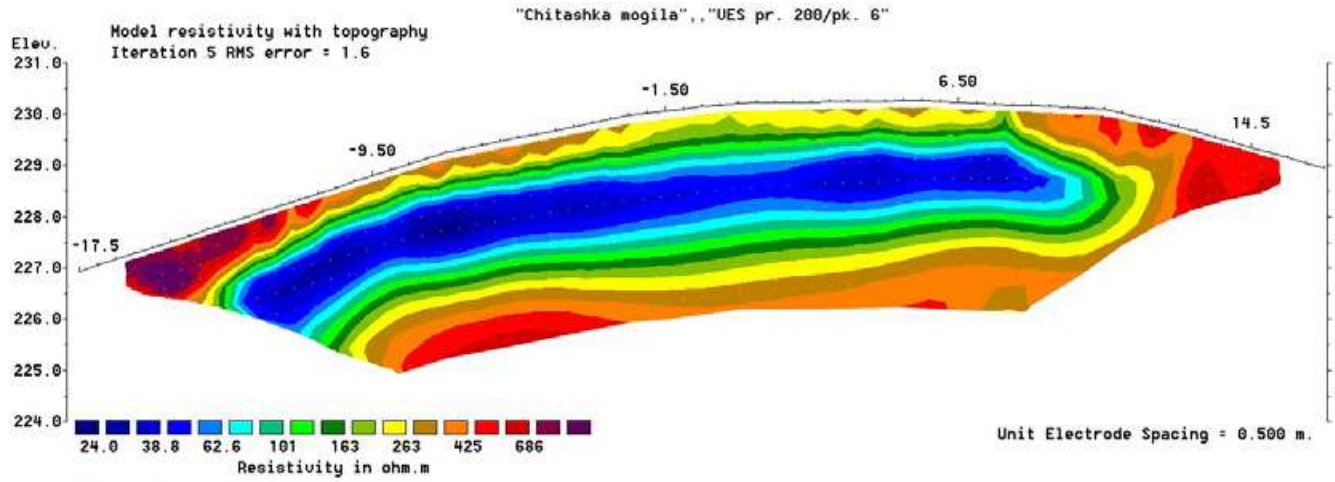
Инверсионен модел по профил 200[9]



Horizontal scale is 19.07 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.40
First electrode is located at -17.5 m.
Last electrode is located at 16.5 m.

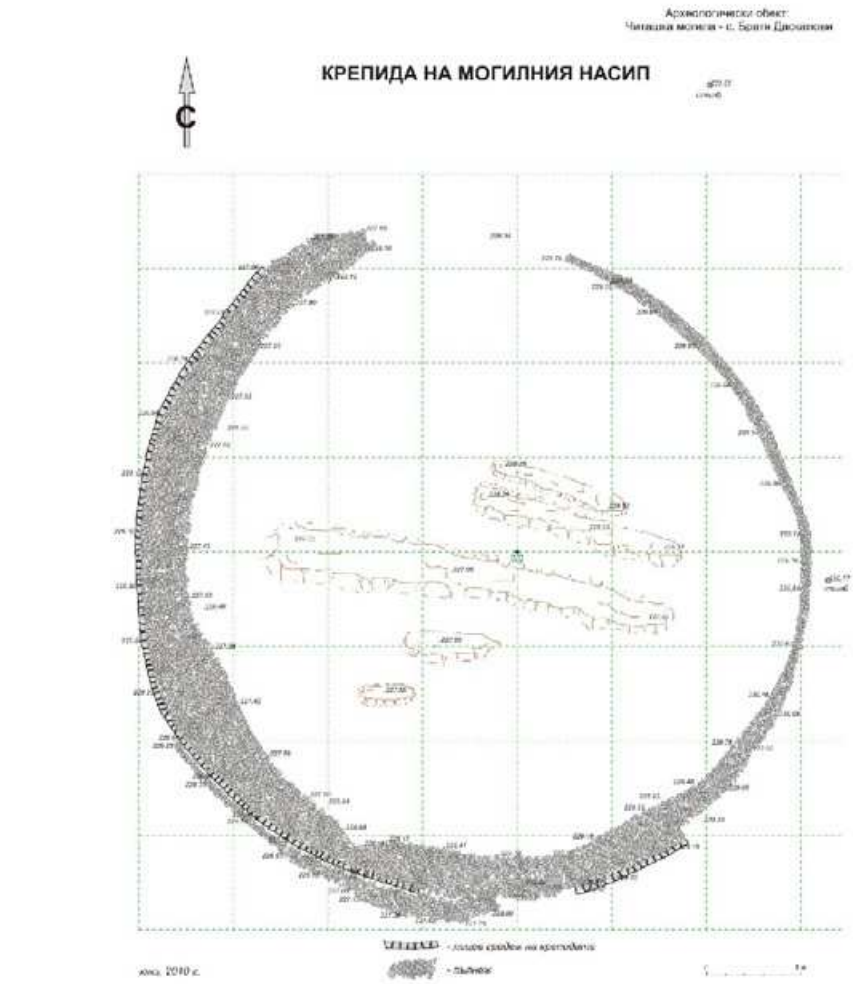


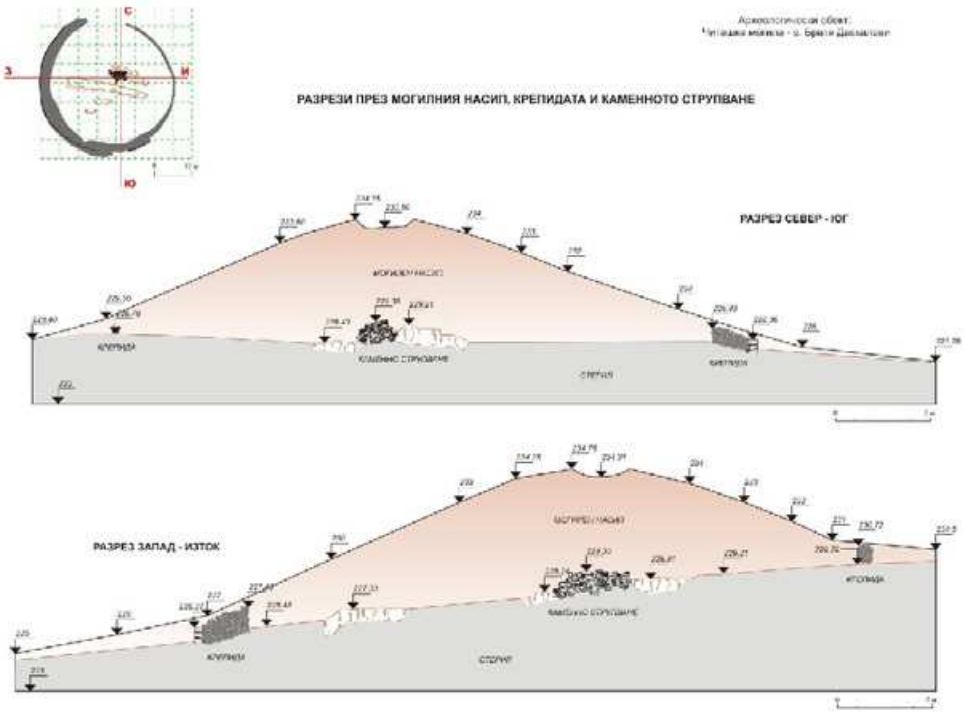
Horizontal scale is 18.91 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.41
First electrode is located at -17.5 m.
Last electrode is located at 16.5 m.



Horizontal scale is 19.06 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.40
First electrode is located at -17.5 m.
Last electrode is located at 16.5 m.

Инверсионни модели по напречни профили З-И през метри 10, 8 и 6

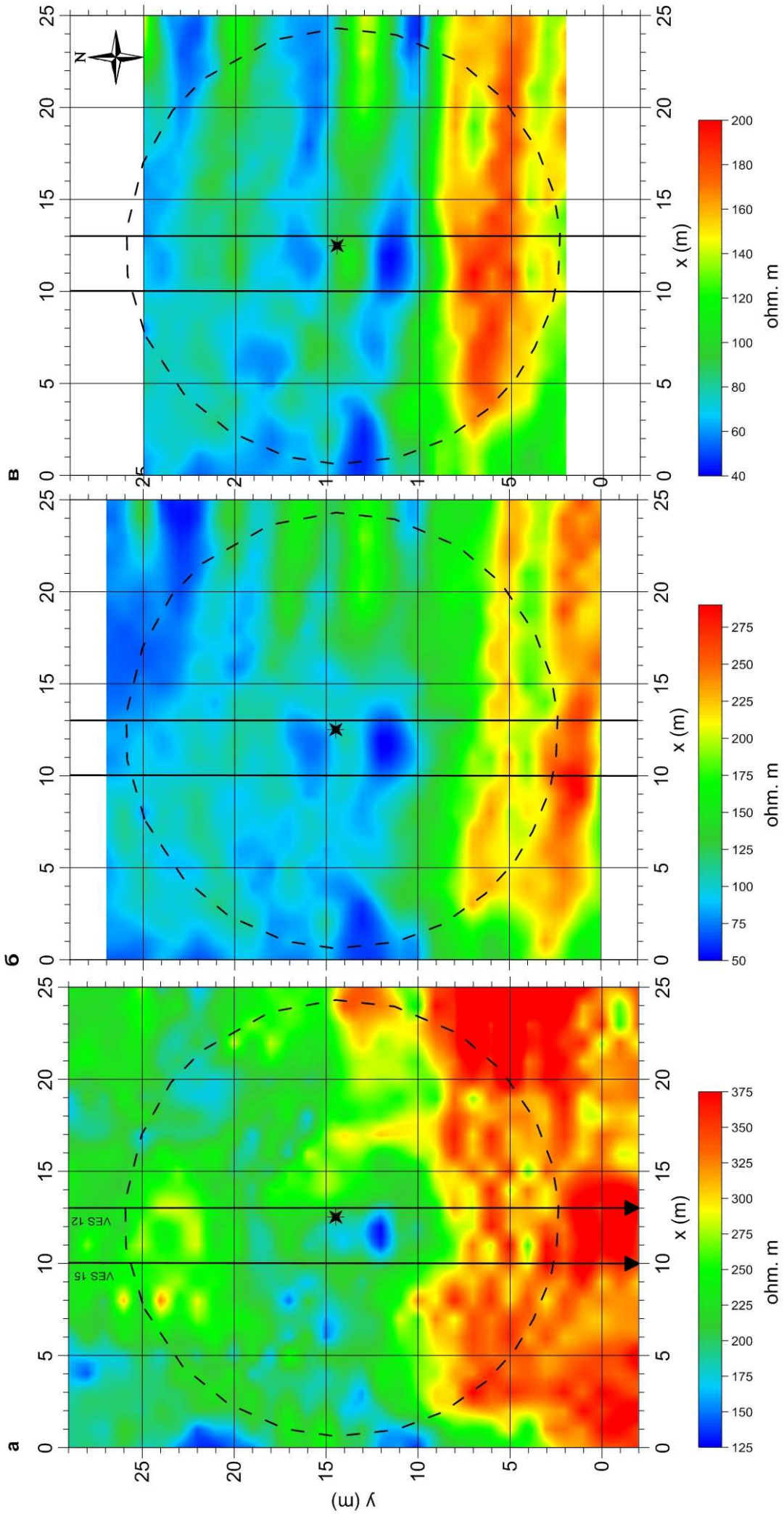




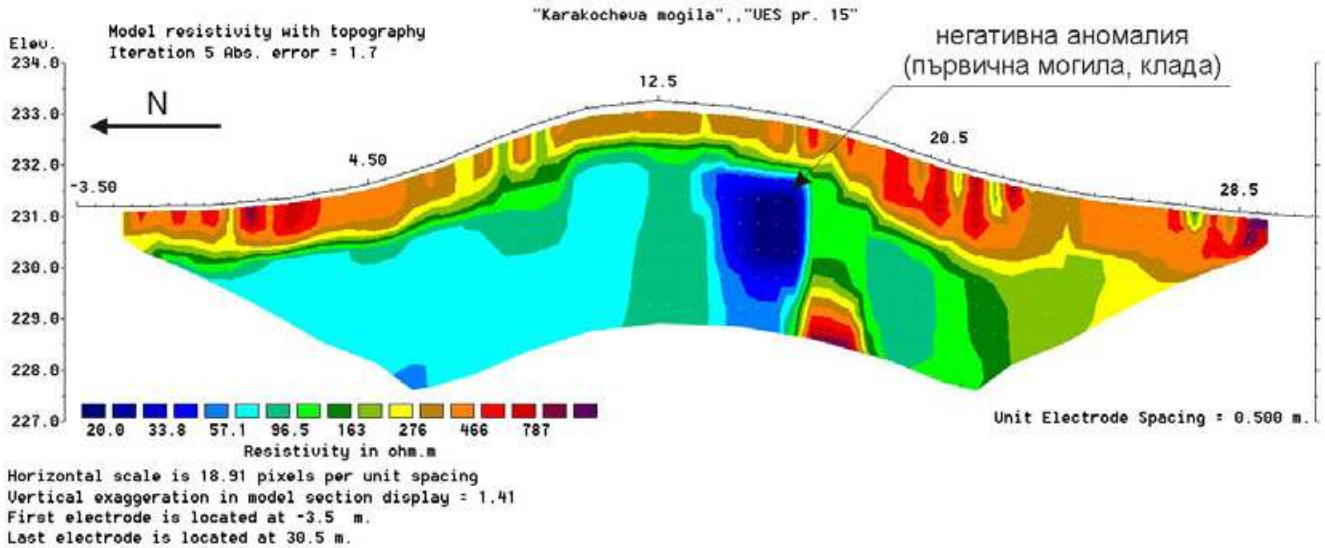
Графична документация на резултатите от разкопките на Читашката могила

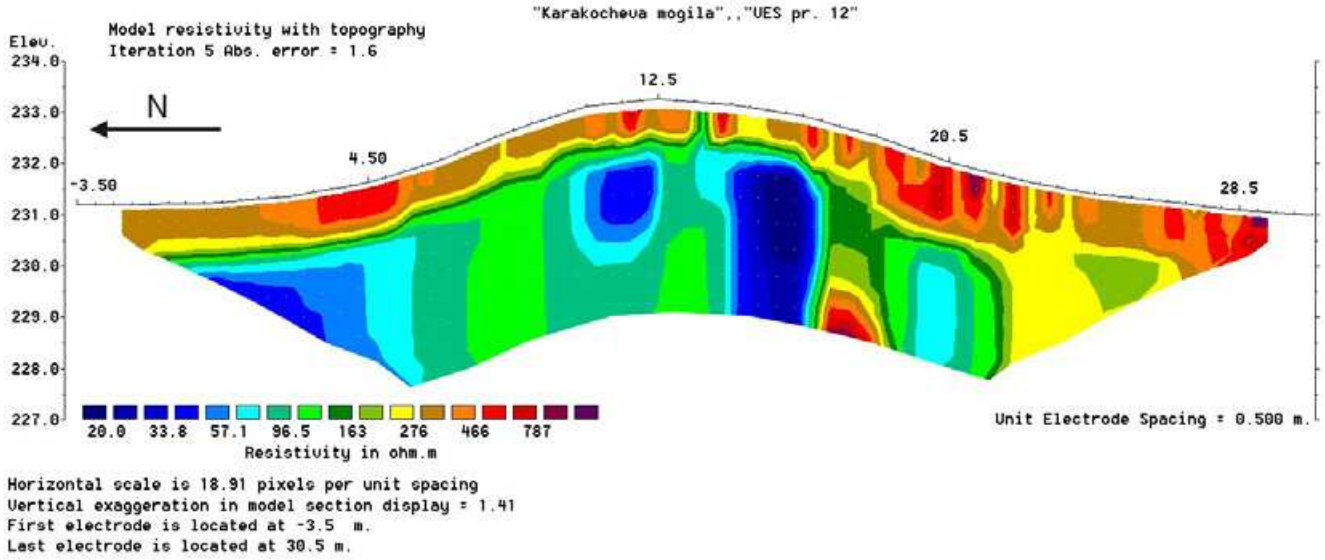


Каракочова могила при с. Братя Даскалови. Изглед от юго-изток.



Каракочова могила. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление n=1 (а), n=3 (б) и n=5 (в).





Инверсионни модели на съпротивлението по профили 15 и 12



Кладата и могилката над нея в Каракочова могила

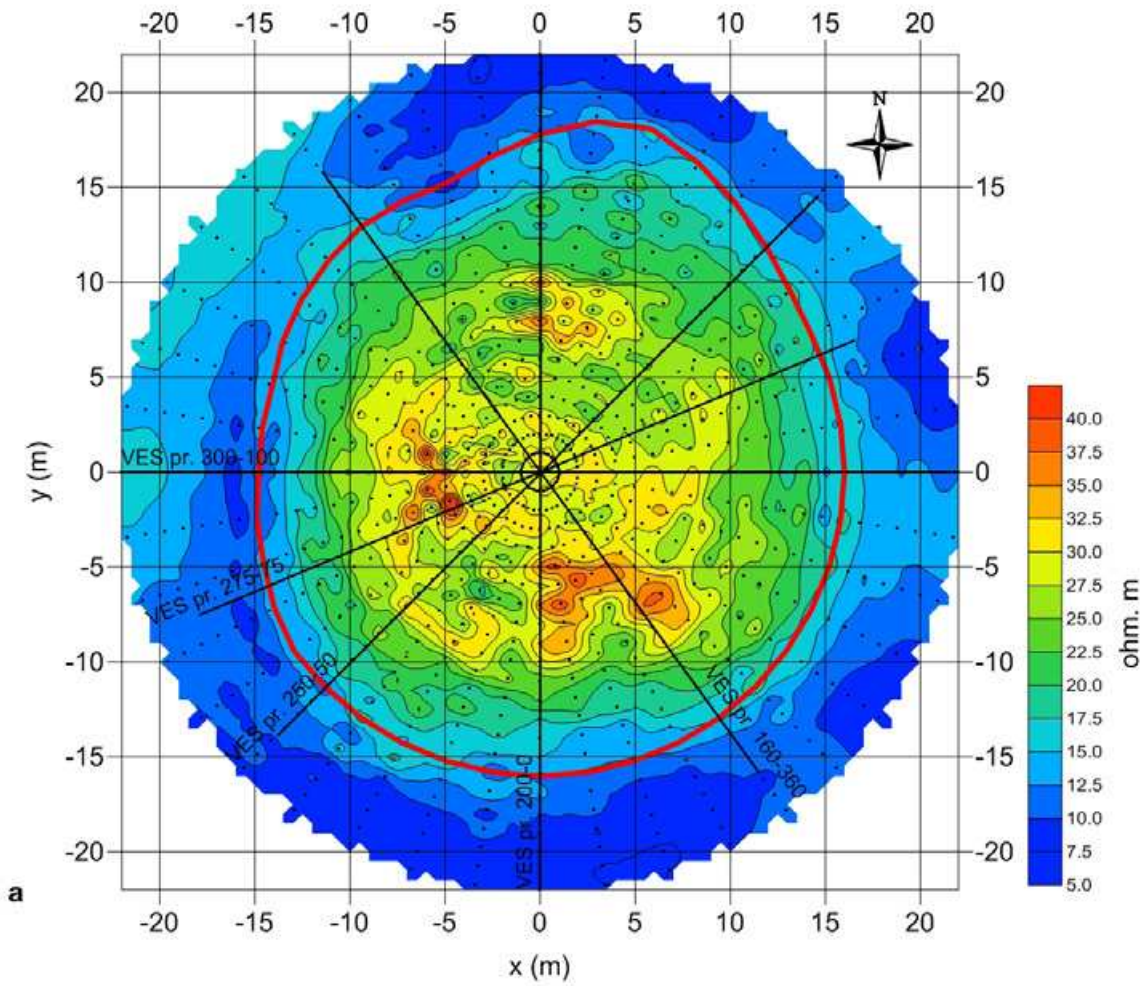
а

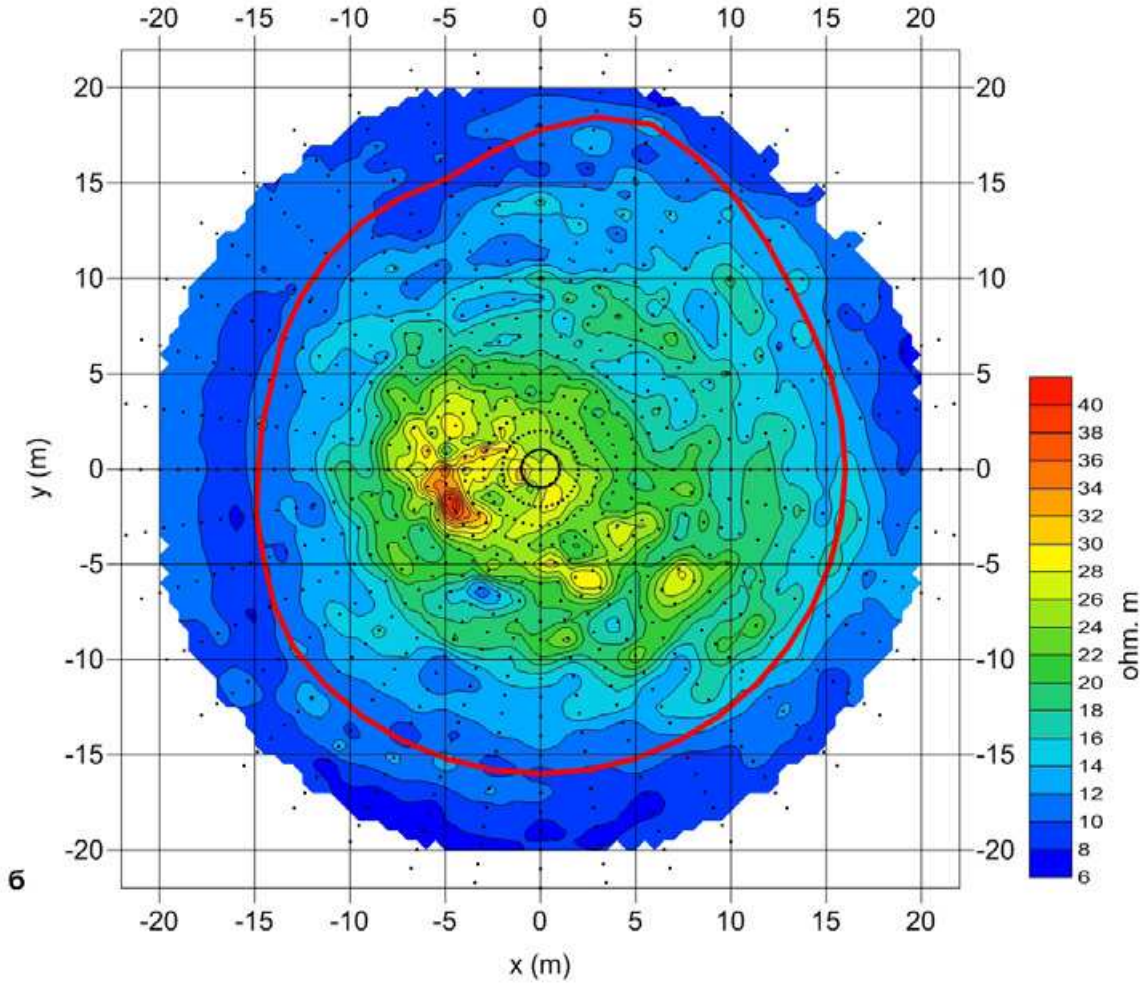


б

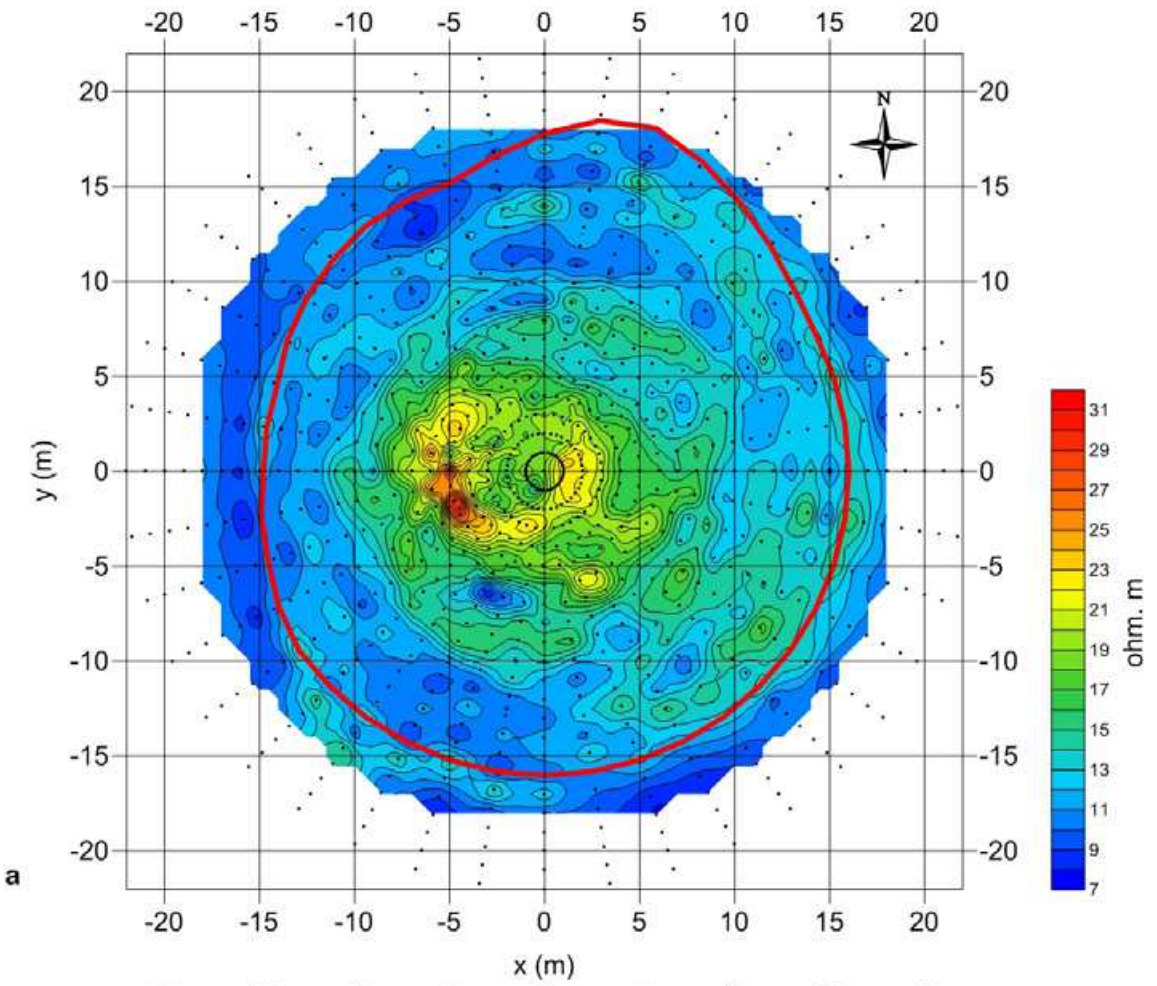


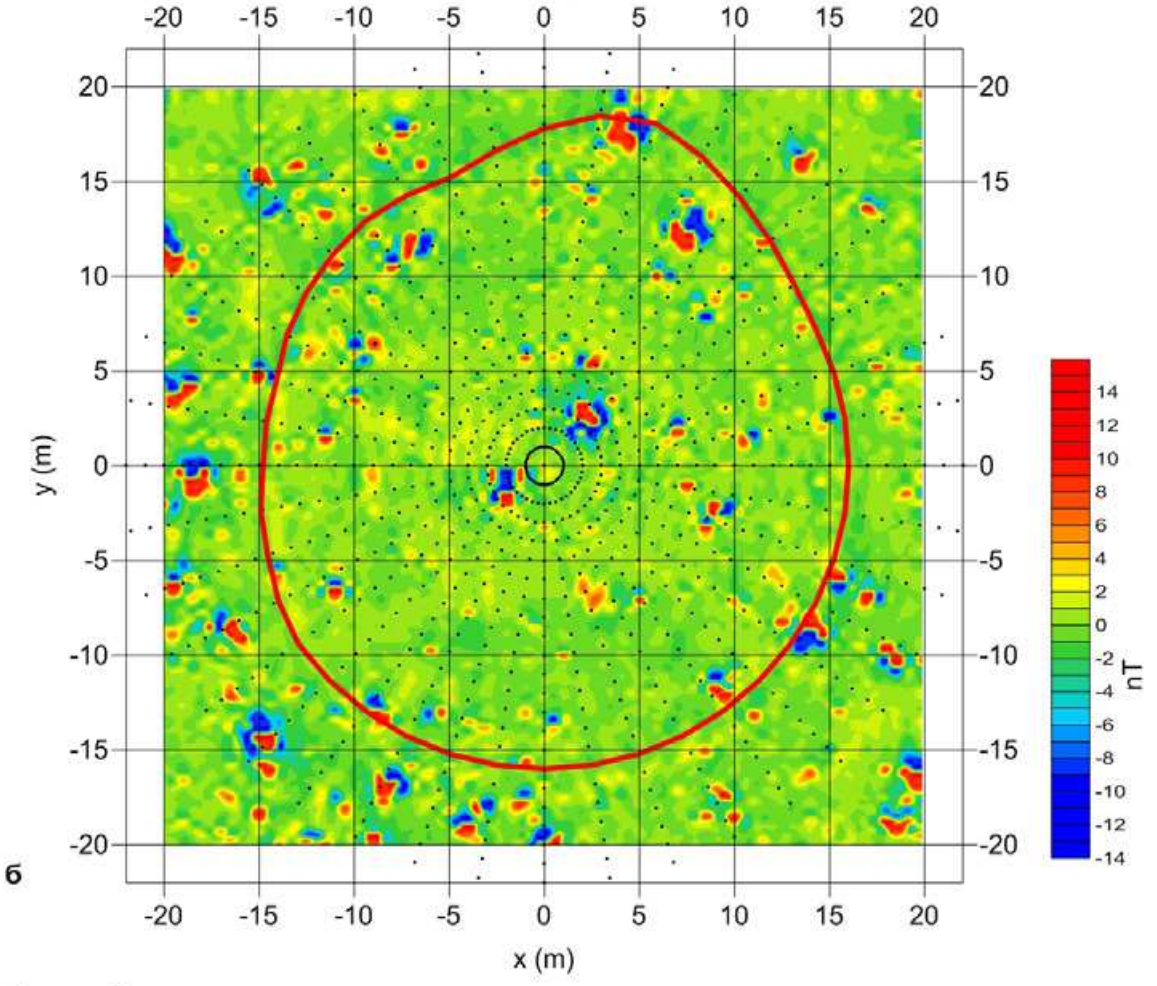
Могила 1 при с. Гранит.
Изглед от юг (а) и каменното струпване достигнато от иманярите (б)



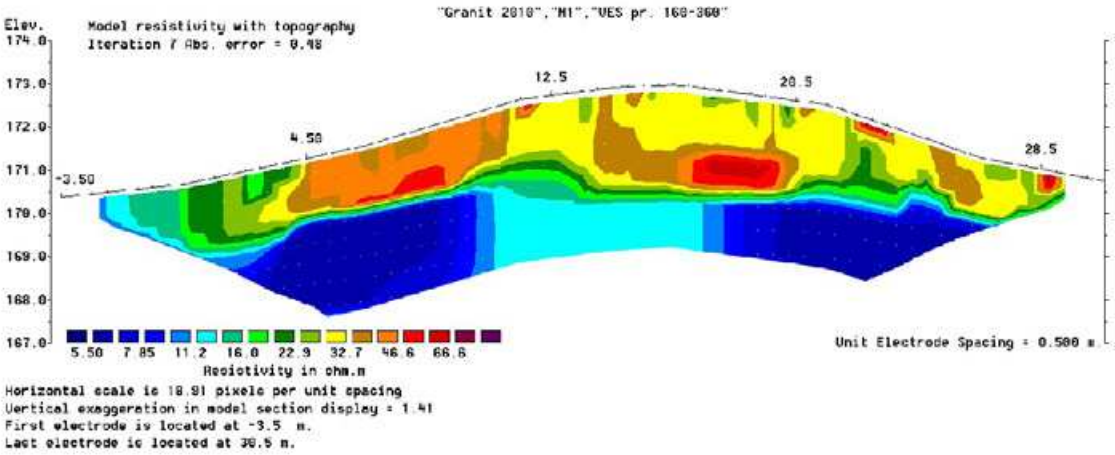


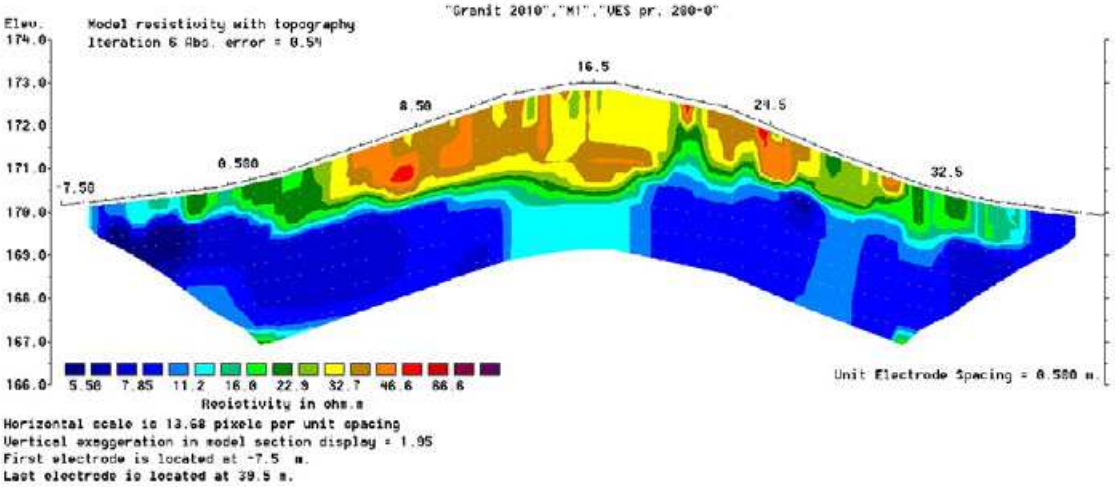
Могила 1 при с. Гранит.
Карти на измереното привидно електрическо съпротивление n=1 (а), n=3 (б).



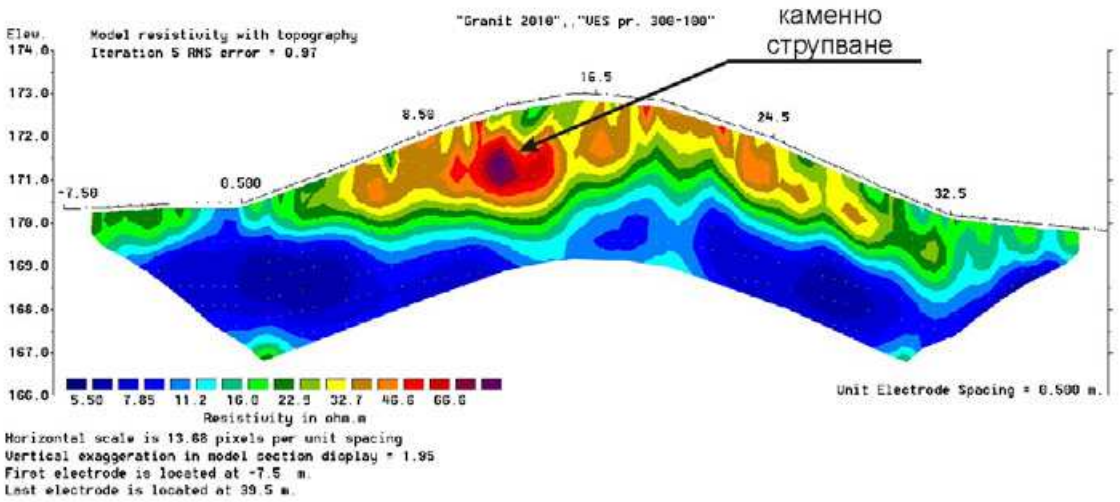


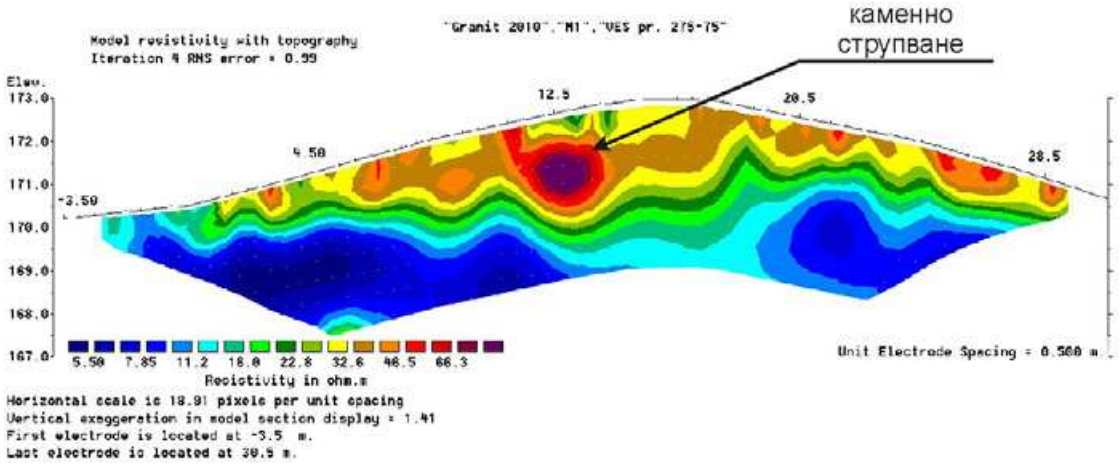
Могила 1 при с. Гранит.
Карти на измереното привидно електрическо съпротивление n=5 (а) и вертикалния магнитен градиент (б).

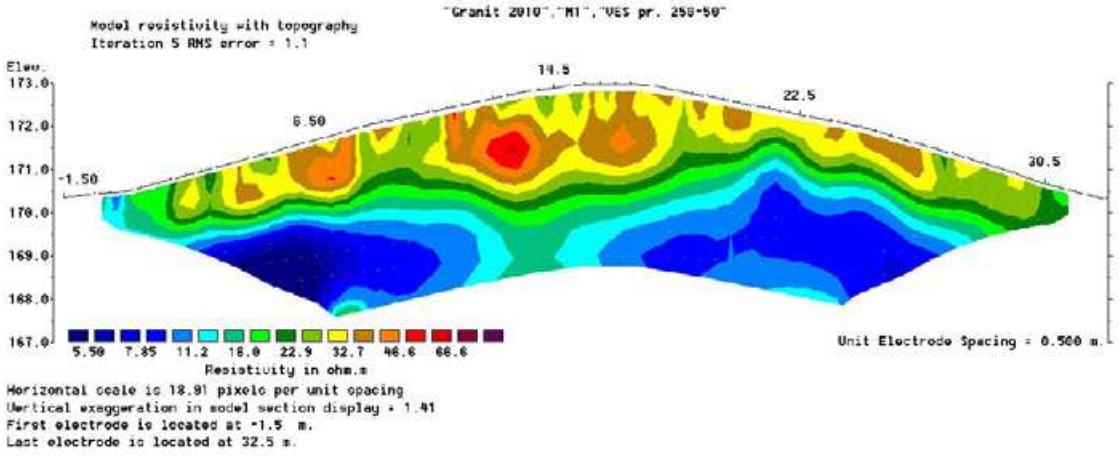




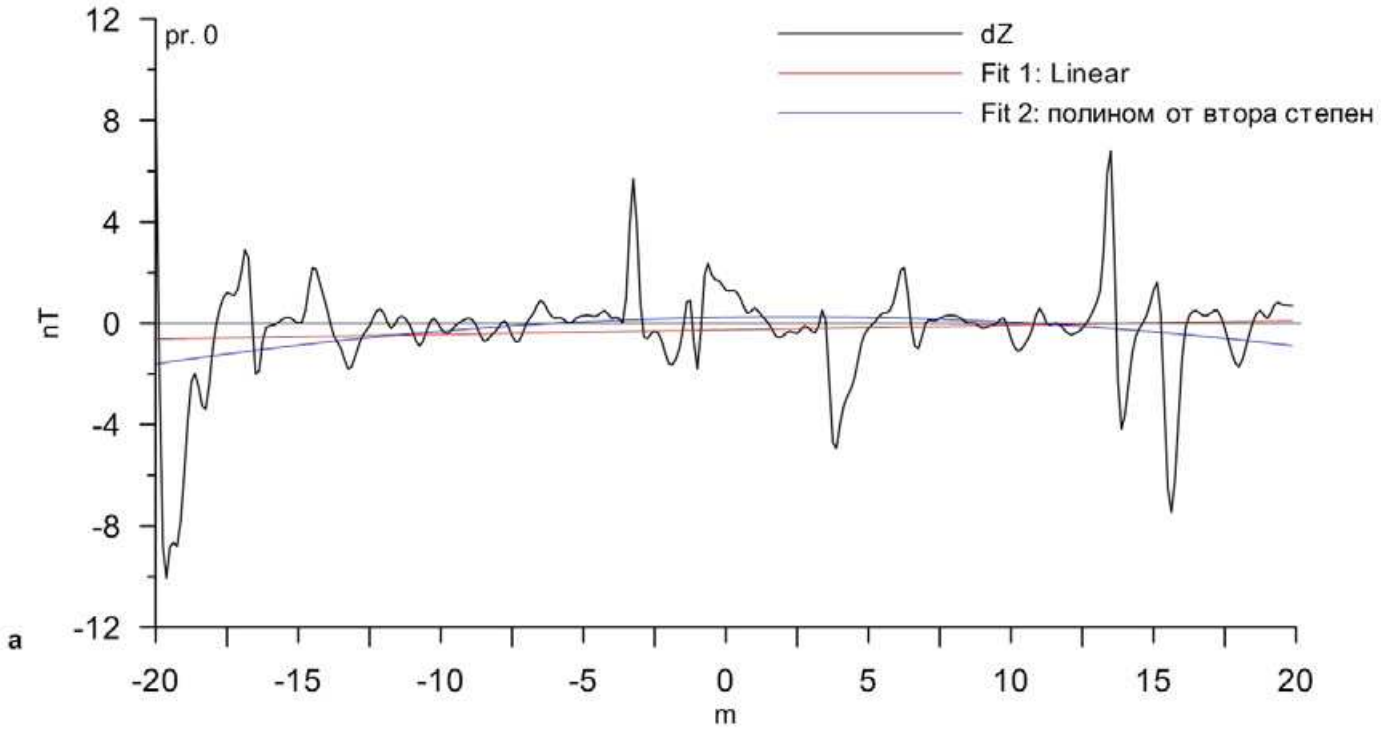
Инверсионни модели на съпротивлението по профили 160-360° и 200-0°







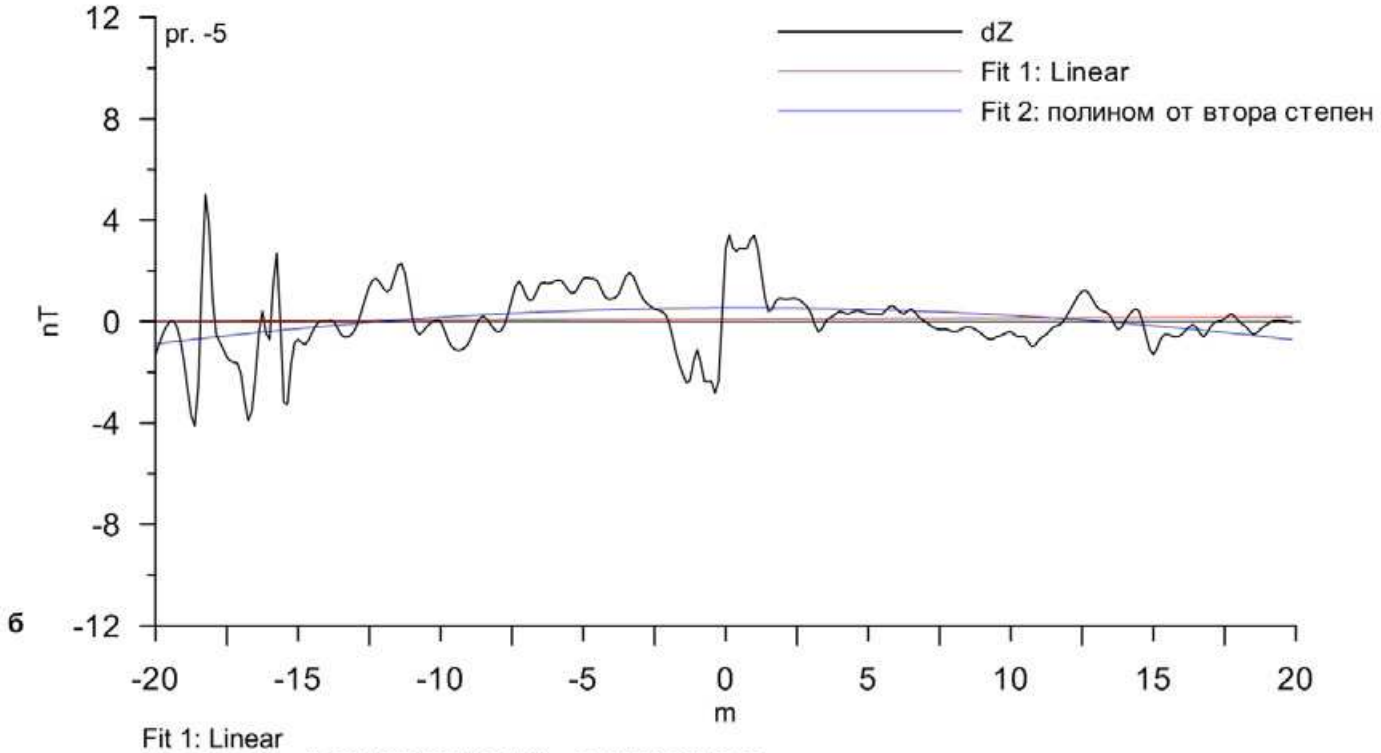
Инверсионни модели на съпротивлението по профили 300-100^{g}, 275-75^{g} и 250-50^{g}



а

Fit 1: Linear
Equation Y = 0.01816792085 * X - 0.2575185559

Fit 2: полином от втора степен
Equation Y = 0.2416814625 + 0.01769990255 * X - 0.003744146393 * pow(X,2)



б

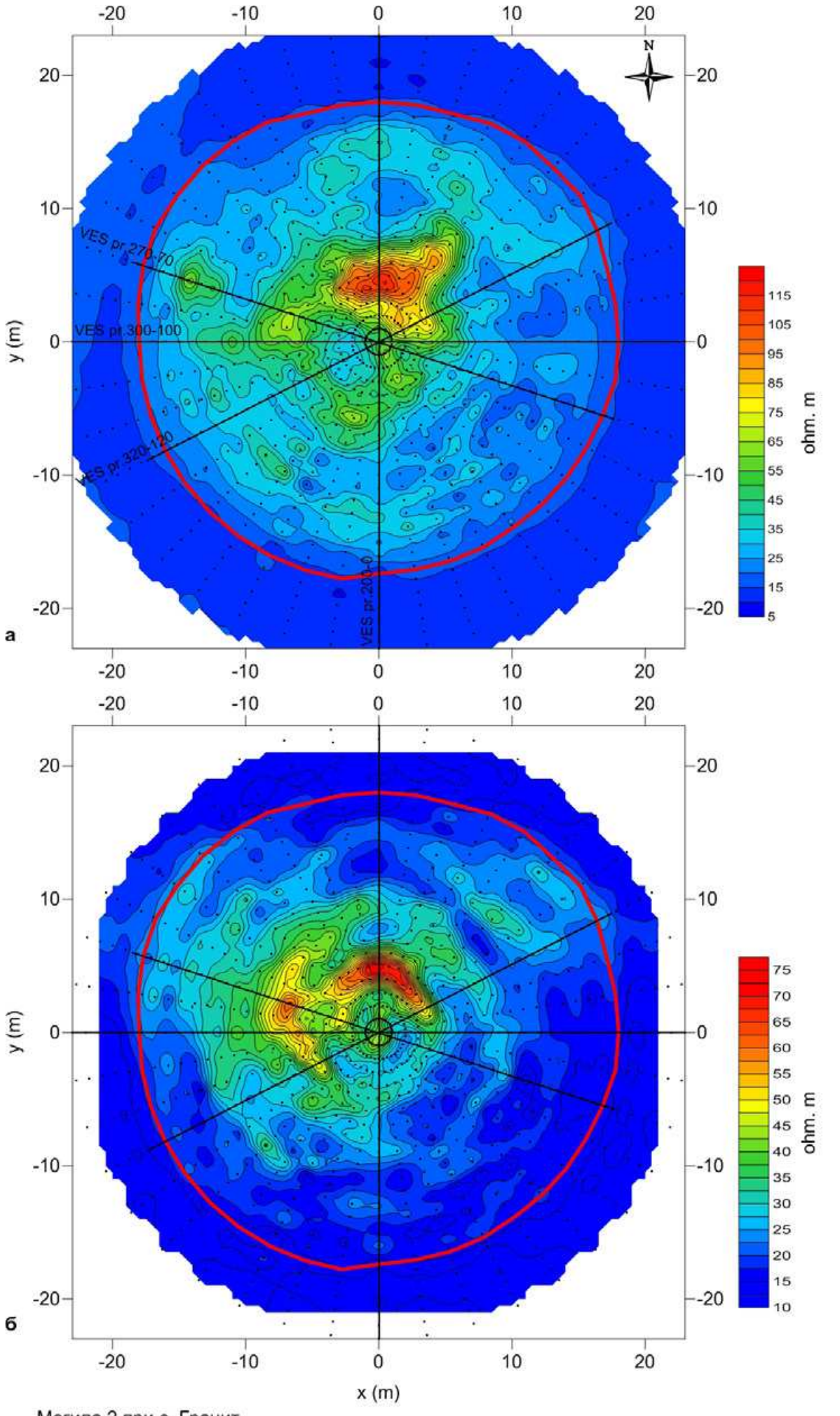
Fit 1: Linear
Equation Y = 0.004197065109 * X + 0.09069601347

Fit 2: полином от втора степен
Equation Y = 0.5372506726 + 0.003778403762 * X - 0.003349290775 * pow(X,2)

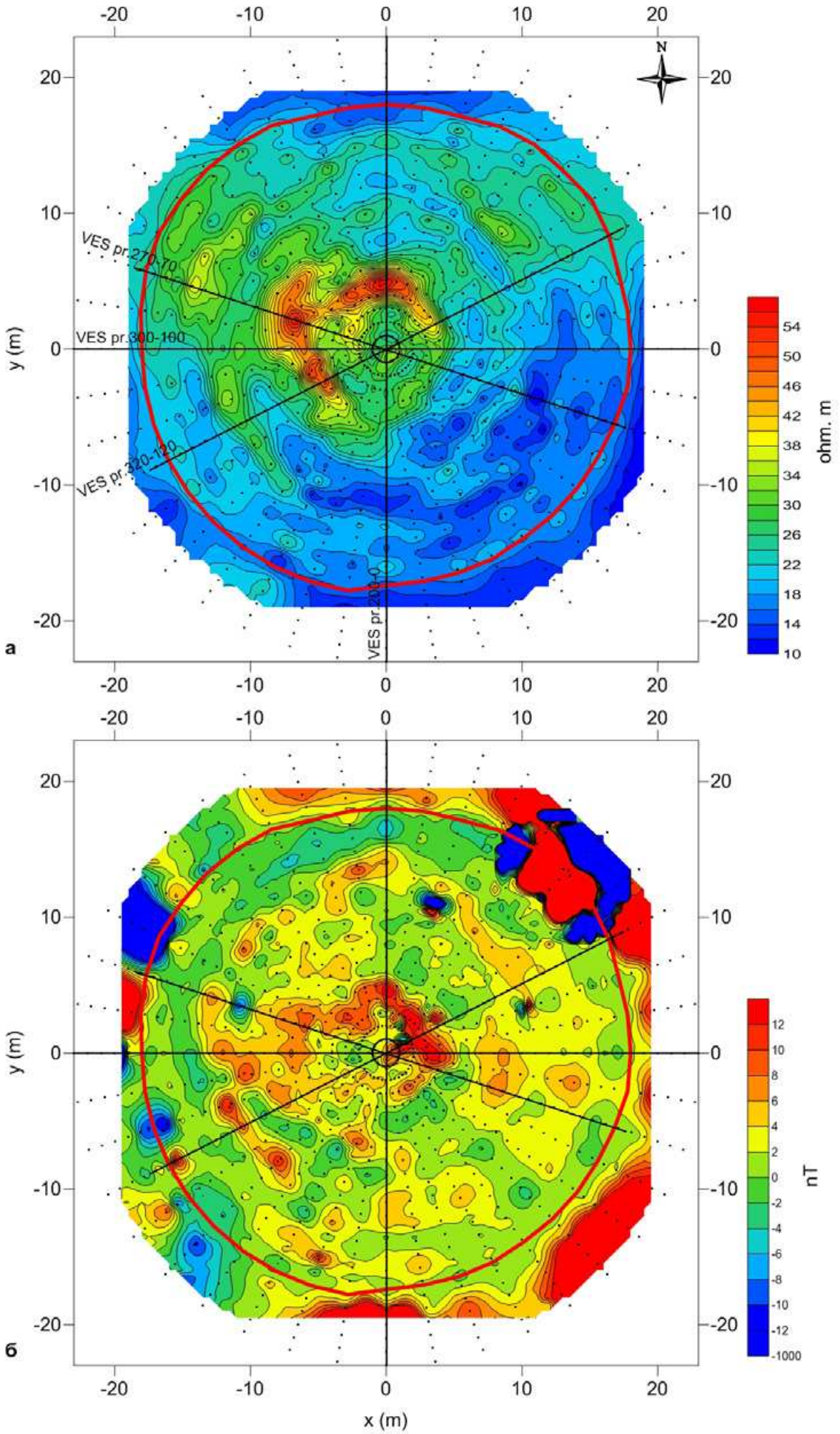
Криви на вертикалния градиент на магнитното поле по профили 0 (а) и -5 (б)



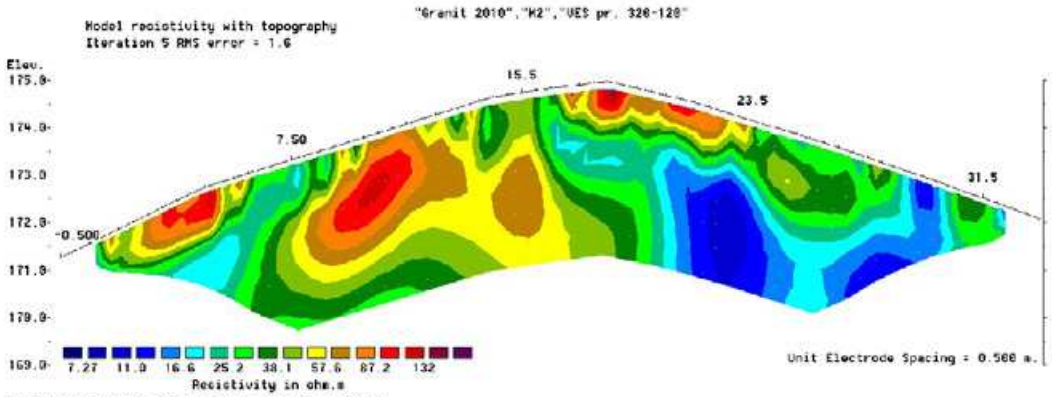
Могила 2 при с. Гранит. Изглед от юг.

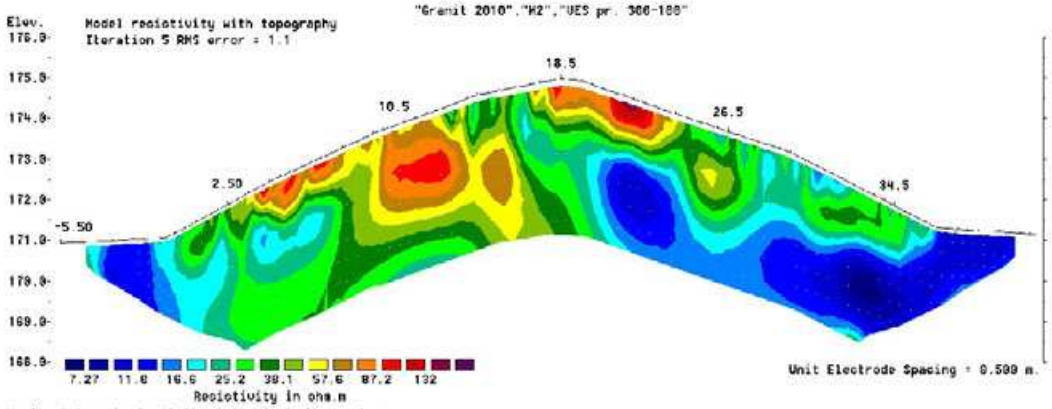


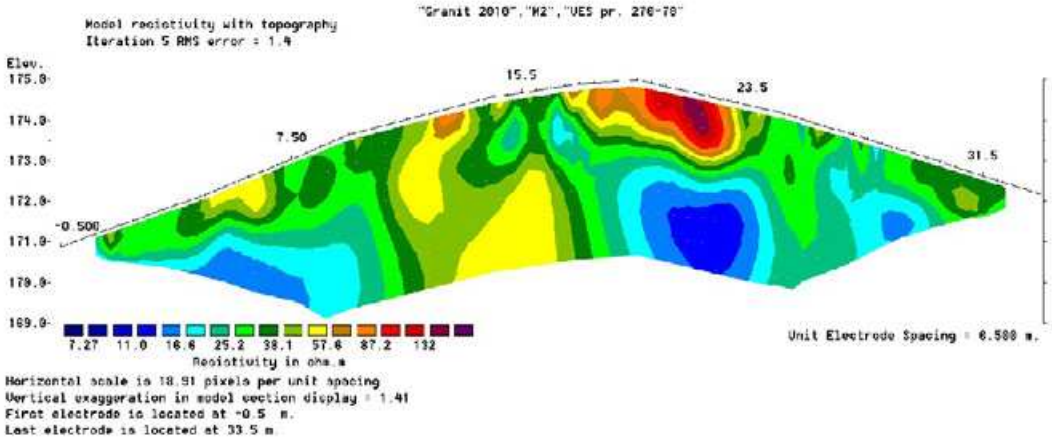
Могила 2 при с. Гранит.
Карти на измереното привидно електрическо съпротивление n=1 (а), n=3 (б).

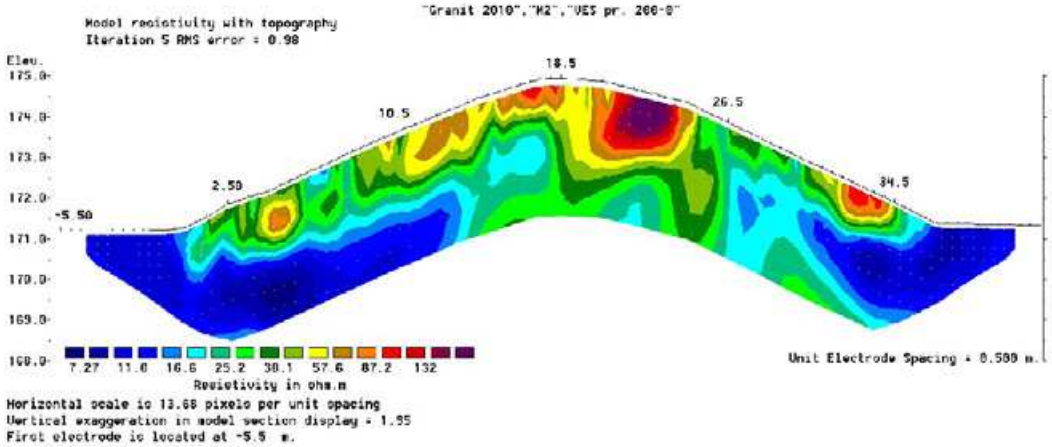


Могила 2 при с. Гранит.
Карти на измереното привидно електрическо съпротивление n=5 (а) и вертикалния магнитен градиент (б).



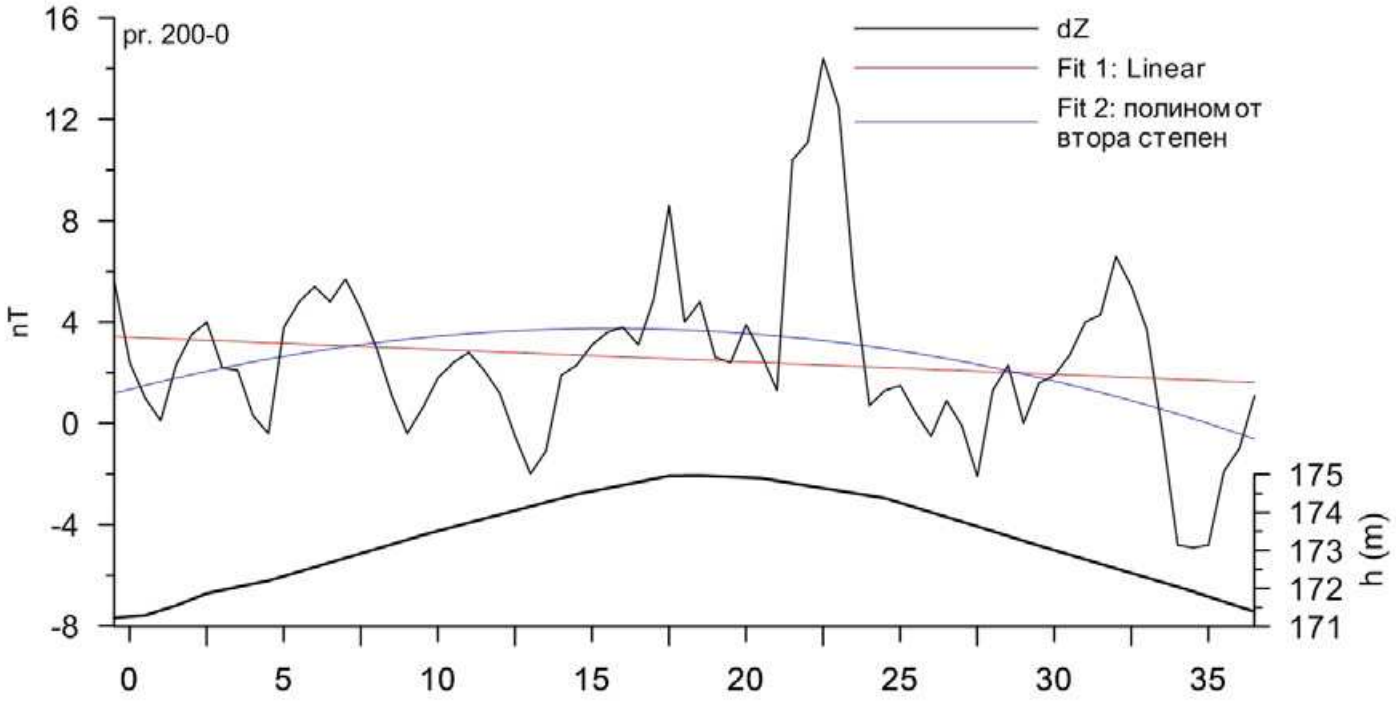


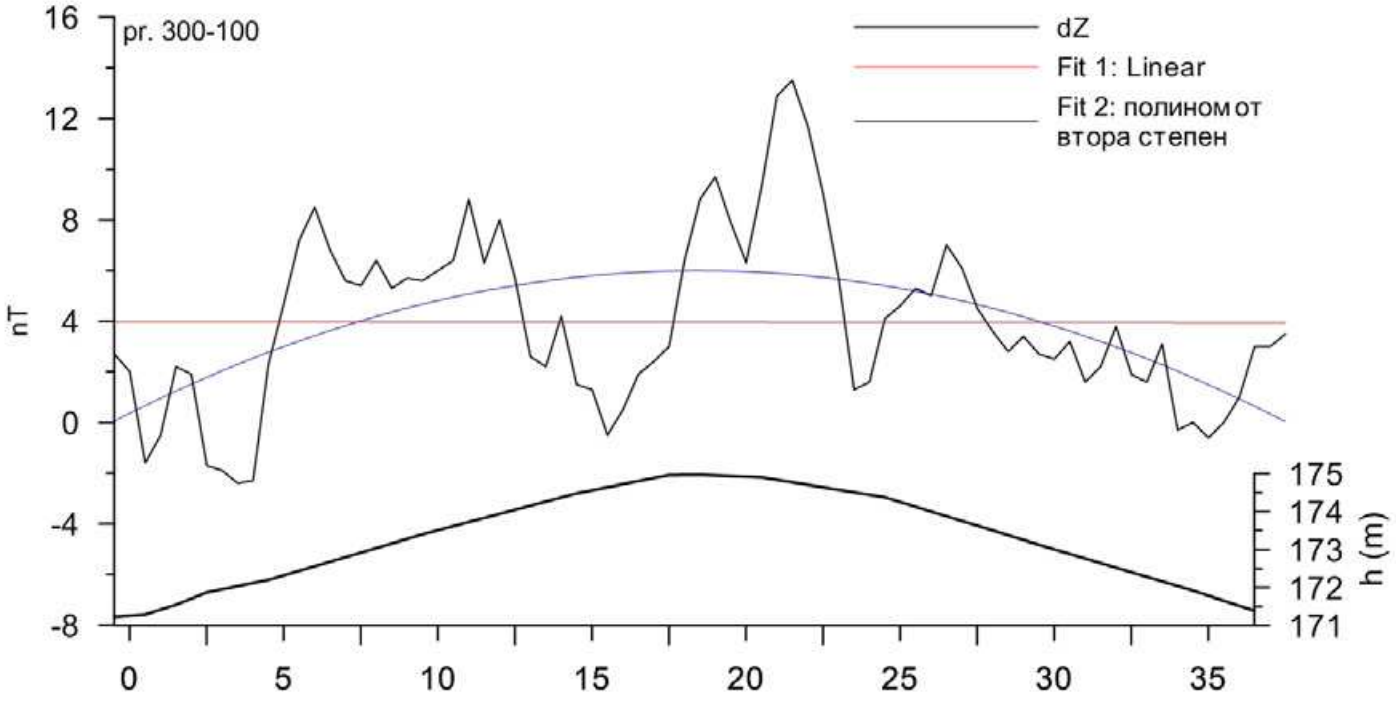




Инверсионни модели на съпротивлението по профили 320-120^0, 300-100^0, 270-70^0 и 200-0^0

Могила 2 при с. Гранит

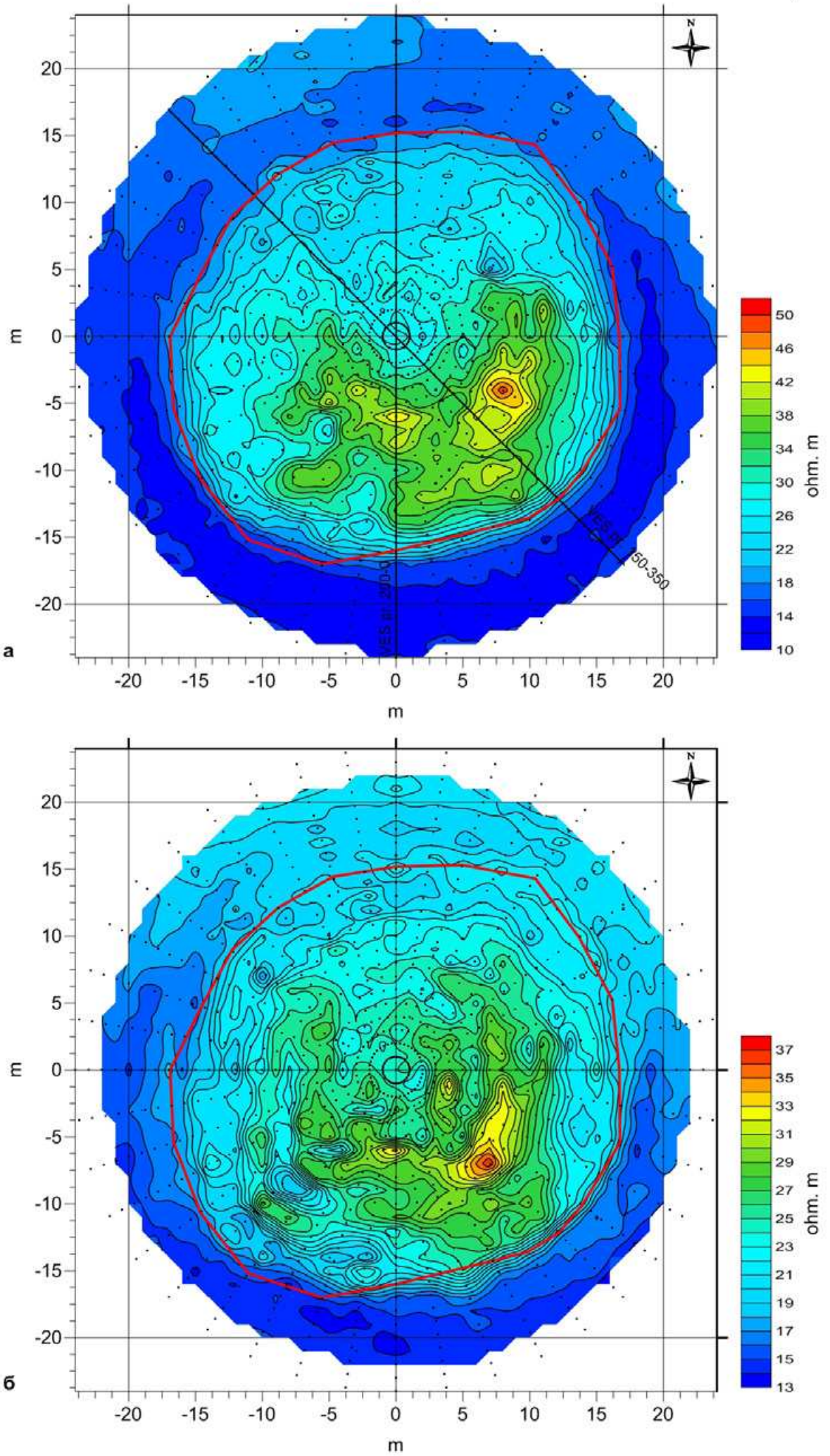




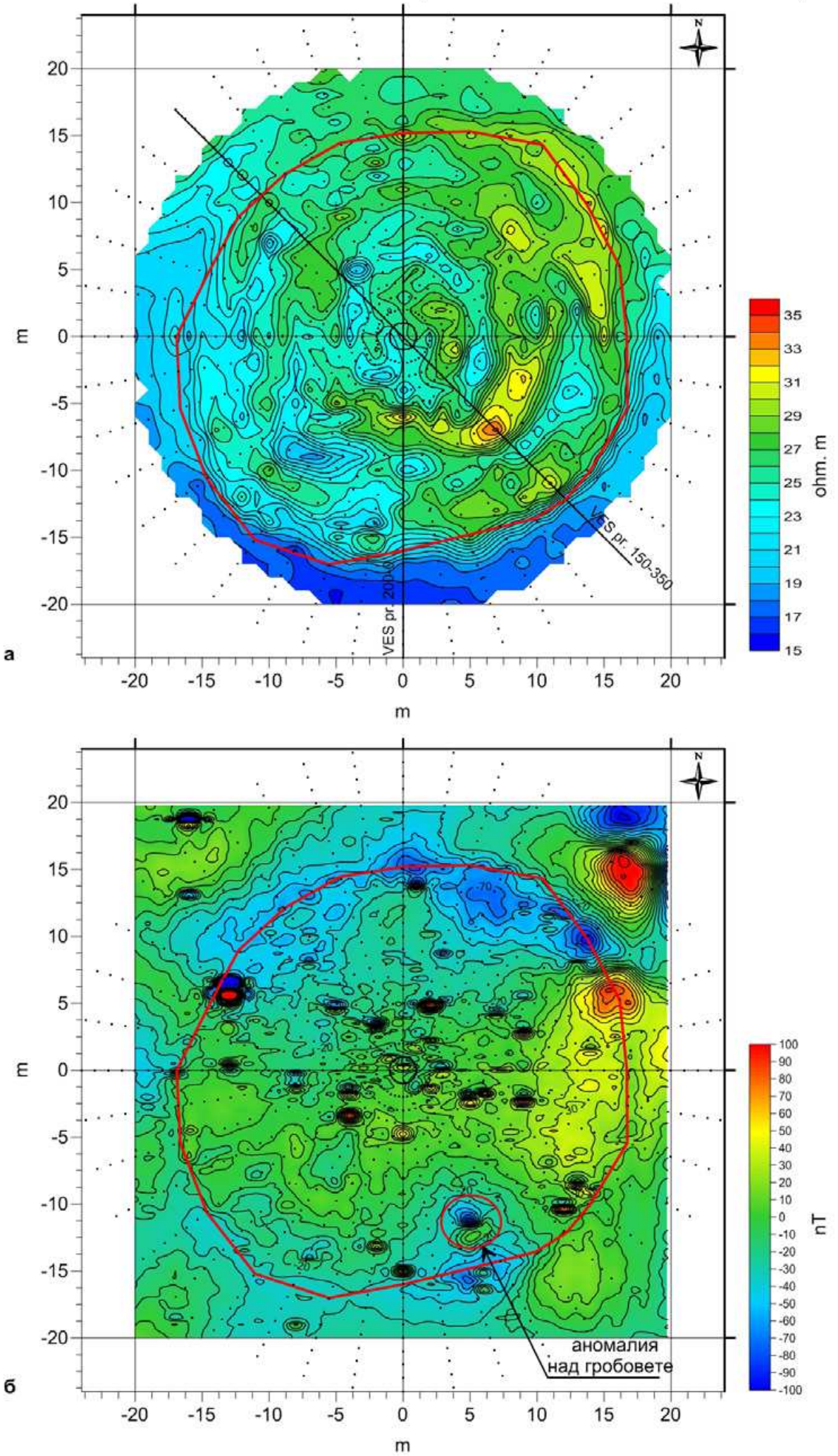
Криви на вертикалния градиент на магнитното поле по профили 200-0^{g} и 300-100^{g}



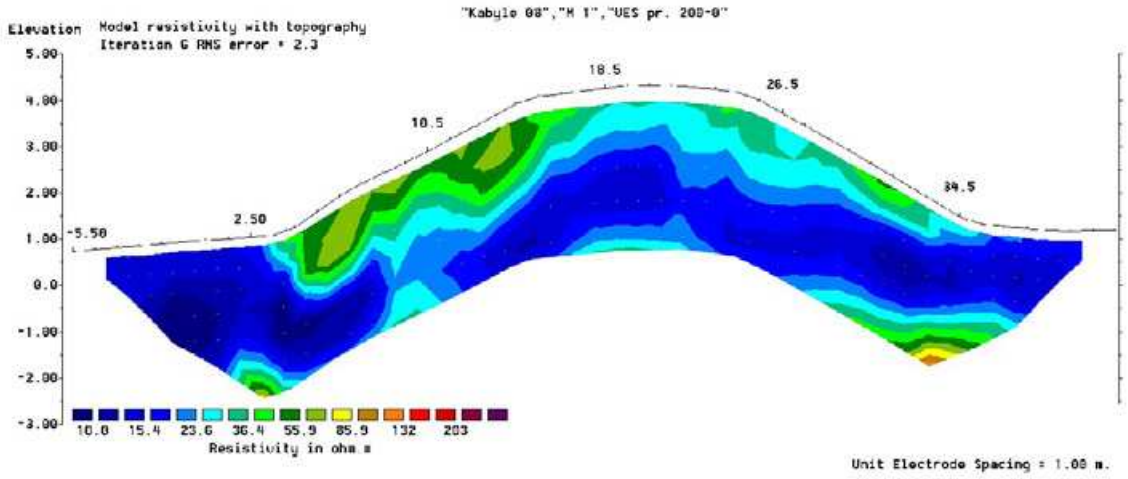
Могила 1 при с. Кабиле, изглед от изток.



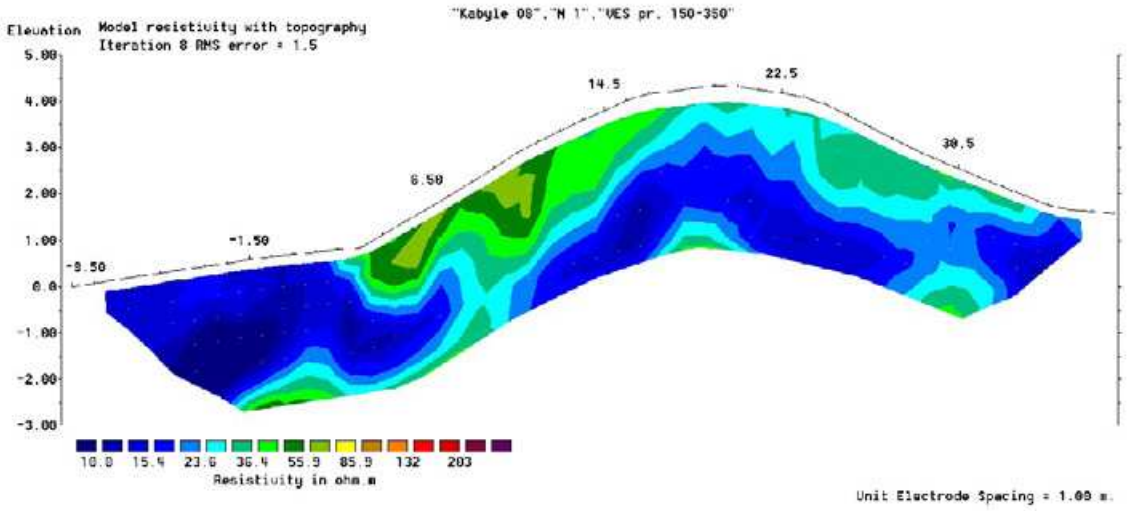
Могила 1 при с. Кабиле.
Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б).



Могила 1 при с. Кабиле.
Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5 (а) и вертикалния магнитен градиент (б).



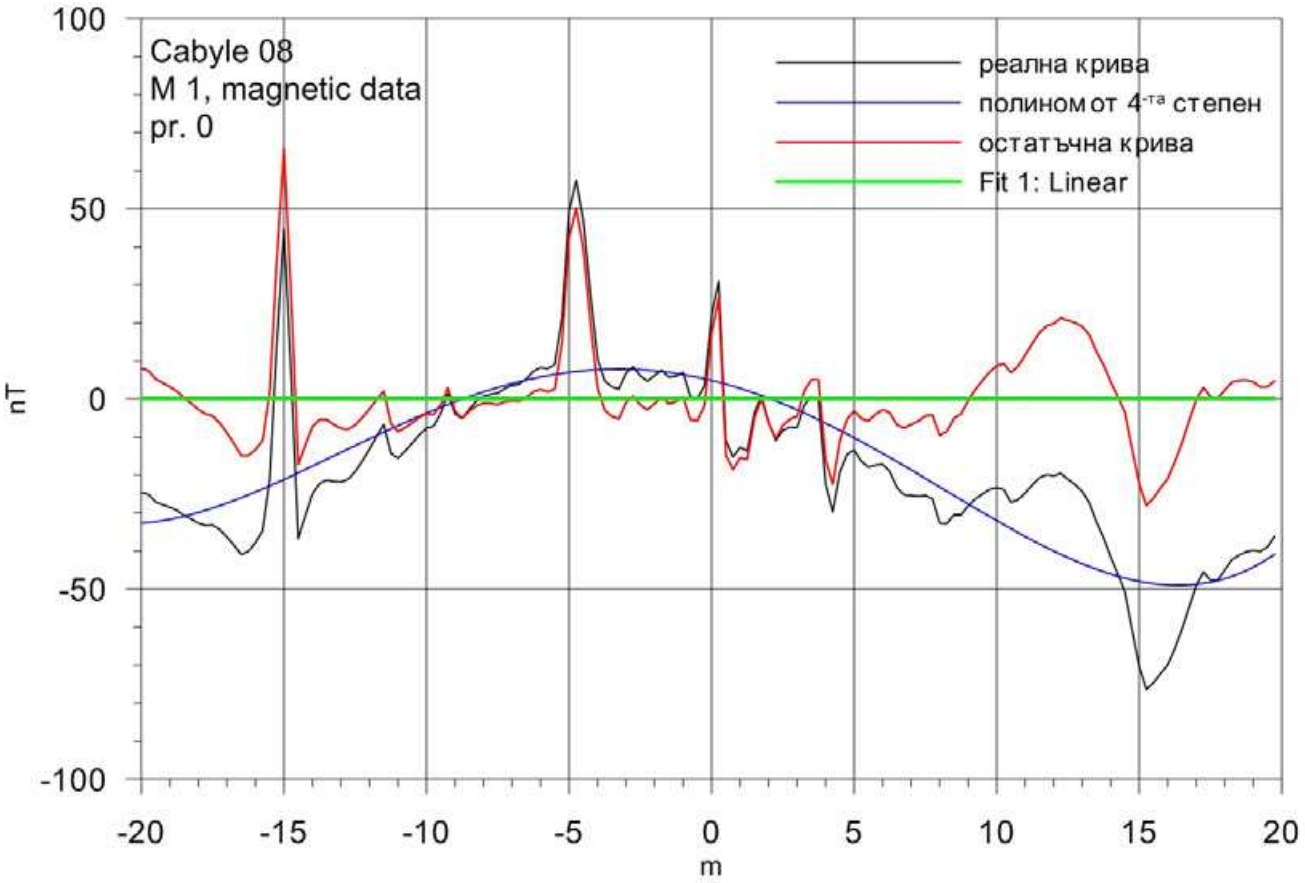
а



б

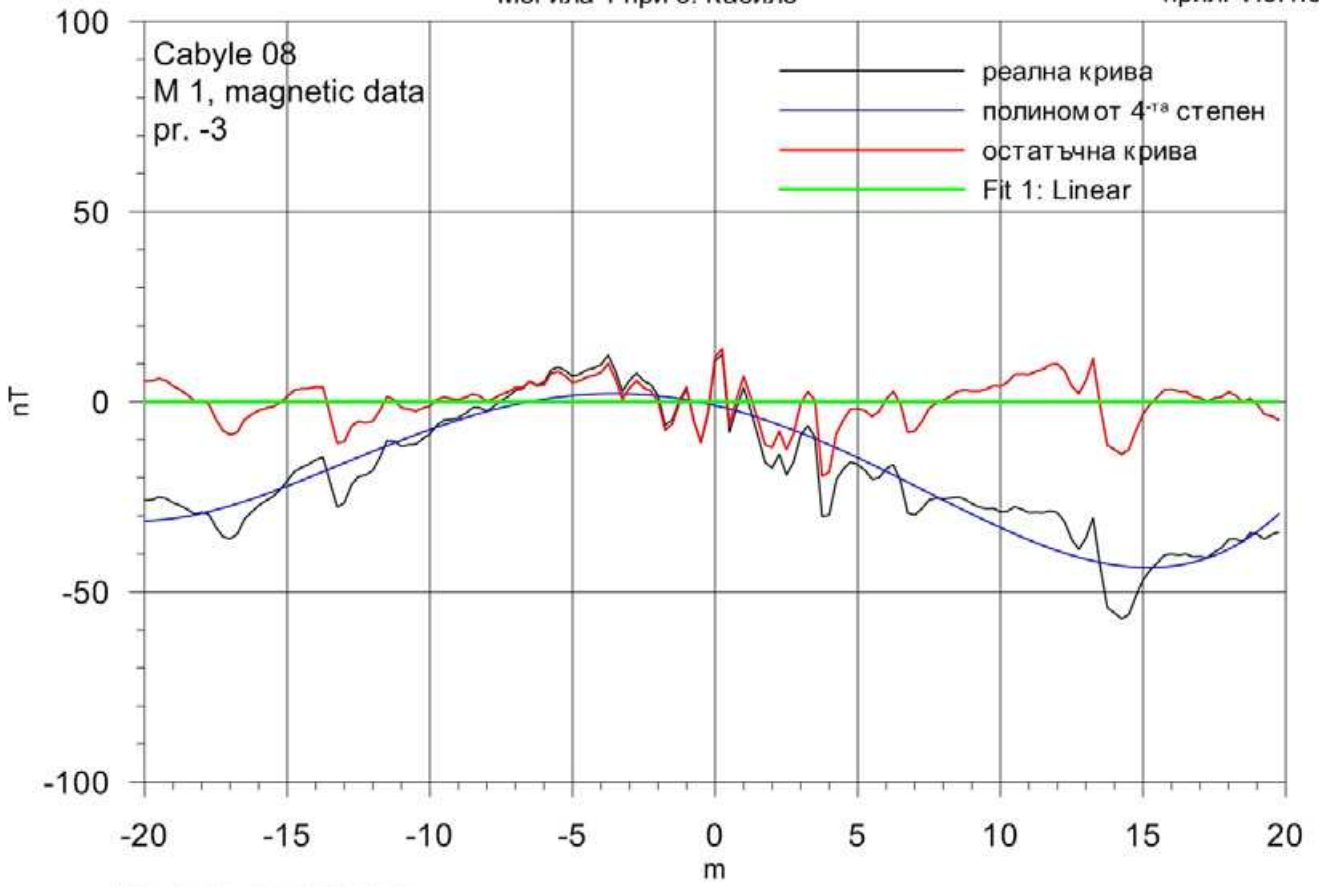
Могила 1 при с. Кабиле.
Инверсионни модели на съпротивлението по профили 200-0^{g} и 150-350^{g}.

Могила 1 при с. Кабиле

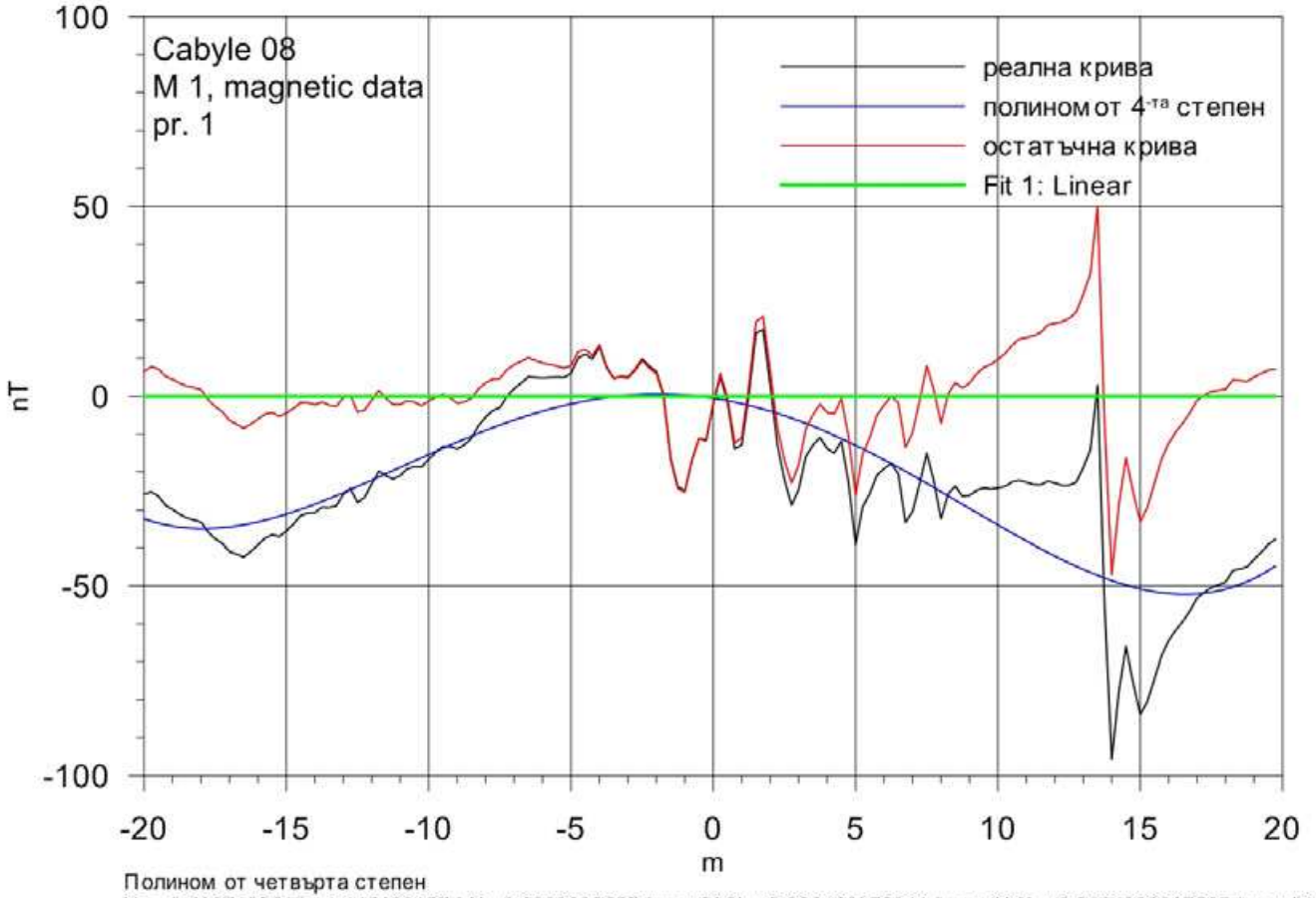


Полином от четвърта степен
Y = 4.86891047 - 1.826837974 * X - 0.269152335 * pow(X,2) + 0.004144013032 * pow(X,3) + 0.00041691384 * pow(X,4)

Могила 1 при с. Кабиле.
Криви на измерения магнитен градиент, полиномът от 4-та степен и остатъчното поле по профил 0.

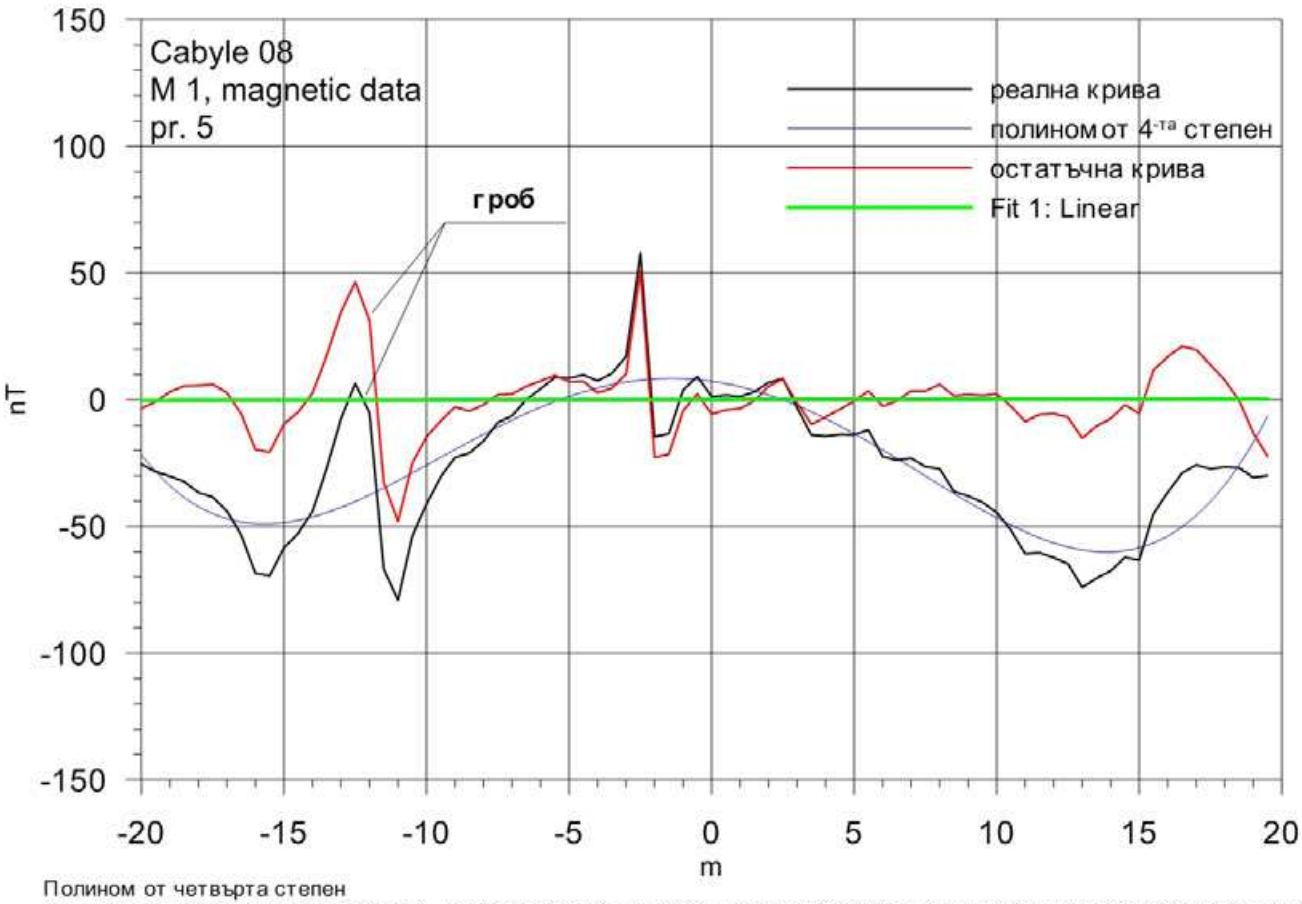


Полином от четвърта степен
Y = -1.003983822 - 1.748531944 * X - 0.2321920618 * pow(X,2) + 0.004591477777 * pow(X,3) + 0.0004018907006 * pow(X,4)



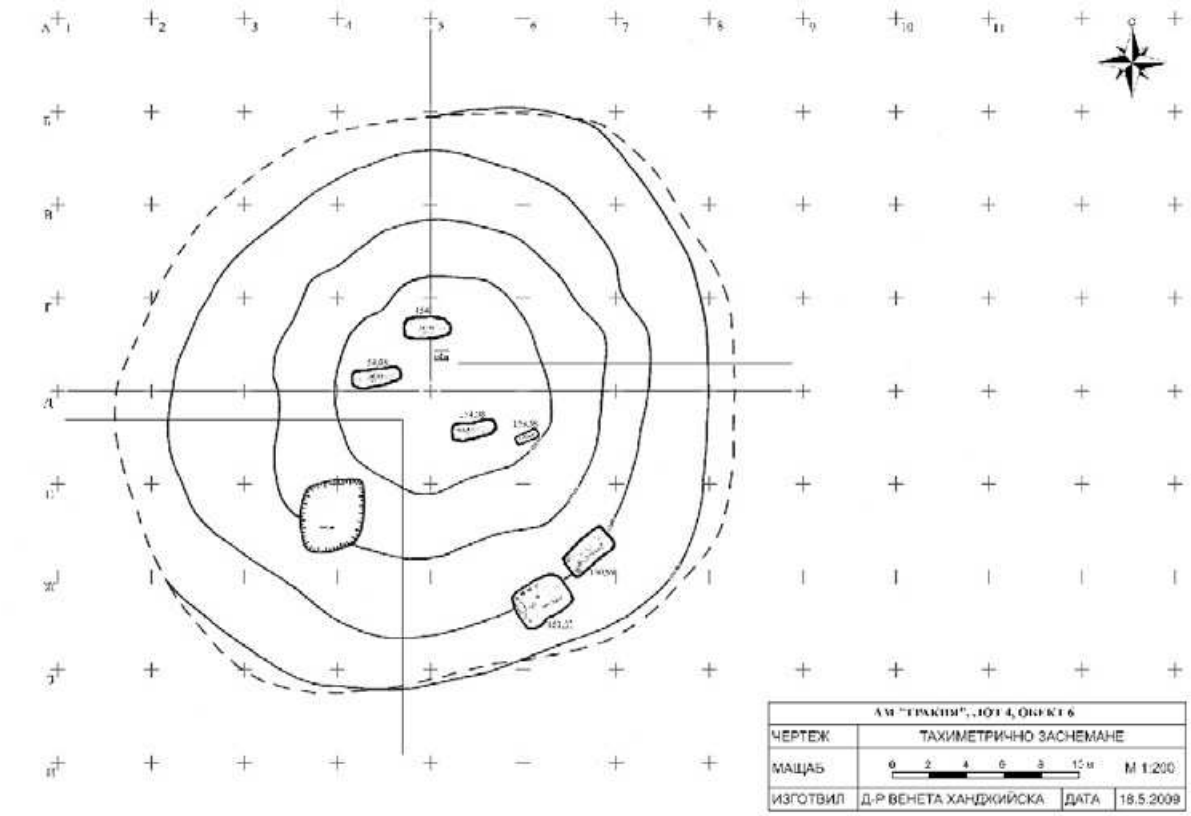
Полином от четвърта степен
Y = -0.5367195515 - 1.145469157 * X - 0.2903330257 * pow(X,2) + 0.002169278311 * pow(X,3) + 0.0004926207535 * pow(X,4)

Могила 1 при с. Кабиле.
Криви на измерения магнитен градиент, полиномът от 4-та степен и остатъчното поле по профили -3 и 1.

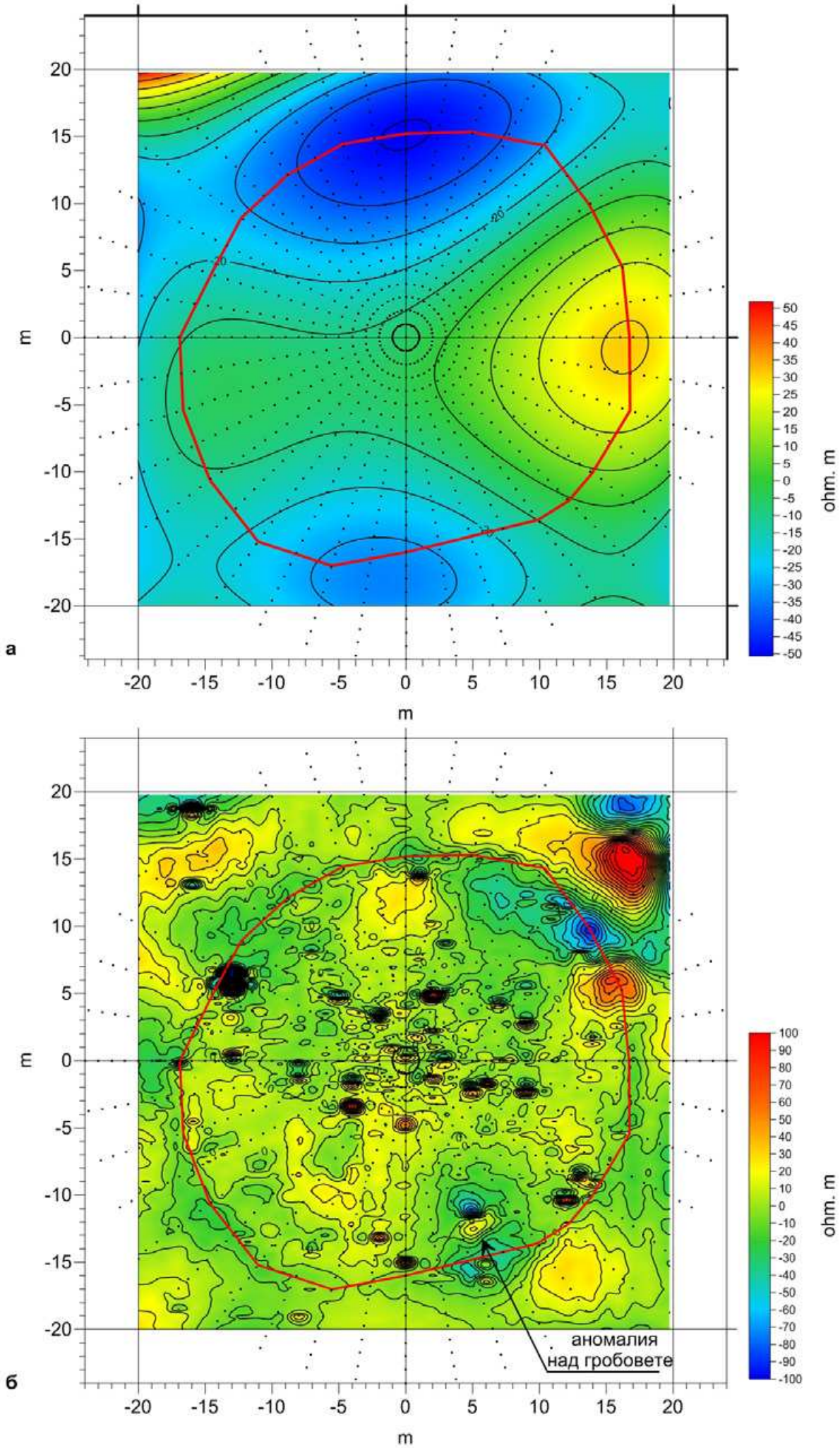


Полином от четвърта степен
Y = 7.297720668 - 1.611698602 * X - 0.567627795 * pow(X,2) + 0.005713994453 * pow(X,3) + 0.00132161126 * pow(X,4)

Могила 1 при с. Кабиле.
Криви на измерения магнитен градиент, полиномът от 4-та степен и остатъчното поле по профил 5 през магнитната аномалия в югоизточната част на могилата.



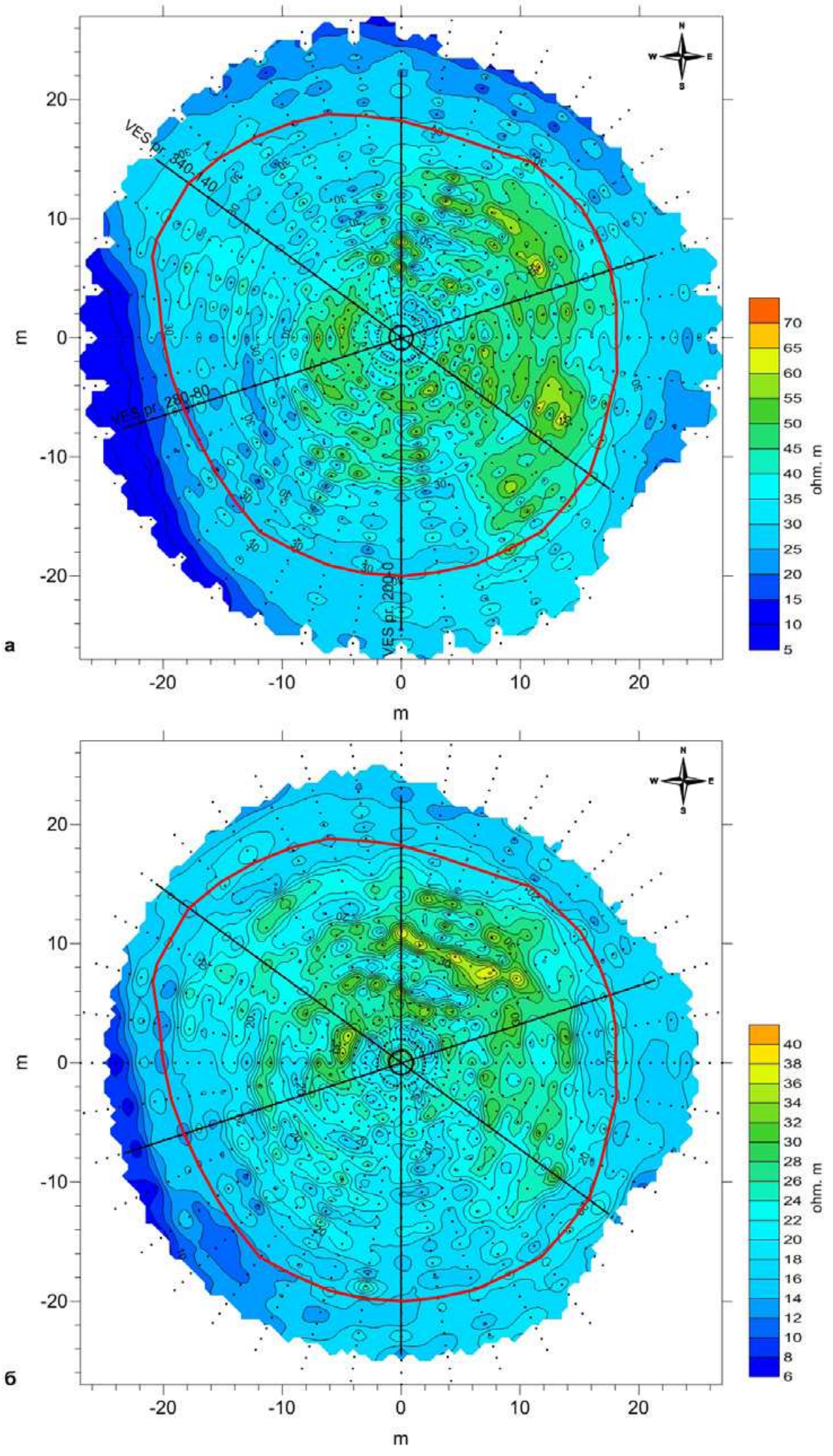
Могила 1 при с. Кабиле. План на археологическите структури разкрити при разкопките.



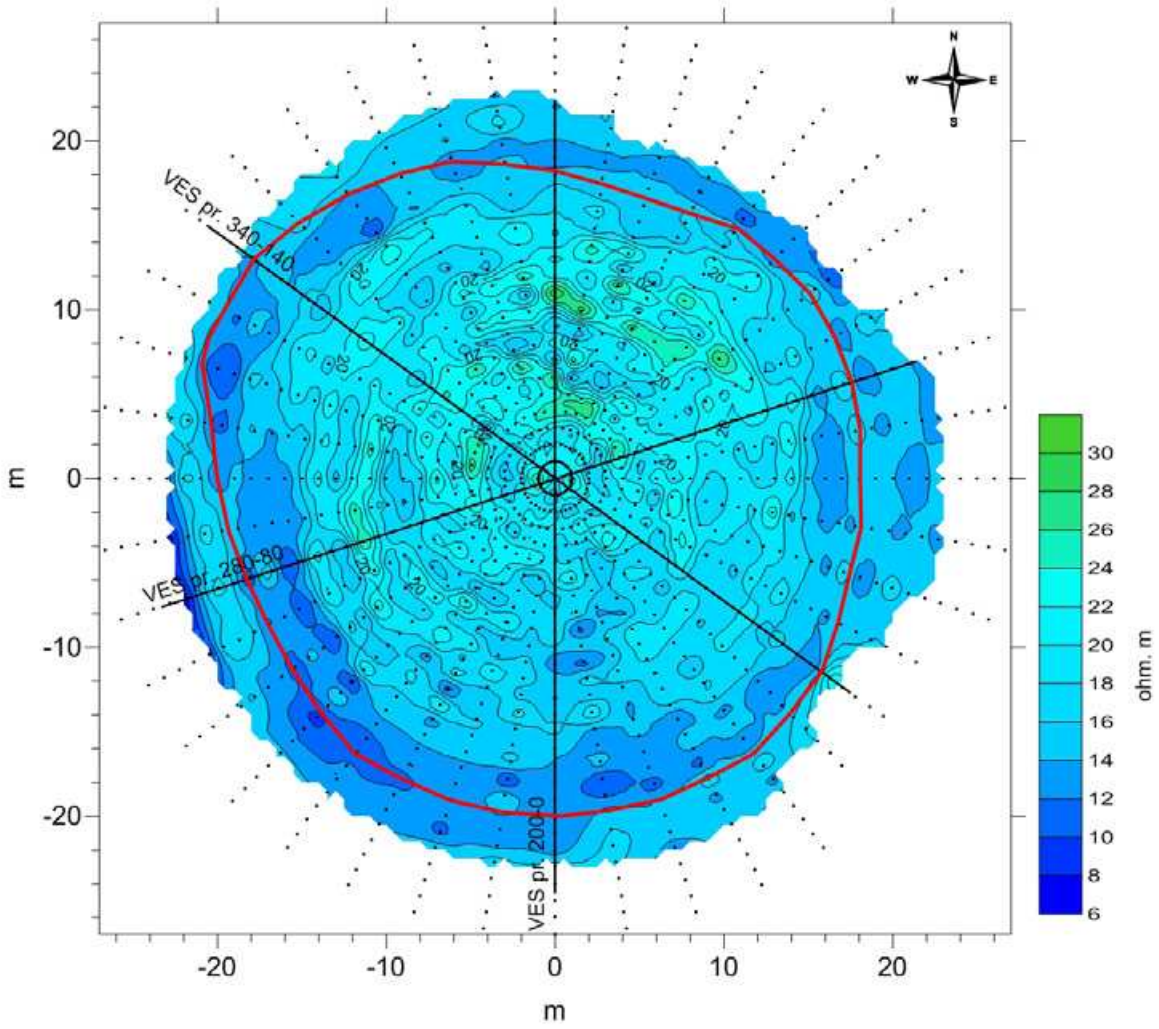
Могила 1 при с. Кабиле.
Карти на резултатите от полиномната регресия по всички данни от измерванията (а) и на остатъчното магнитно поле (б).



Могила 2 при с. Кабиле, изглед от югоизток.

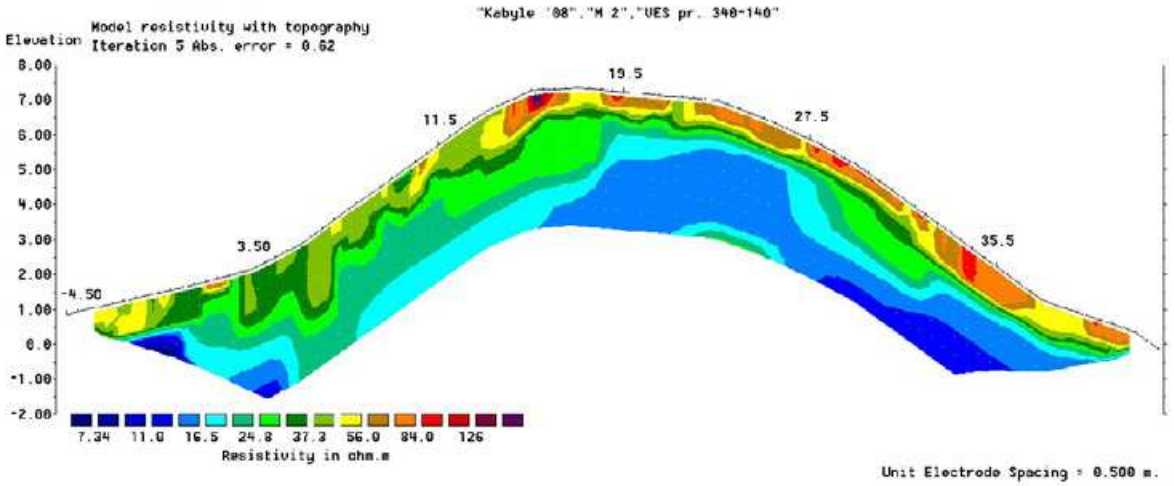


Могила 2 при с. Кабиле. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б).

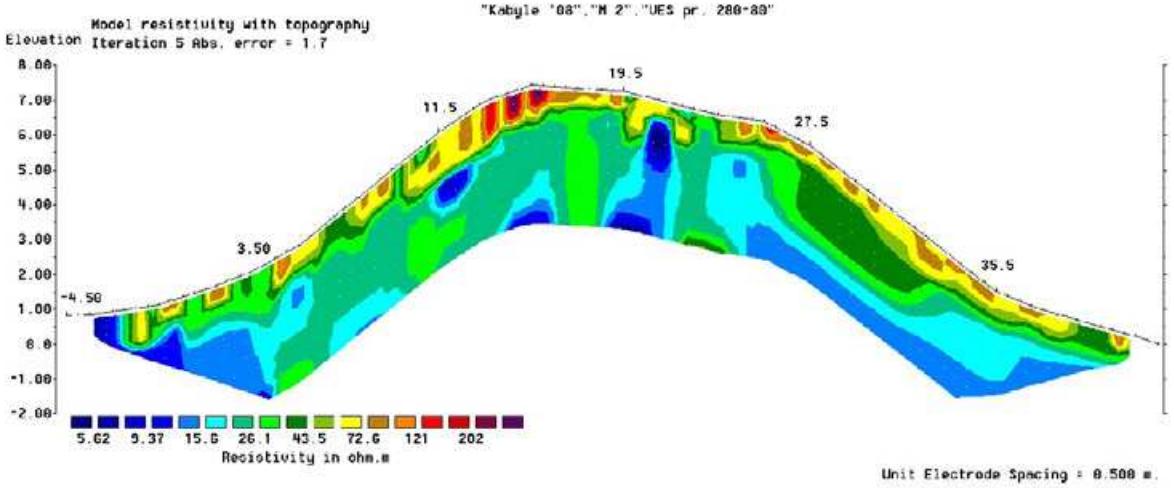


Могила 2. Карта на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5.

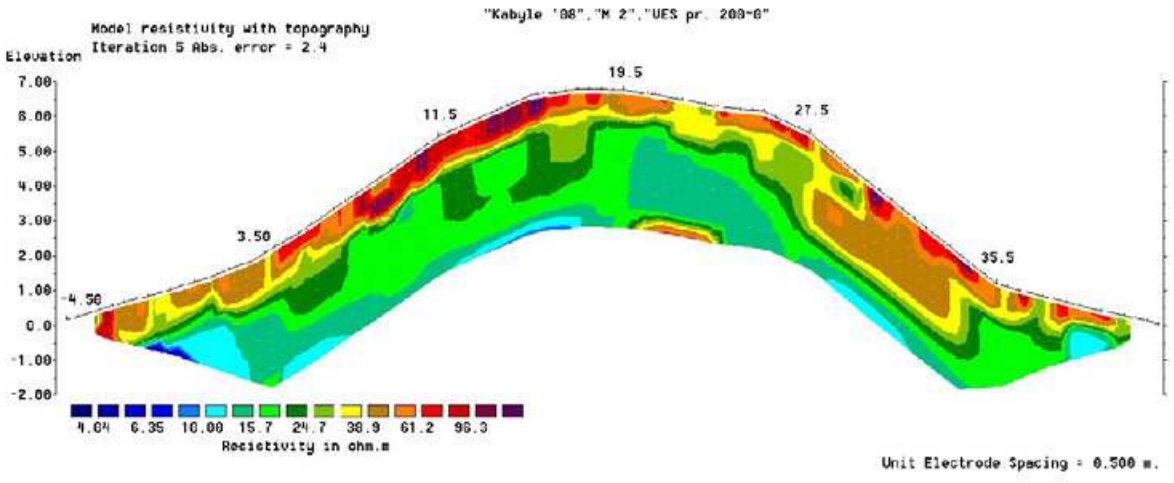
а



б

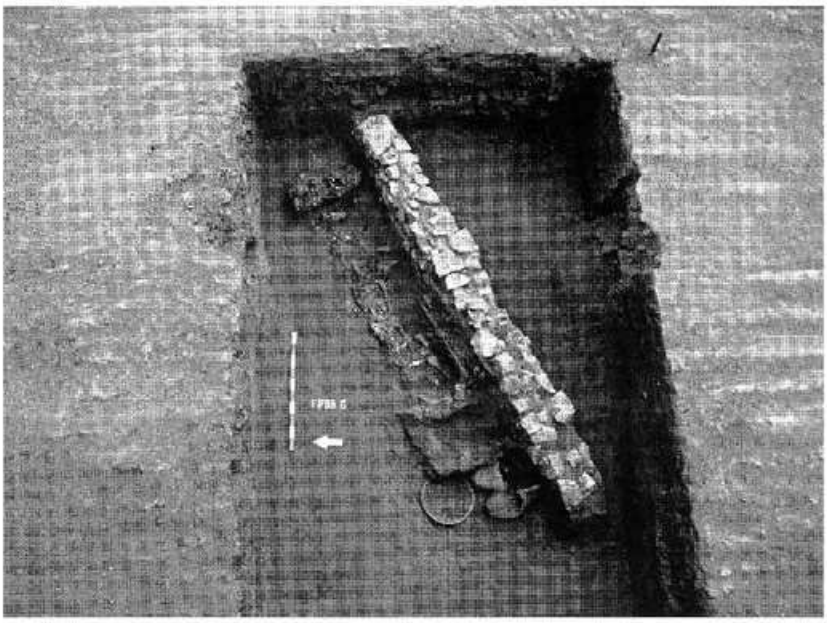


в

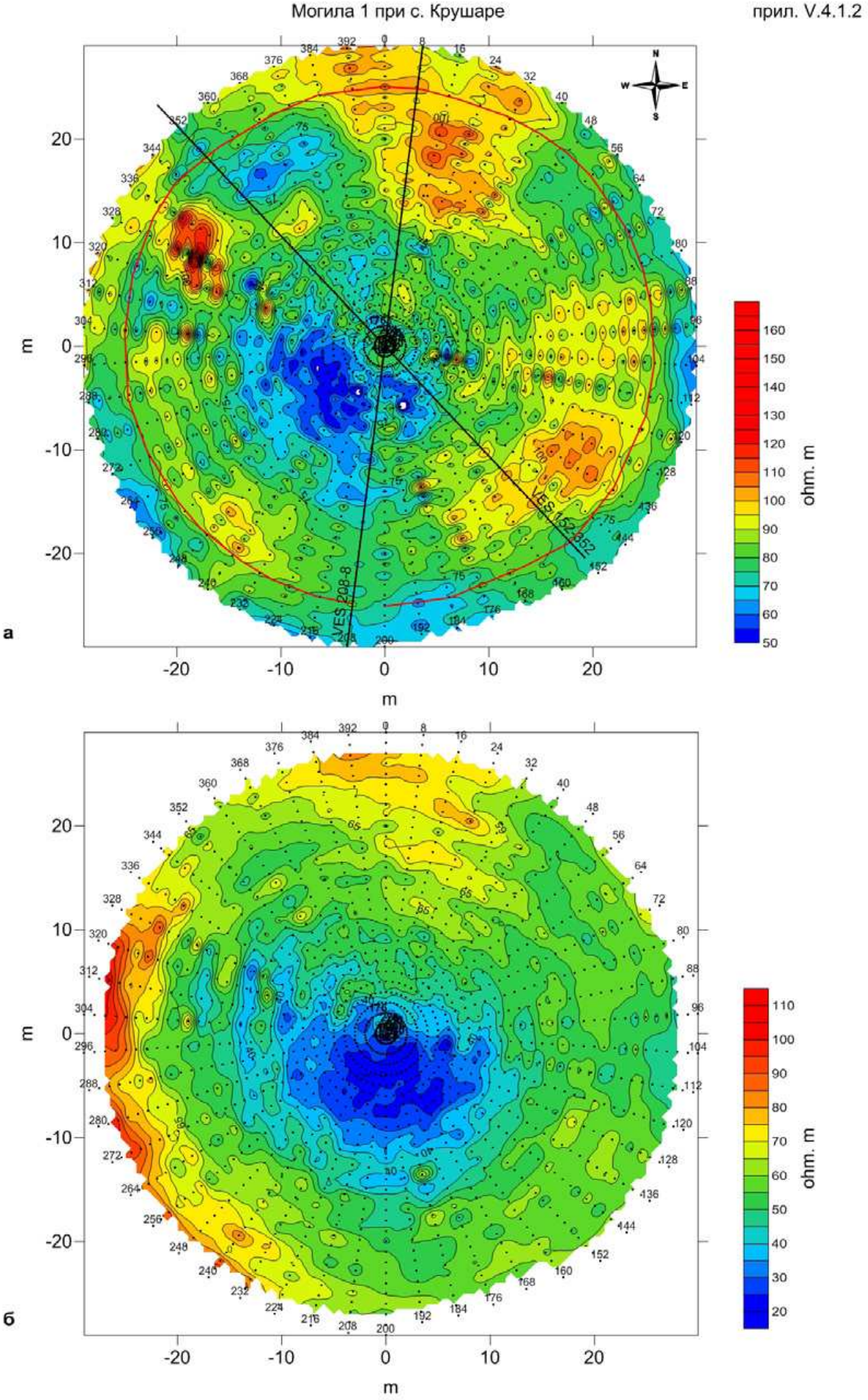


Инверсионни модели на съпротивлението по профили 340-140°, 280-80° и 200-0°.

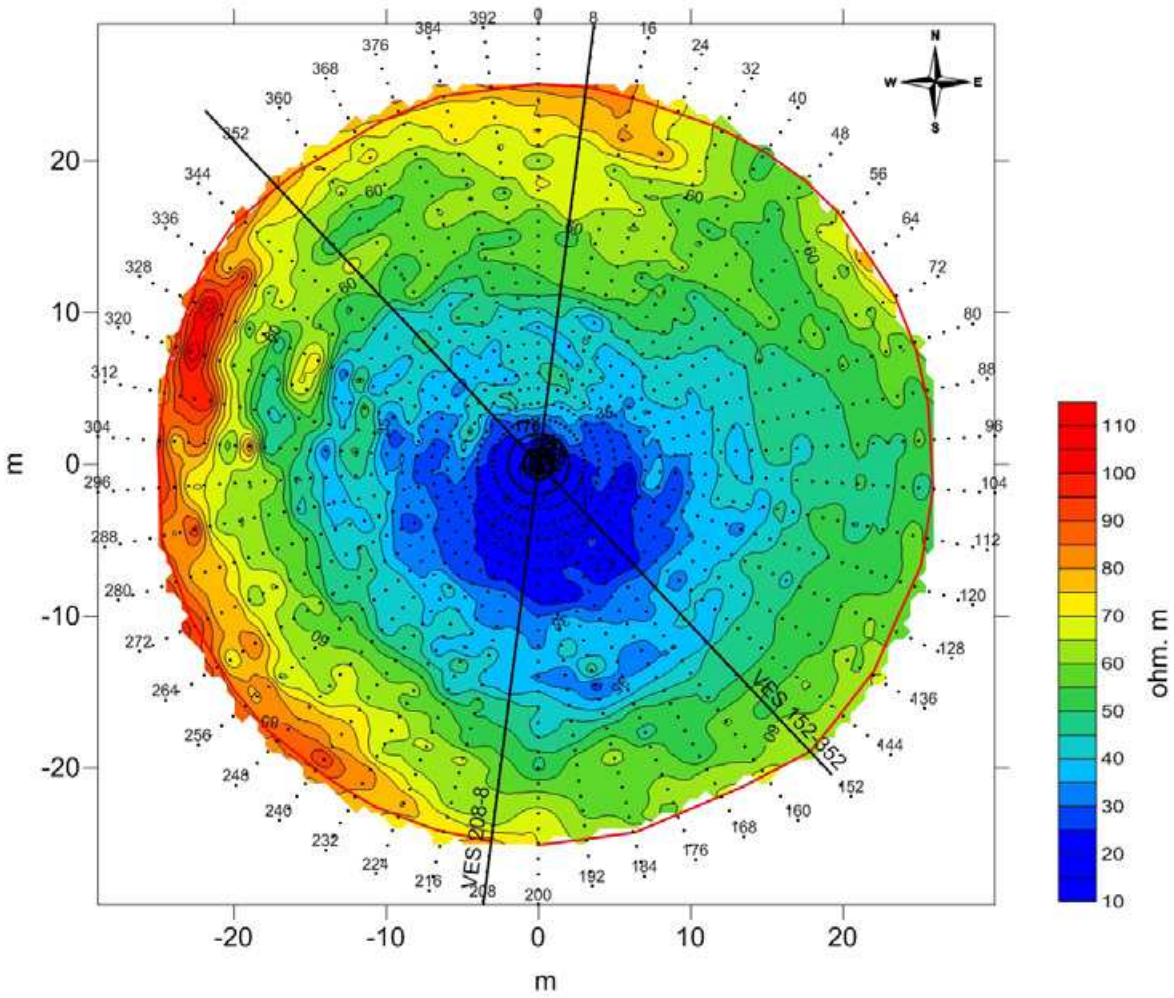




Могила 1 при с. Крушаре и гробът открит в нея

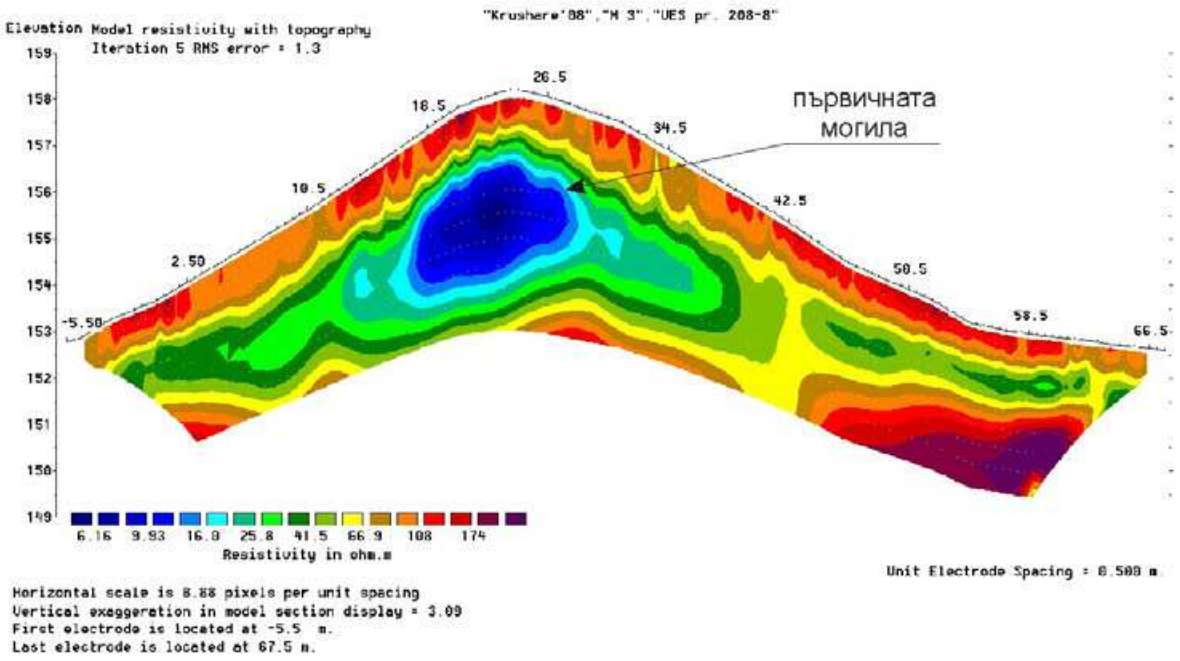


Могила 1 при с. Крушаре. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б).

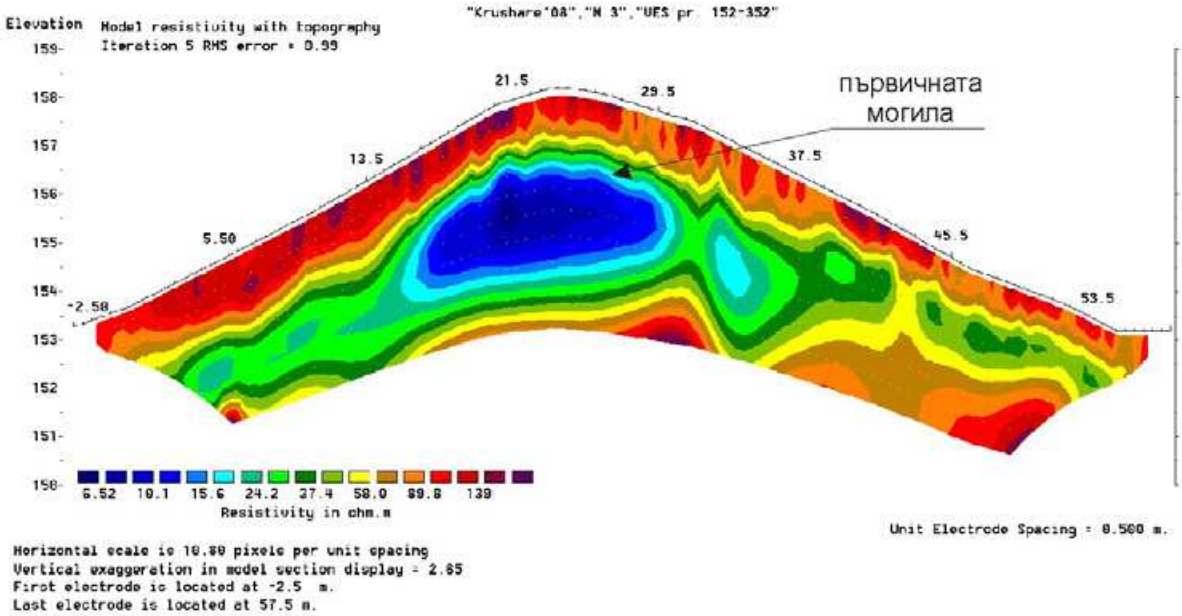


Могила 1. Карта на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5.

а



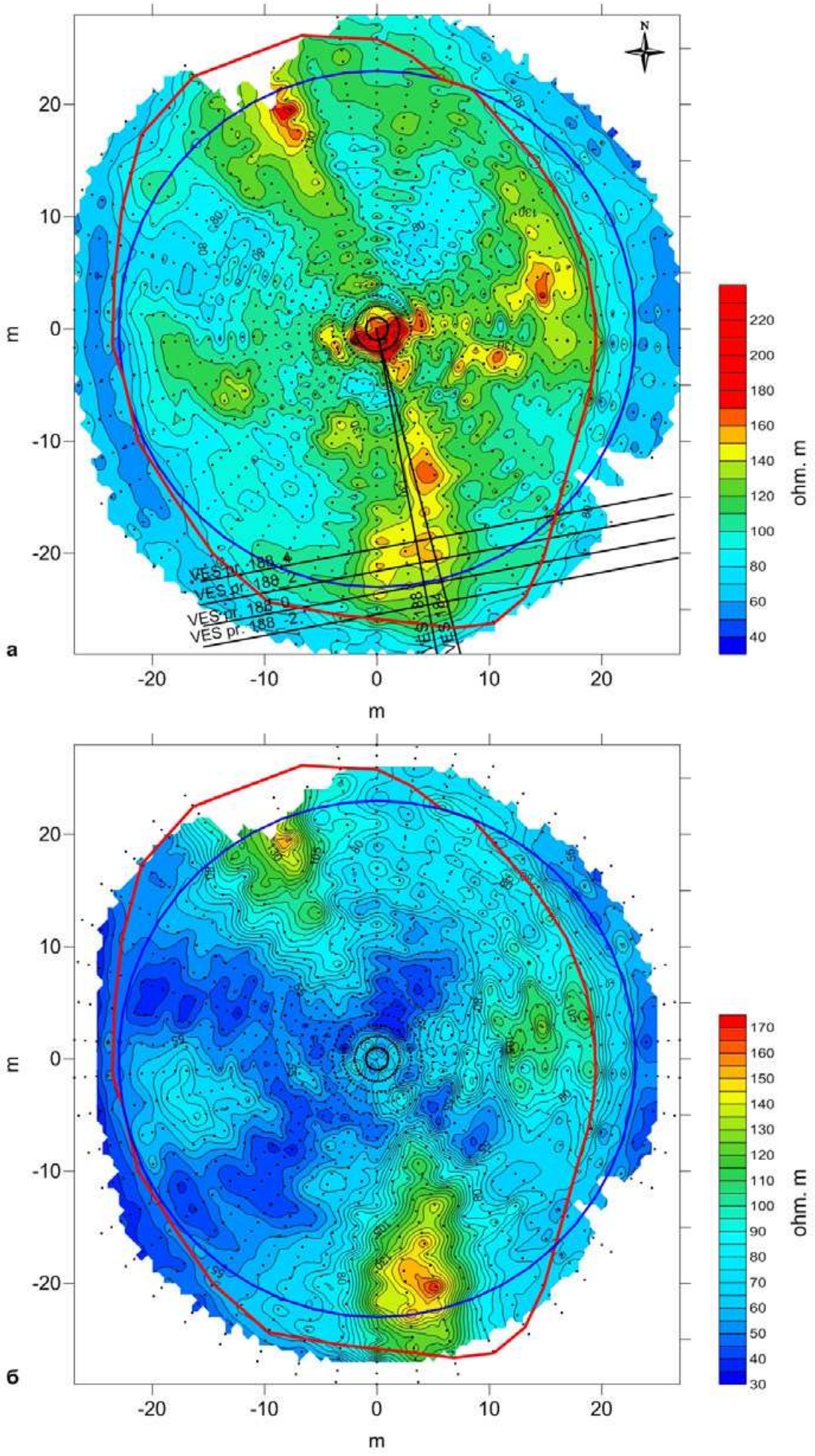
б



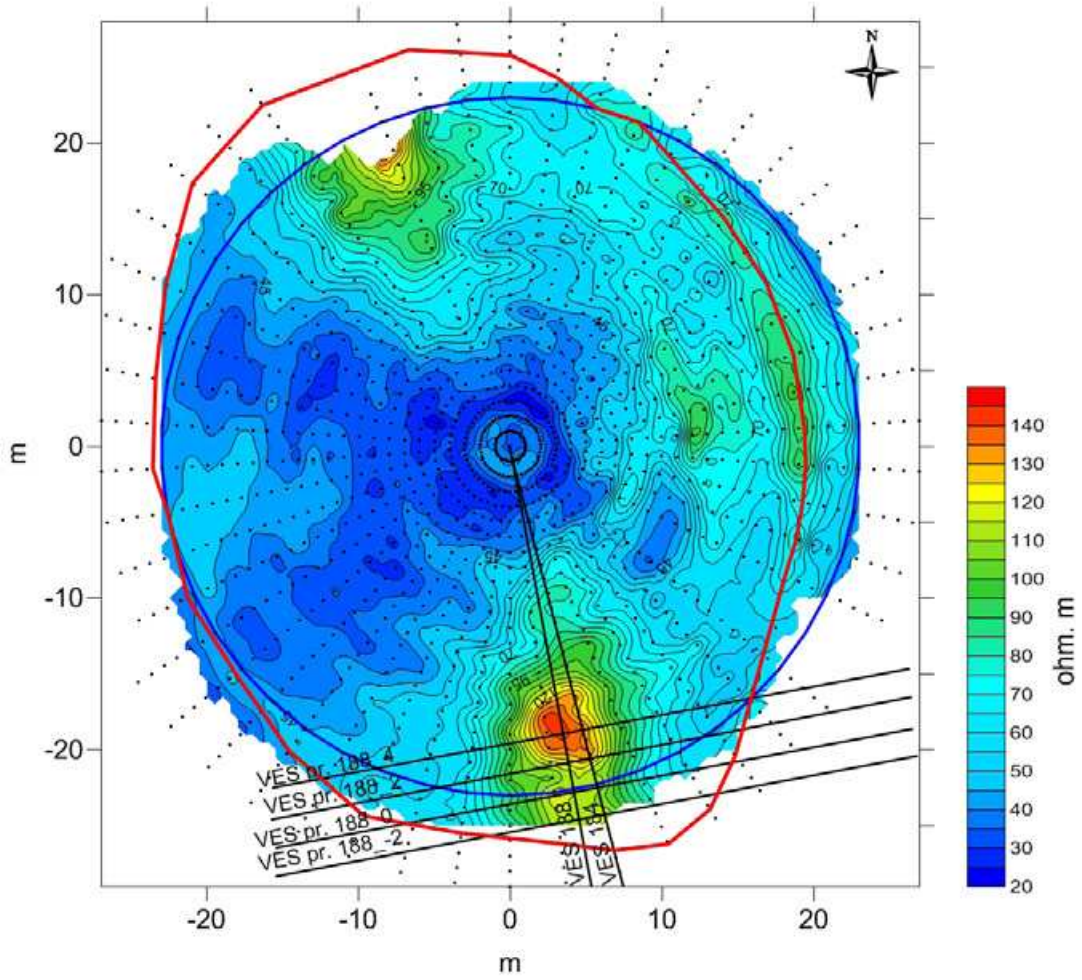
Могила 1. Инверсионни модели на съпротивлението по профили 200-0° и 152-352°.



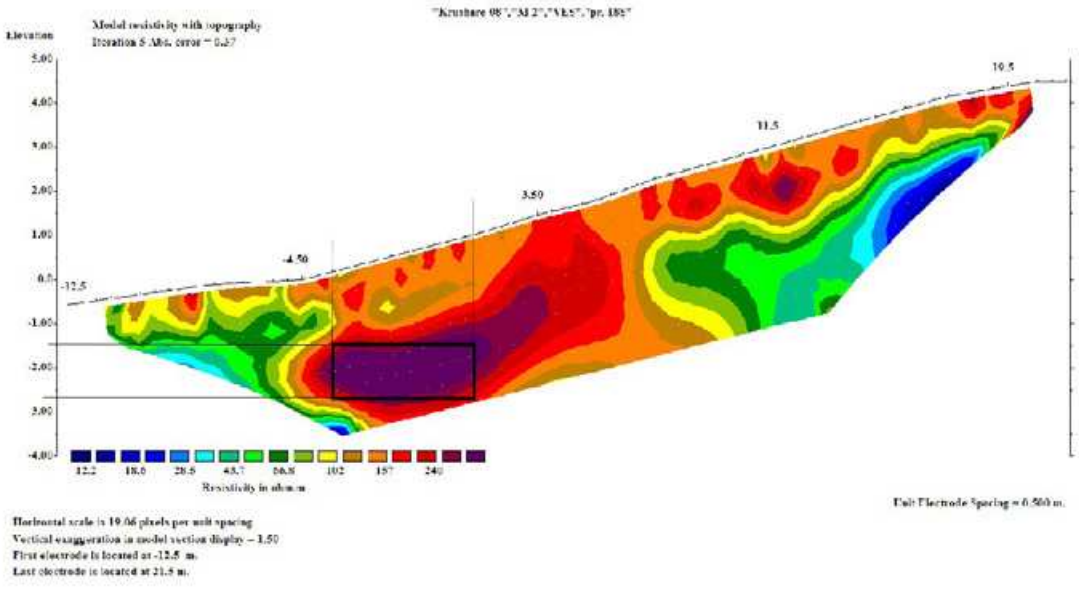
Могила 2 при с. Крушаре, изглед от запад.



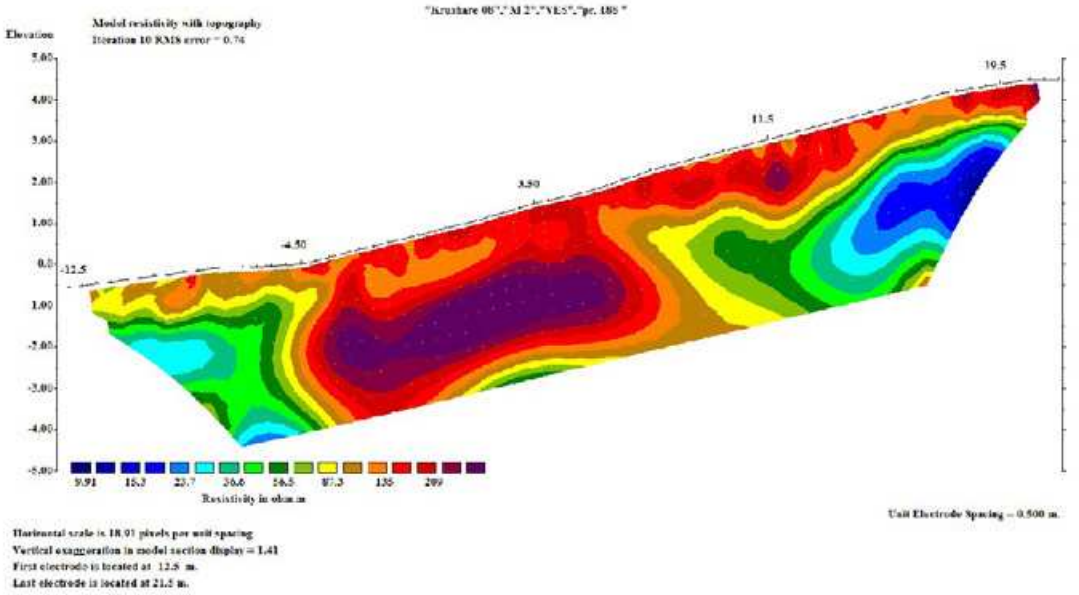
Могила 2 при с. Крушаре.
Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б).



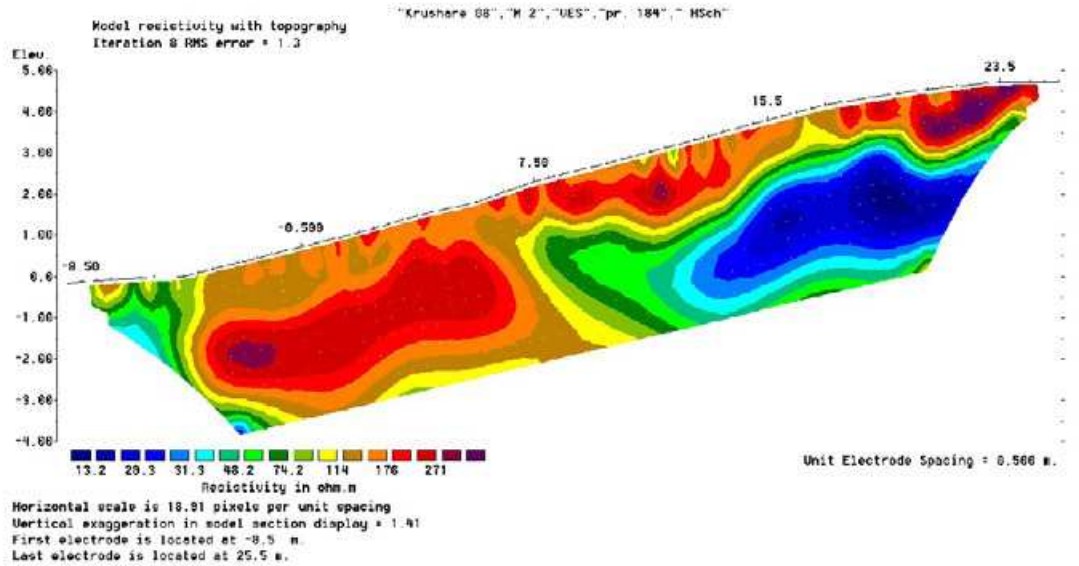
Могила 2. Карта на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5.



а

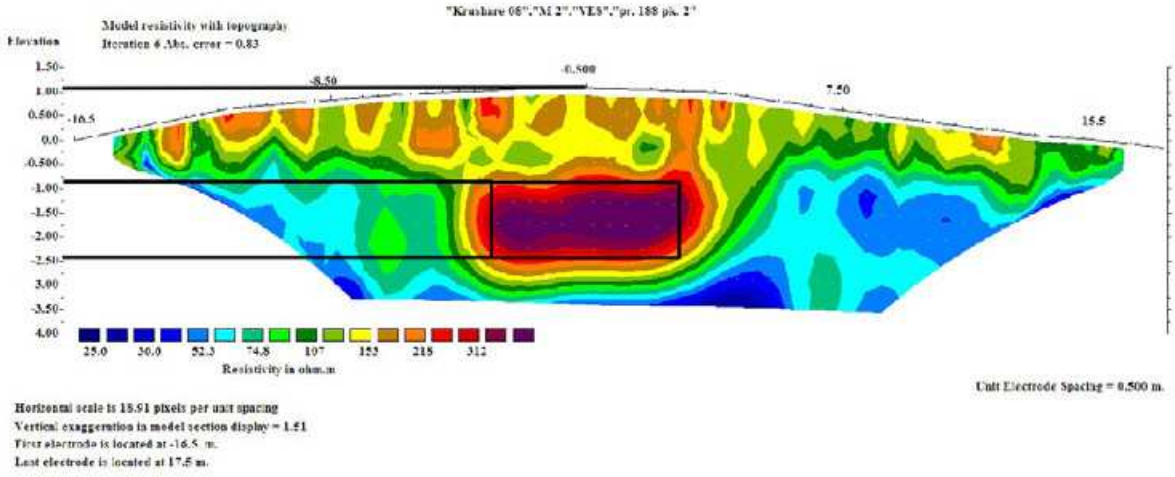


б

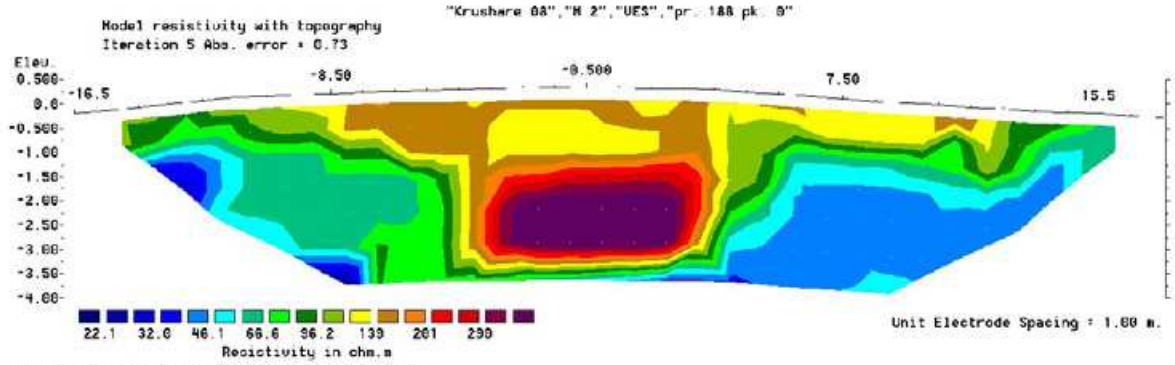


в

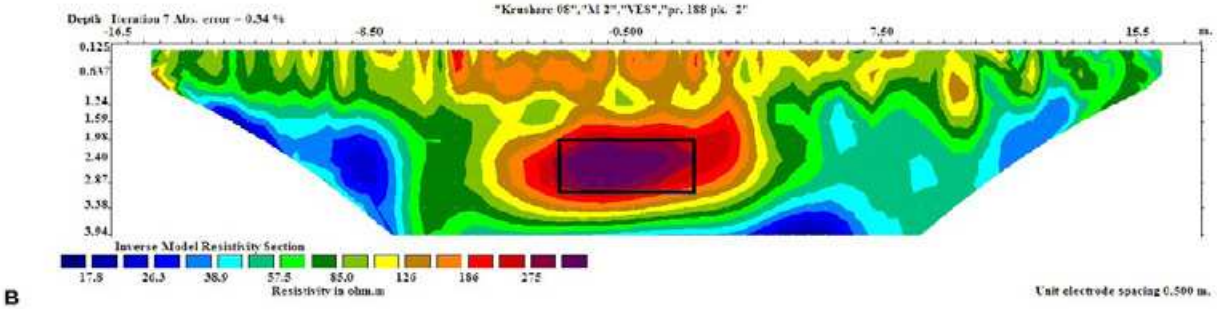
Могила 2. Инверсионни модели на съпротивлението по профили 188[9] и 184[9] през аномалията в южната периферия на могилата
(а и в - схема Шлюмберже, б - триелектродна схема).



а



б

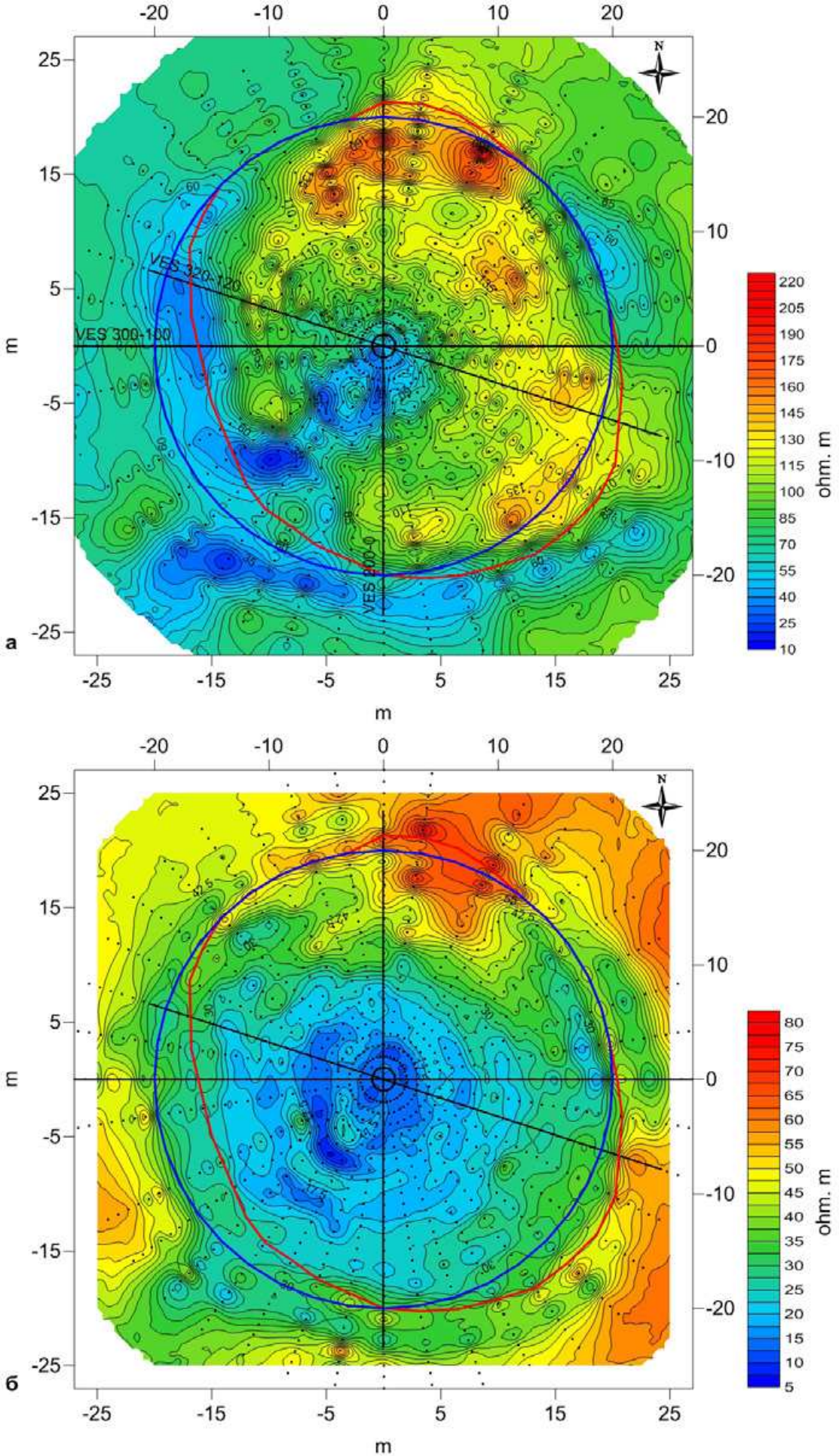


в

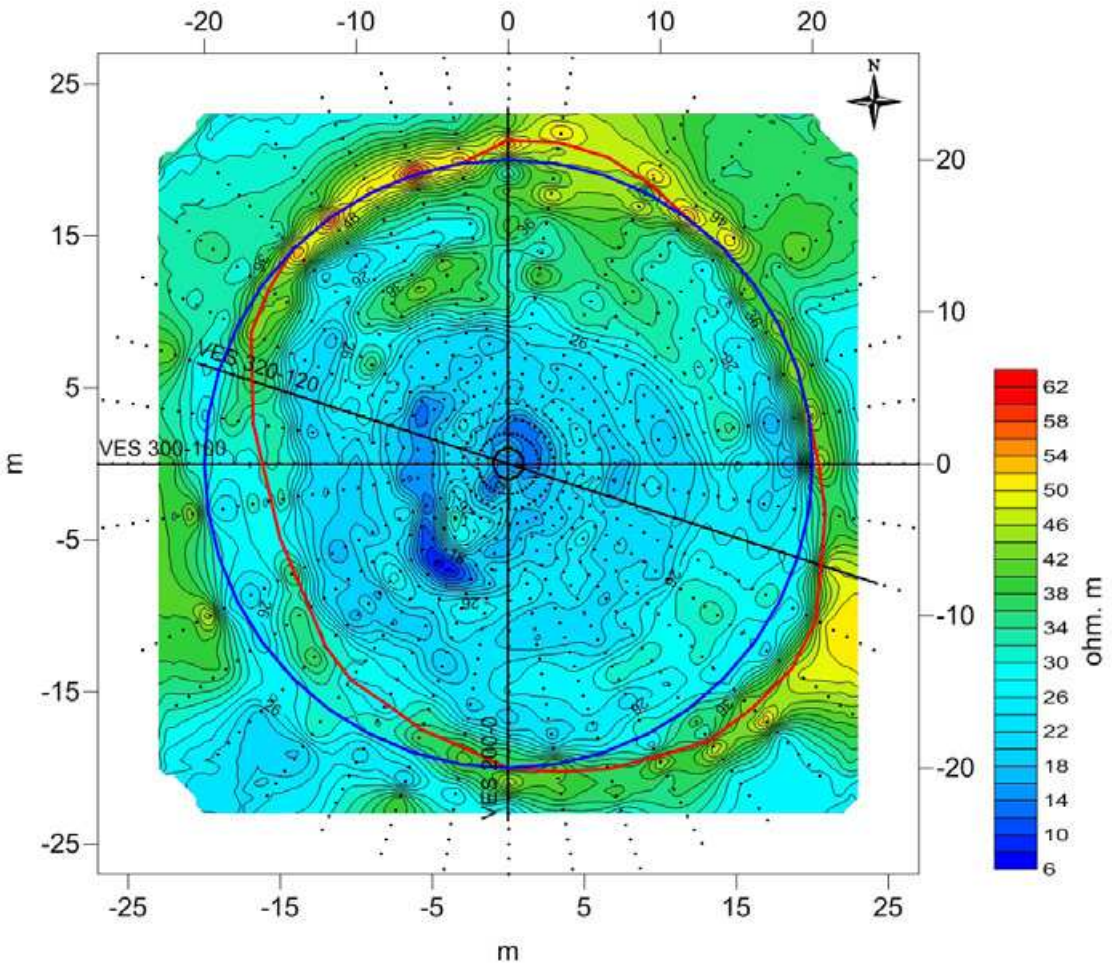
Могила 2.
Инверсионни модели на съпротивлението по профили 2, 0 и -2 перпендикулярни на пр. 188[9].



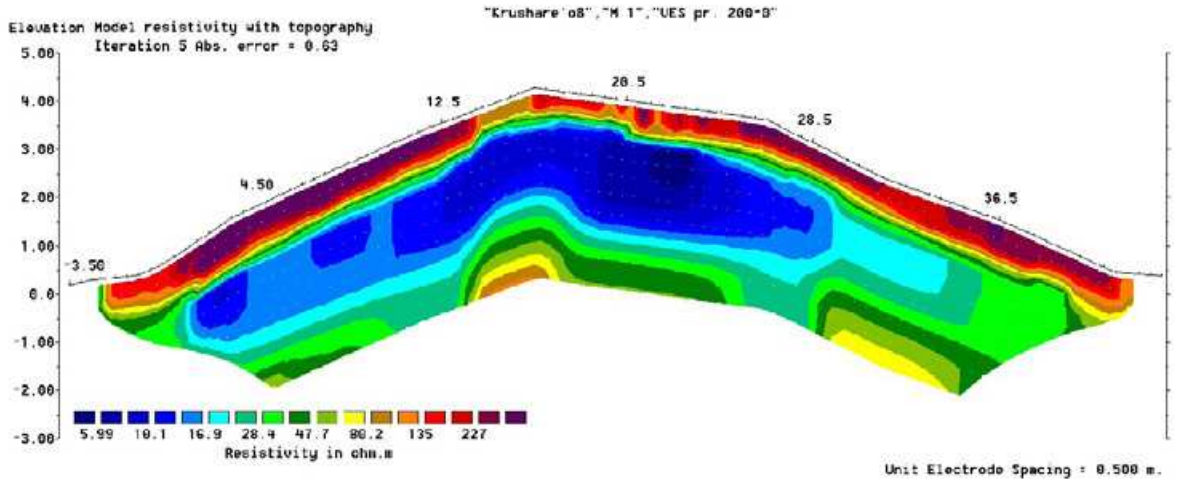
Могила 3 при с. Крушаре, изглед от запад.



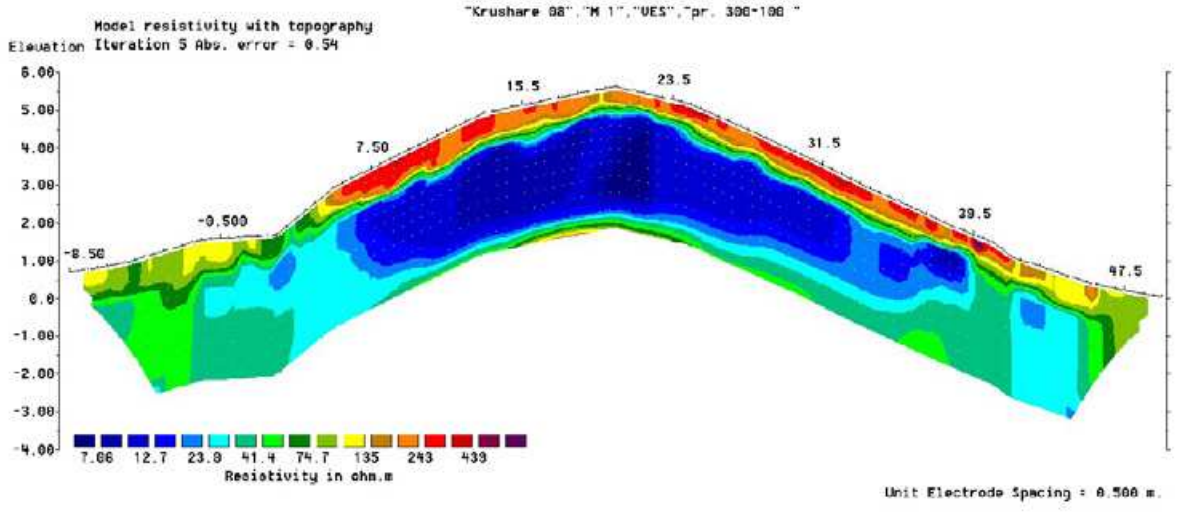
Могила 3. Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б).



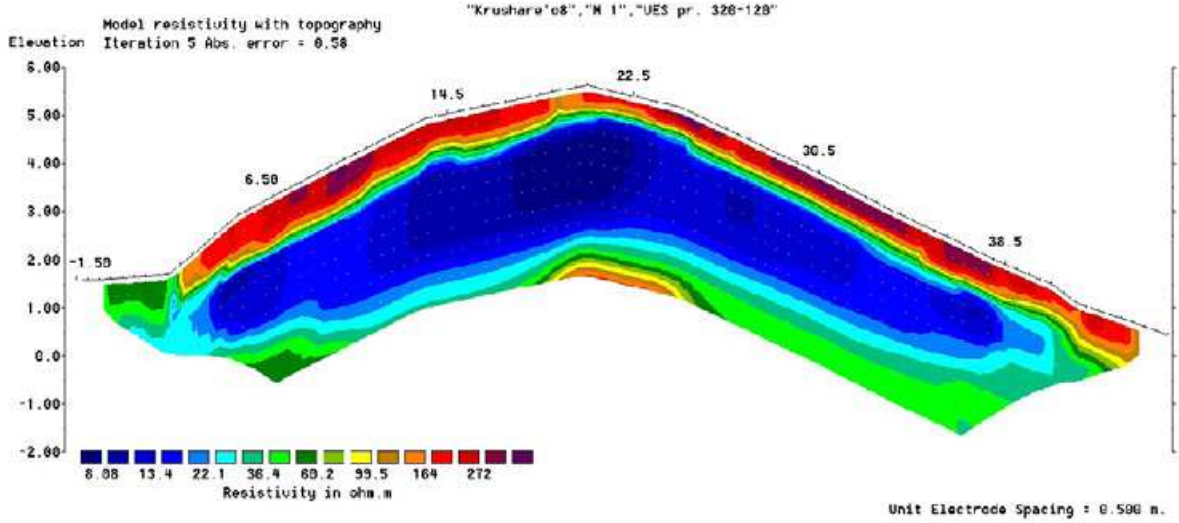
Могила 3. Карта на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5.



а



б



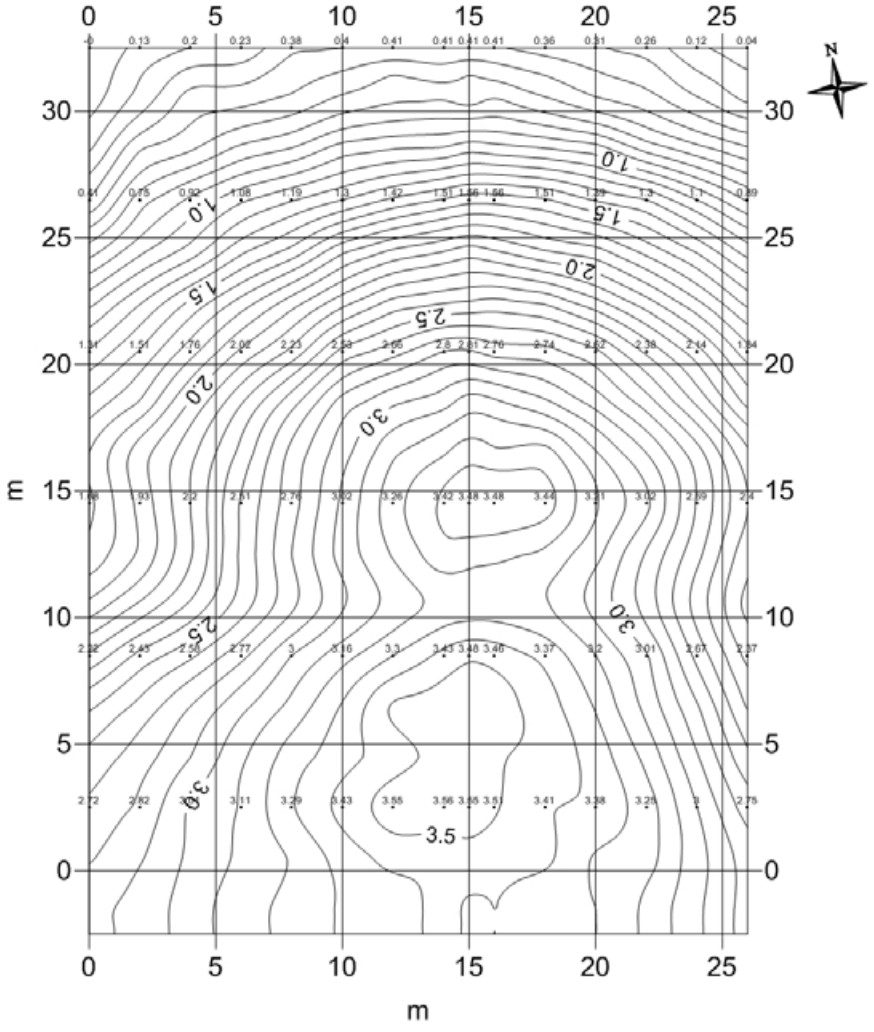
в

Могила 3. Инверсионни модели на съпротивлението по профили 200-0^{g} , 300-100^{g} и 320-120^{g}.

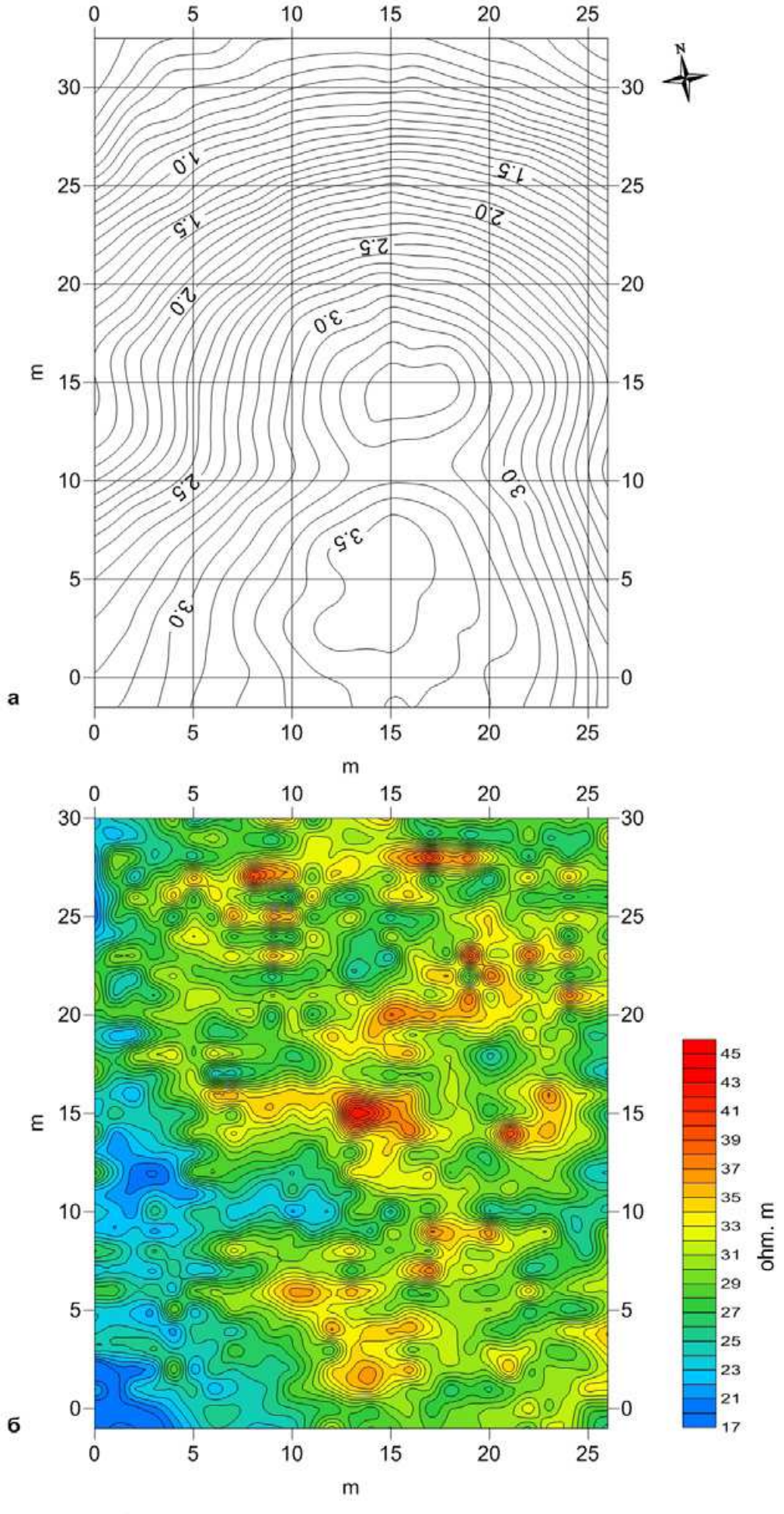
а



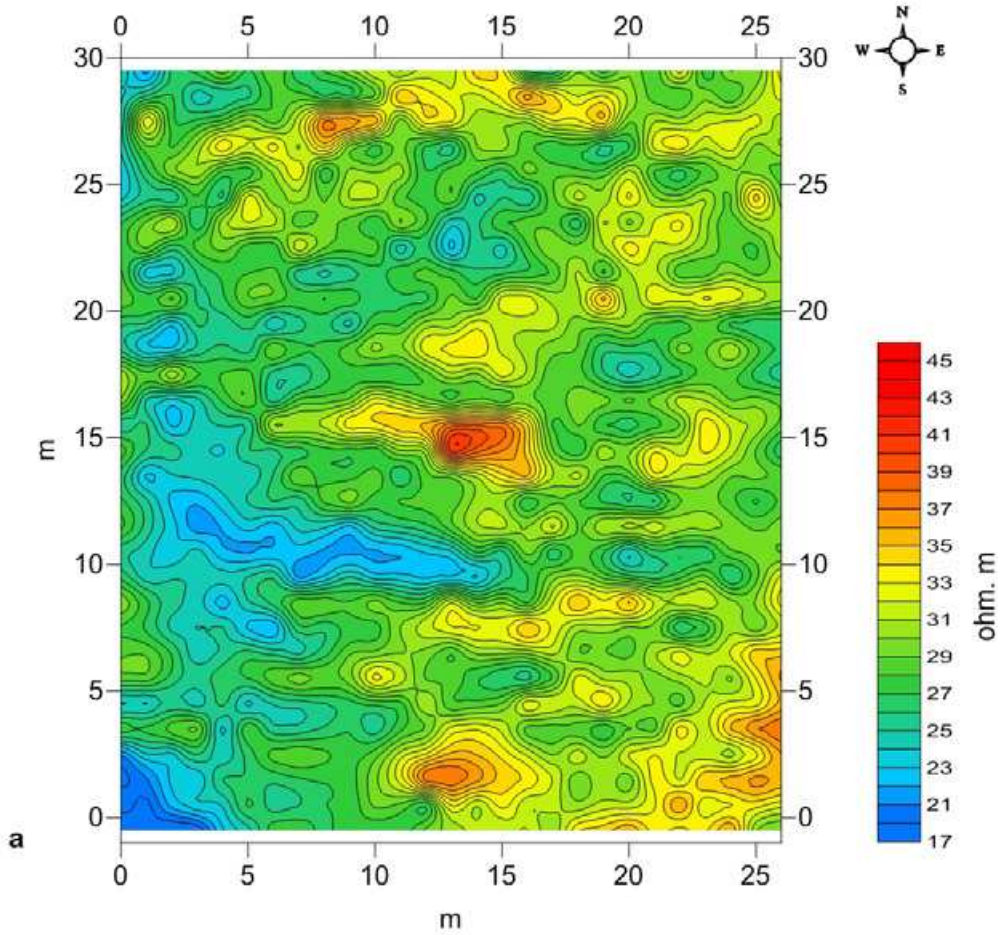
б

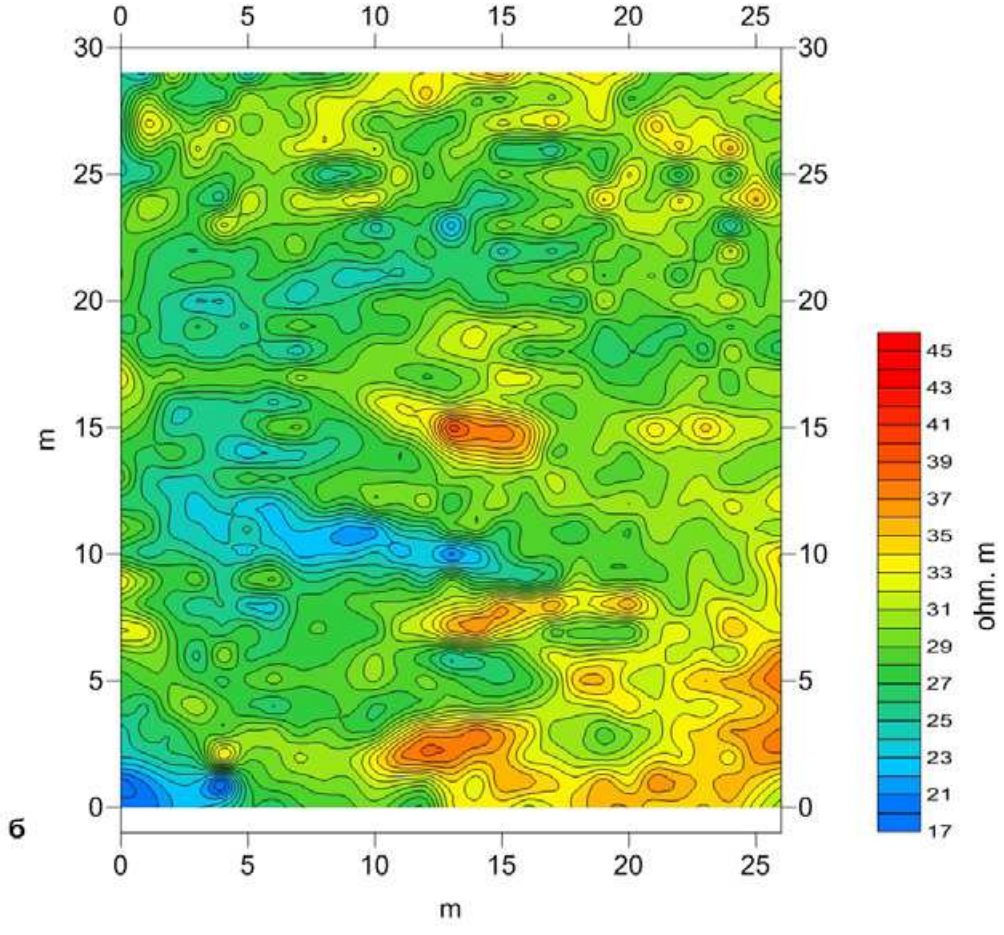


Могилата при с. Опака - изглед от изток (а) и план (б) преди разкопките

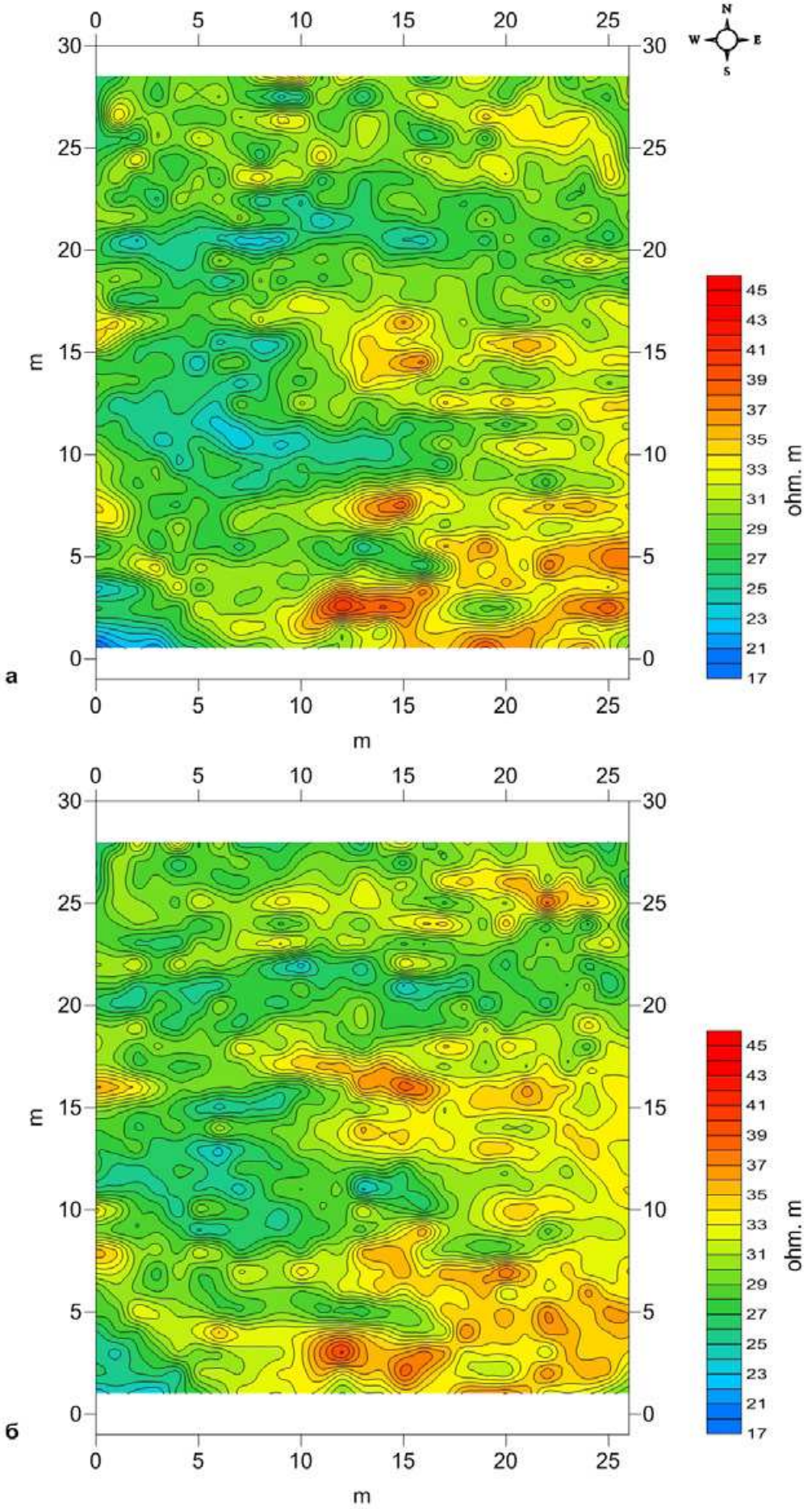


Могилата при с. Опака.
Планът на могилата (а) и карта на измереното привидно съпротивление при n=1 (б).

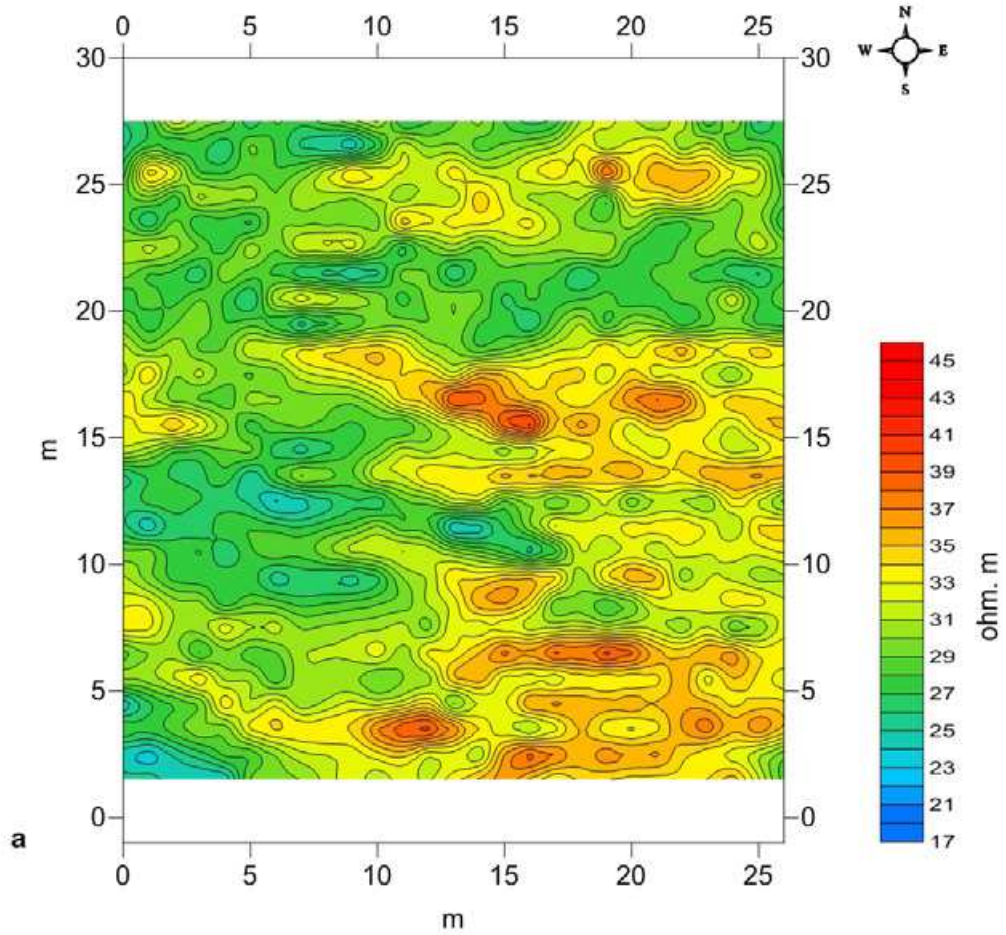


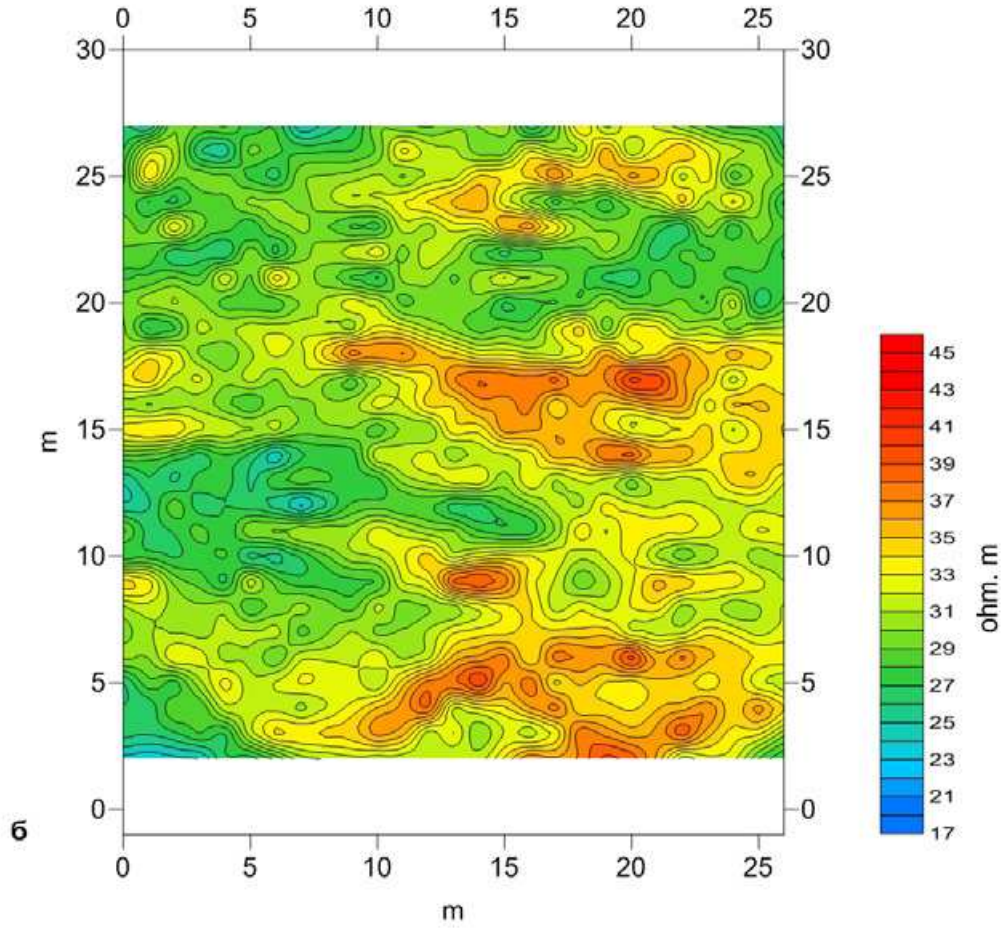


Карти на измереното привидно съпротивление при n=2 (а) и n=3 (б)

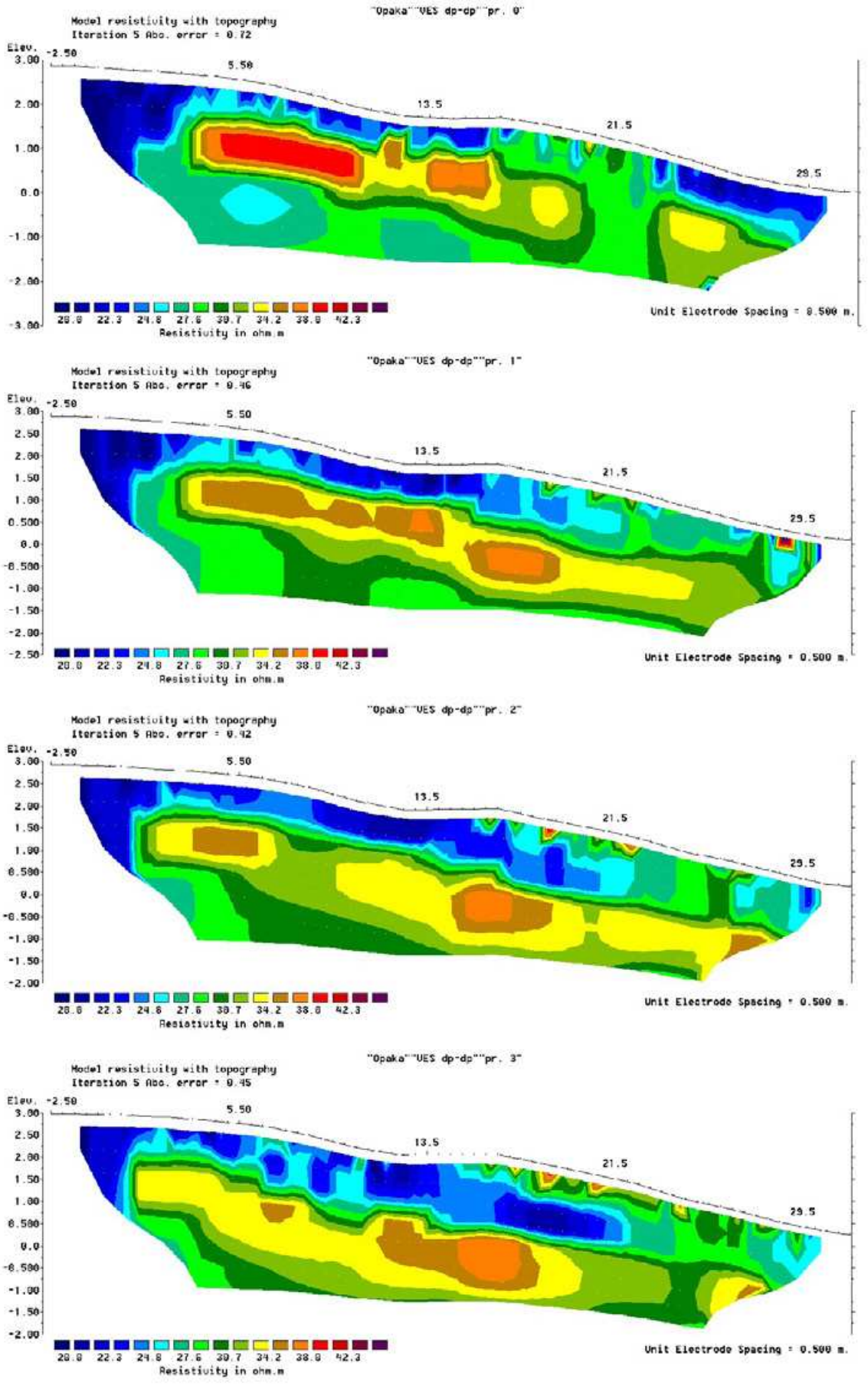


Карти на измереното привидно съпротивление при n=4 (а) и n=5 (б)

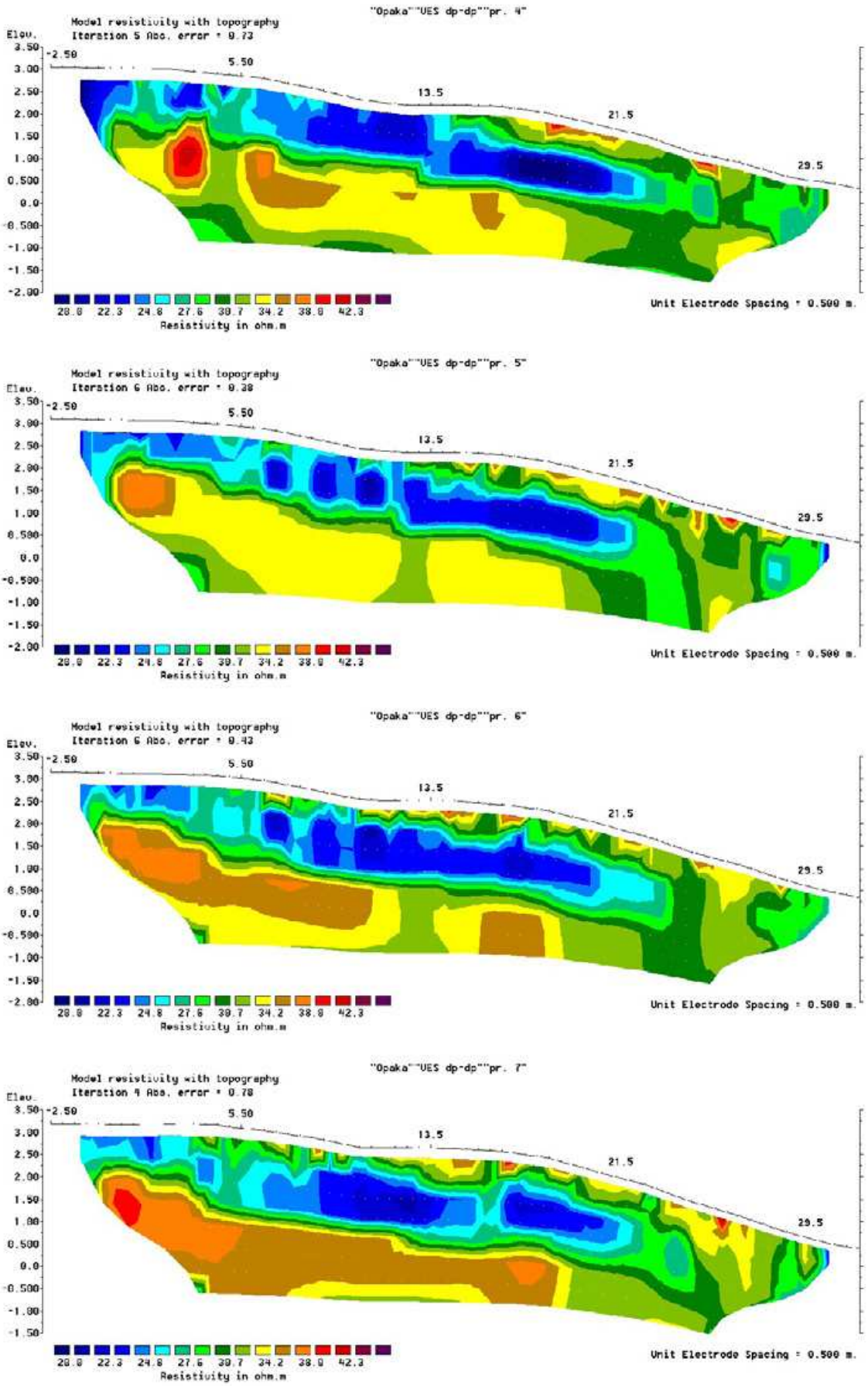




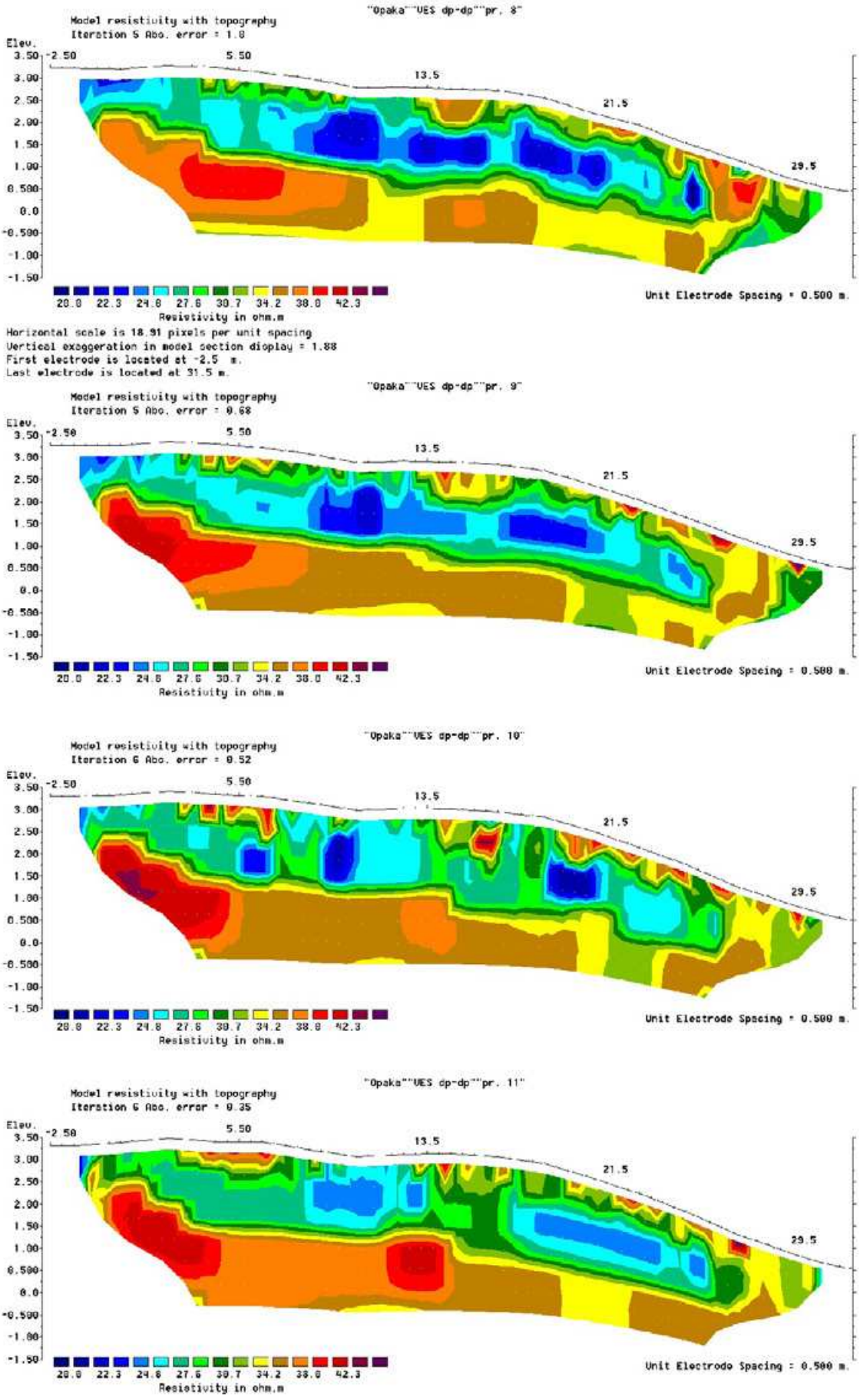
Карти на измереното привидно съпротивление при n=6 (а) и n=7 (б)



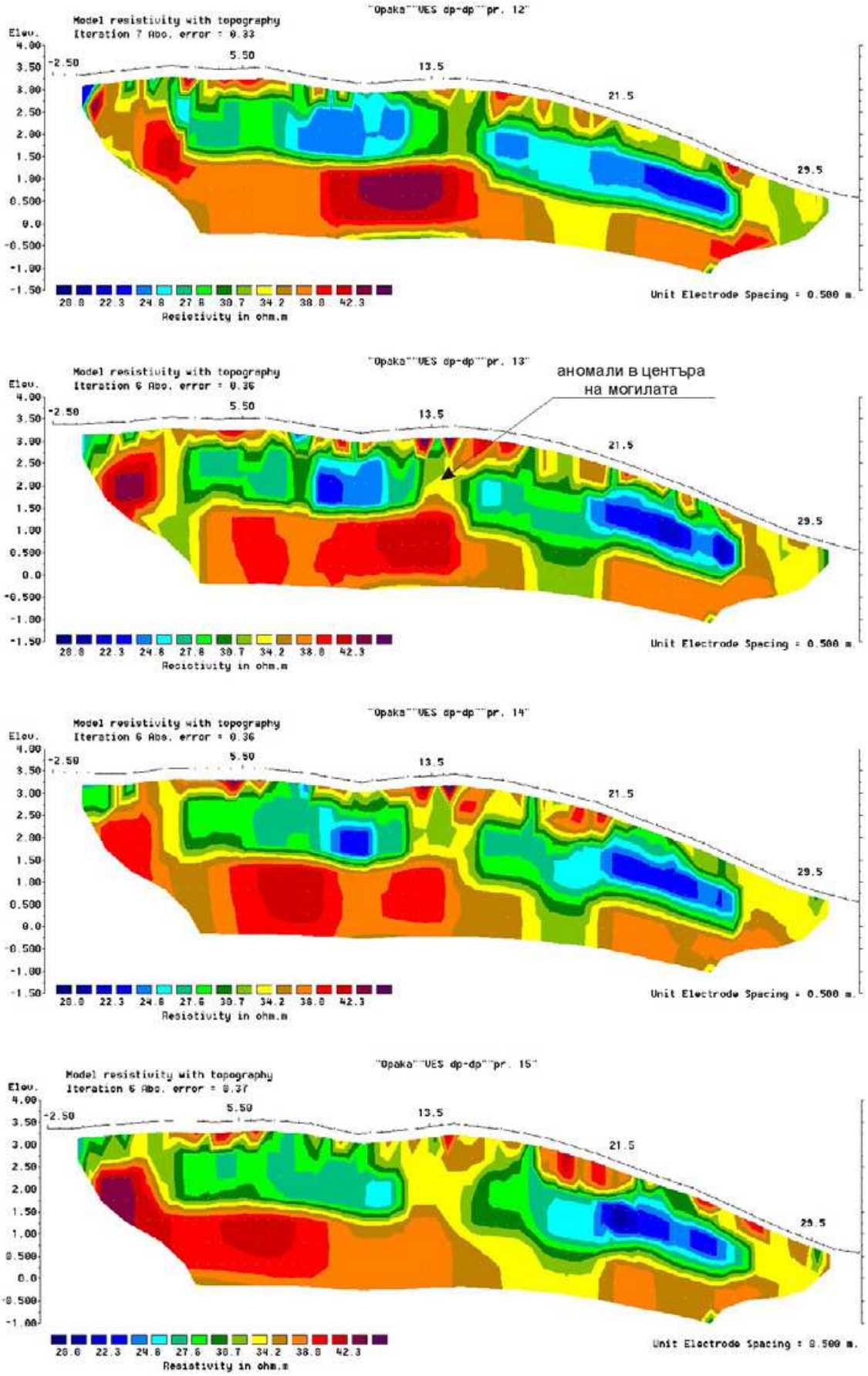
Резултати от двумерното инверсионно моделиране по профили 0-3



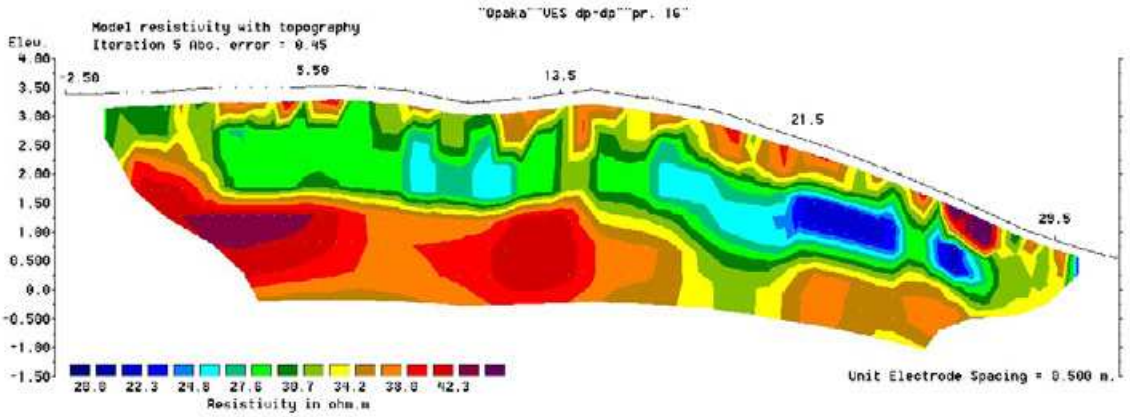
Резултати от двумерното инверсионно моделиране по профили 4-7

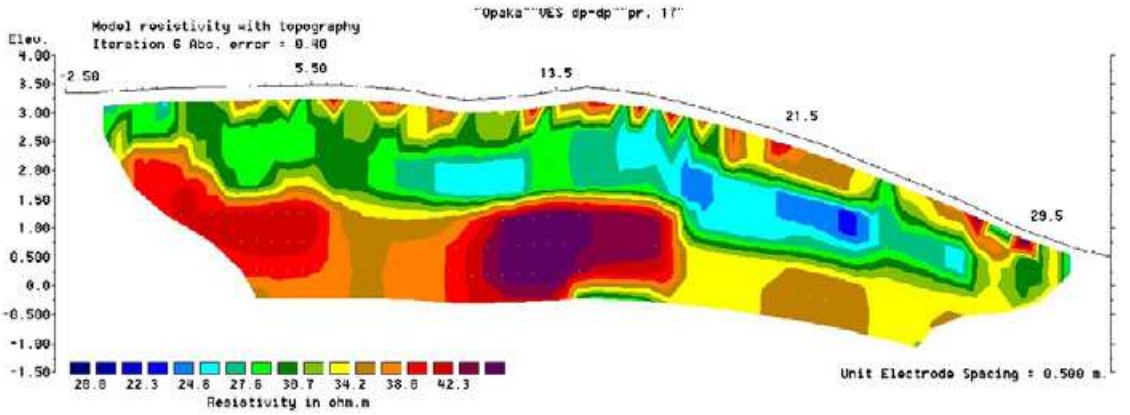


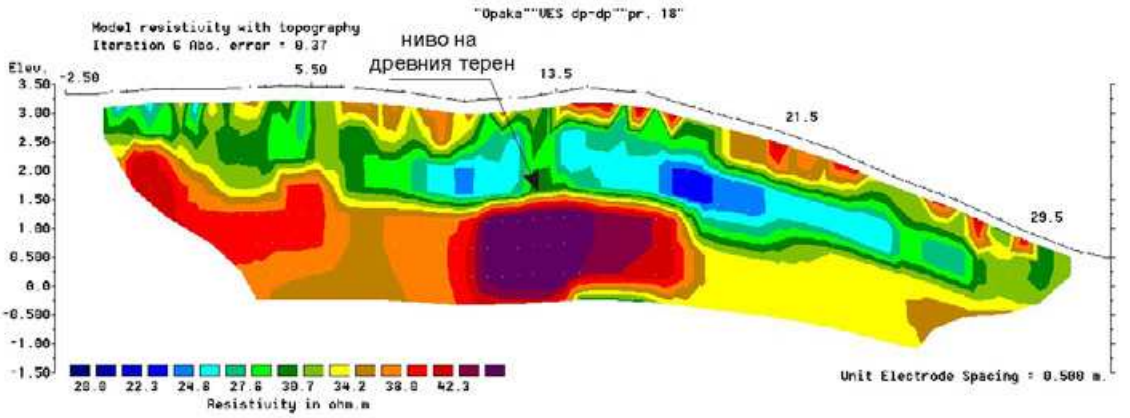
Резултати от двумерното инверсионно моделиране по профили 11-8

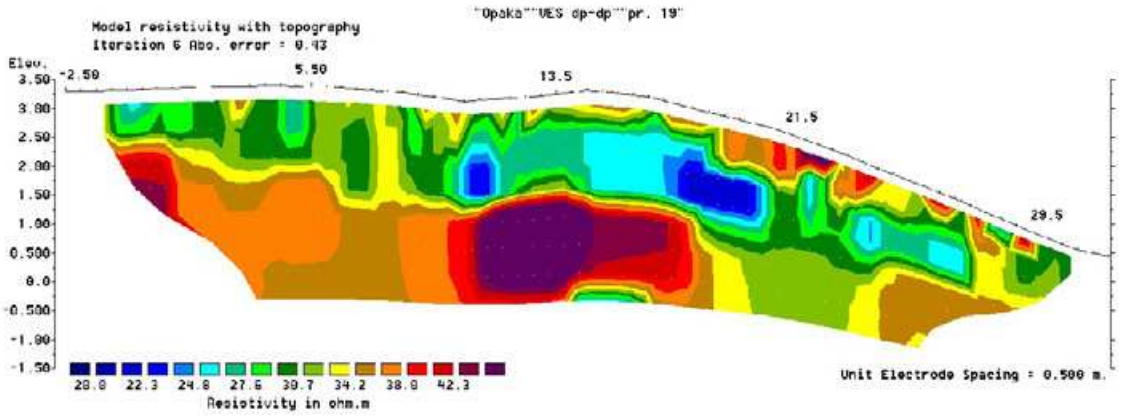


Резултати от двумерното инверсионно моделиране по профили 12-15

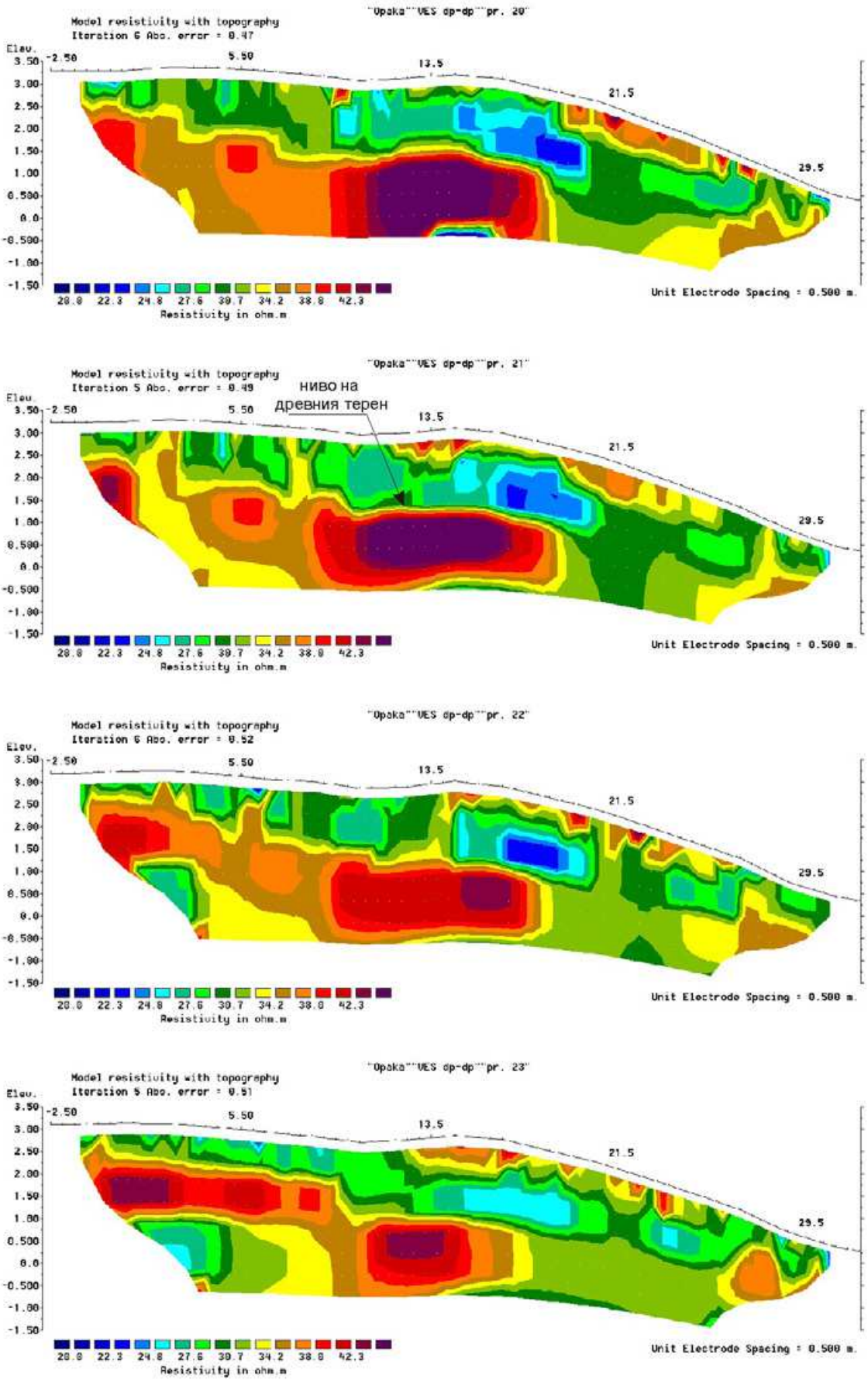




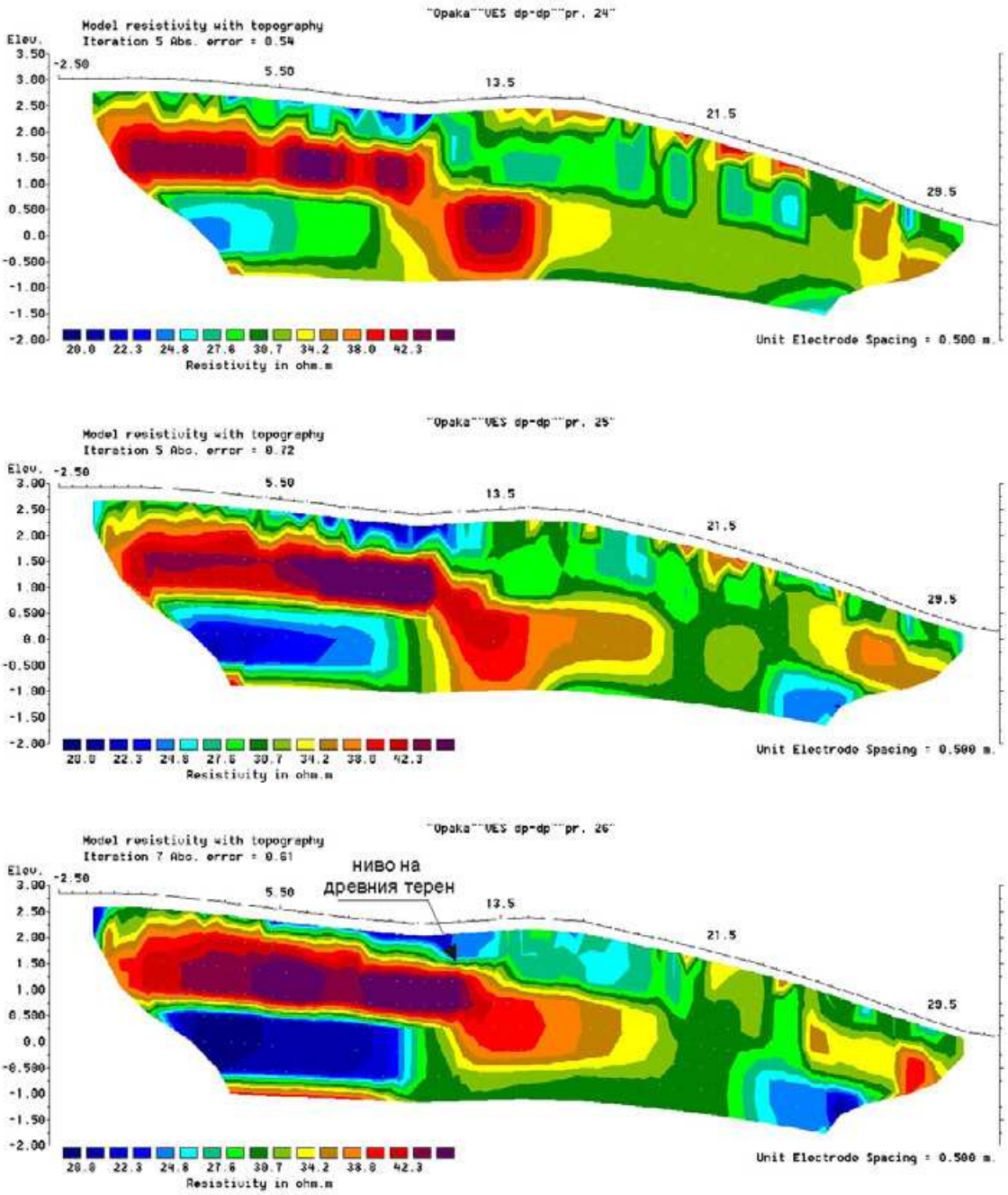




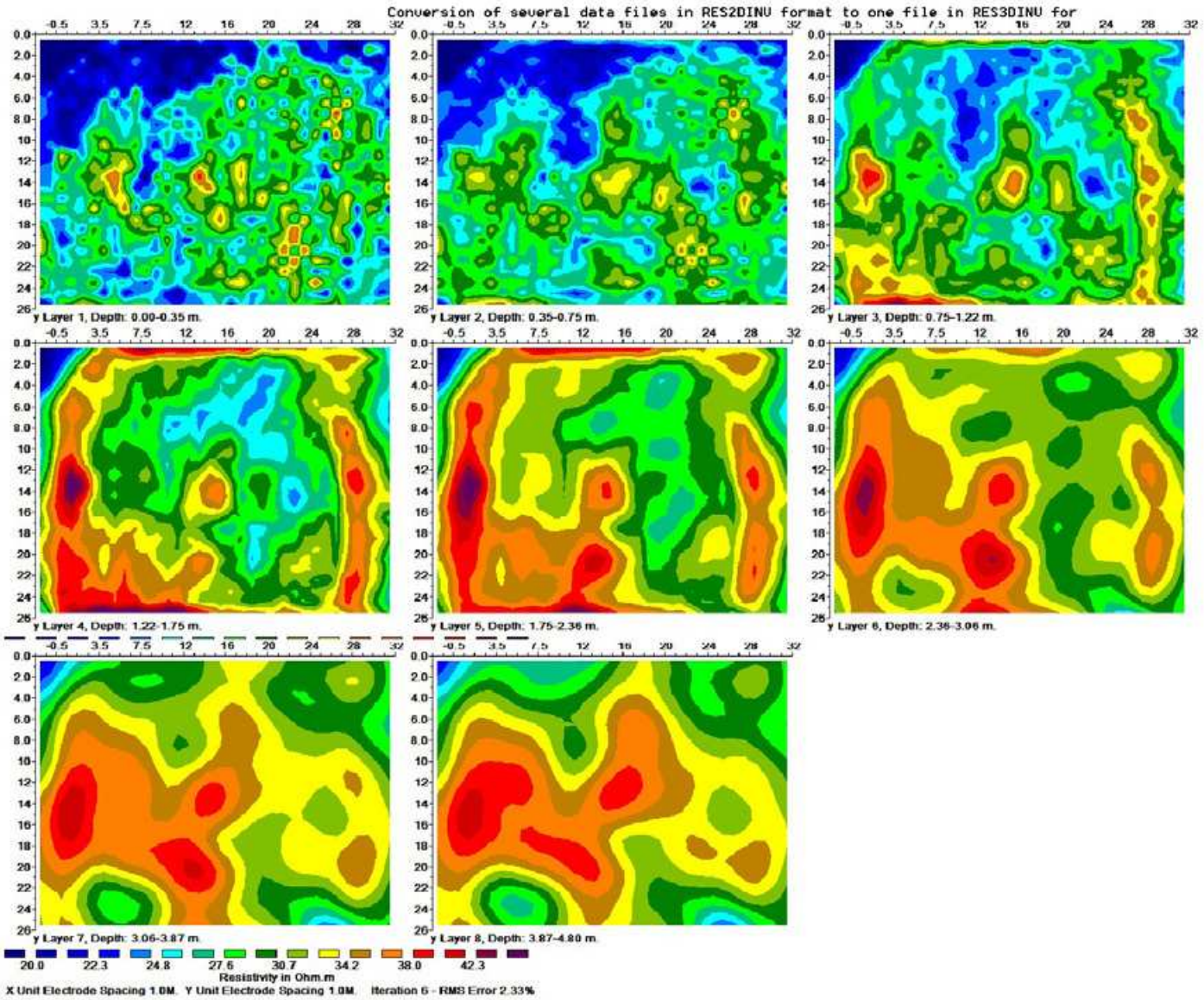
Резултати от двумерното инверсионно моделиране по профили 16-19.



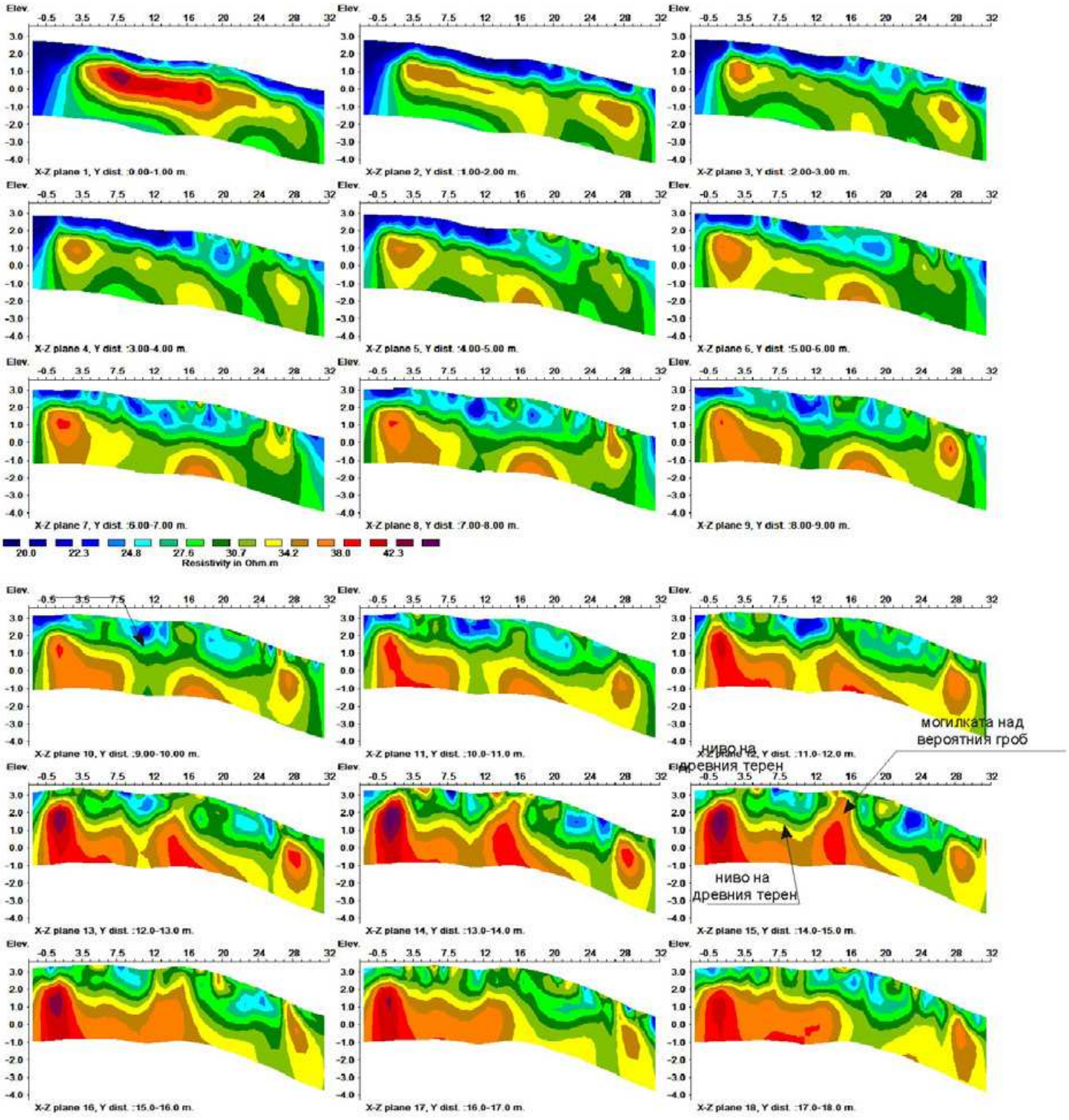
Резултати от двумерното инверсионно моделиране по профили 20-23



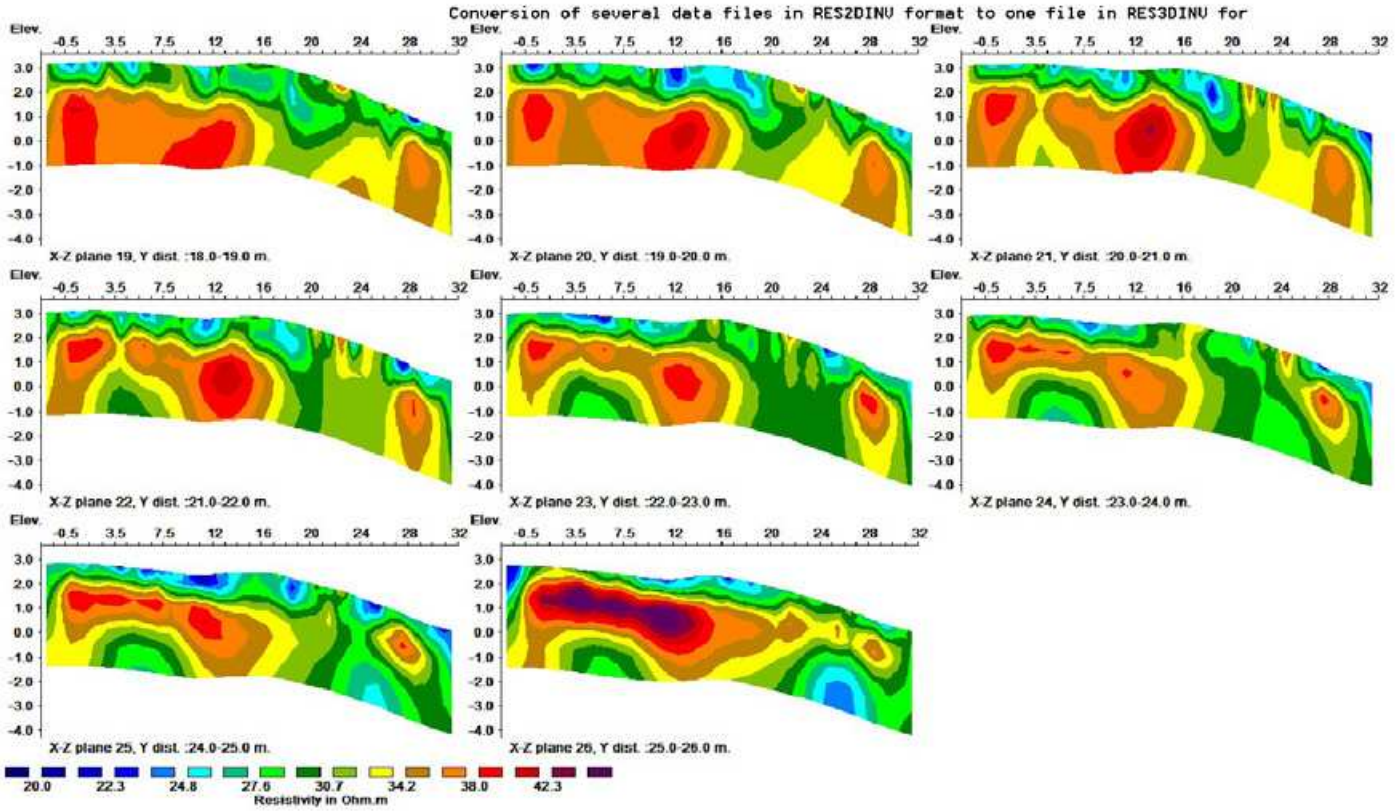
Резултати от двумерното инверсионно моделиране по профили 24-26



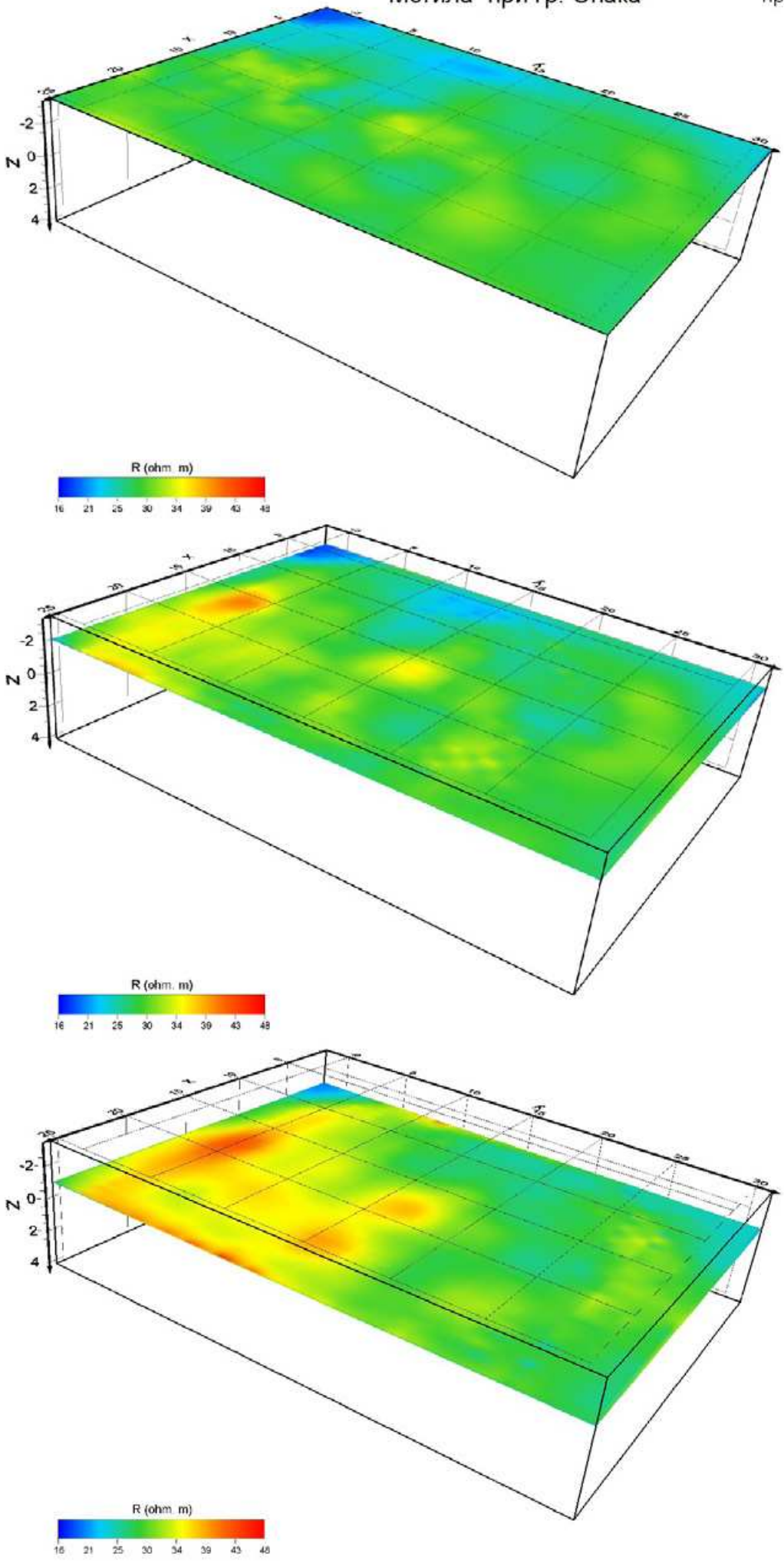
Хоризонтални разрези на съпротивлението за различни дълбочини получени въз основа на тримерното инверсионно моделиране



Вертикални разрези на съпротивлението дълбочини получени въз основа на тримерното инверсионно моделиране



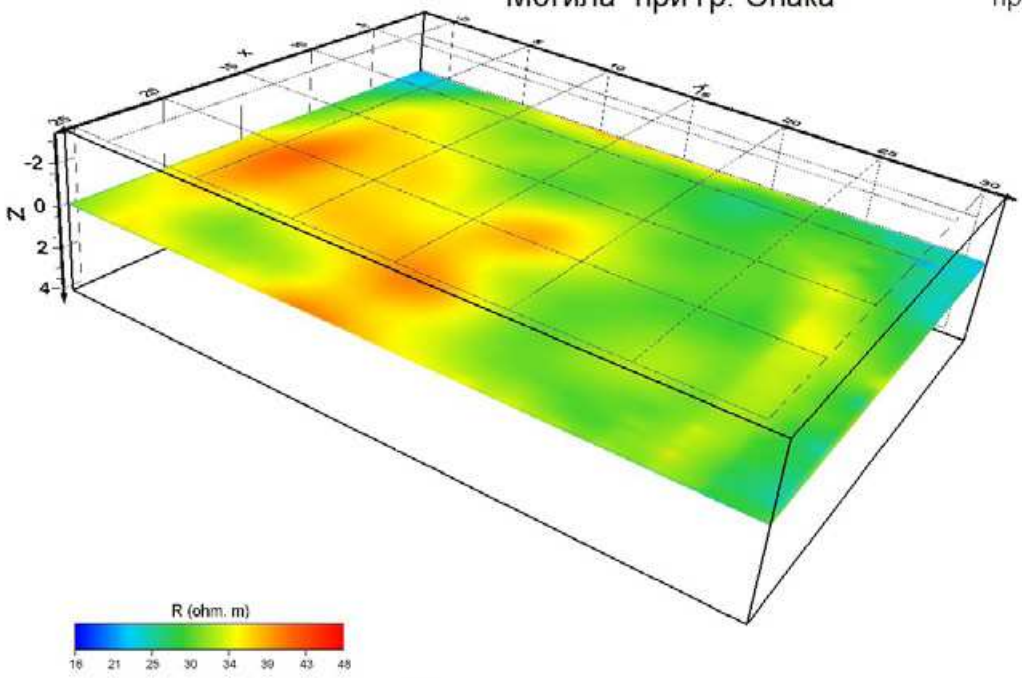
Вертикални разрези на съпротивлението дълбочини получени въз основа на тримерното инверсионно моделиране

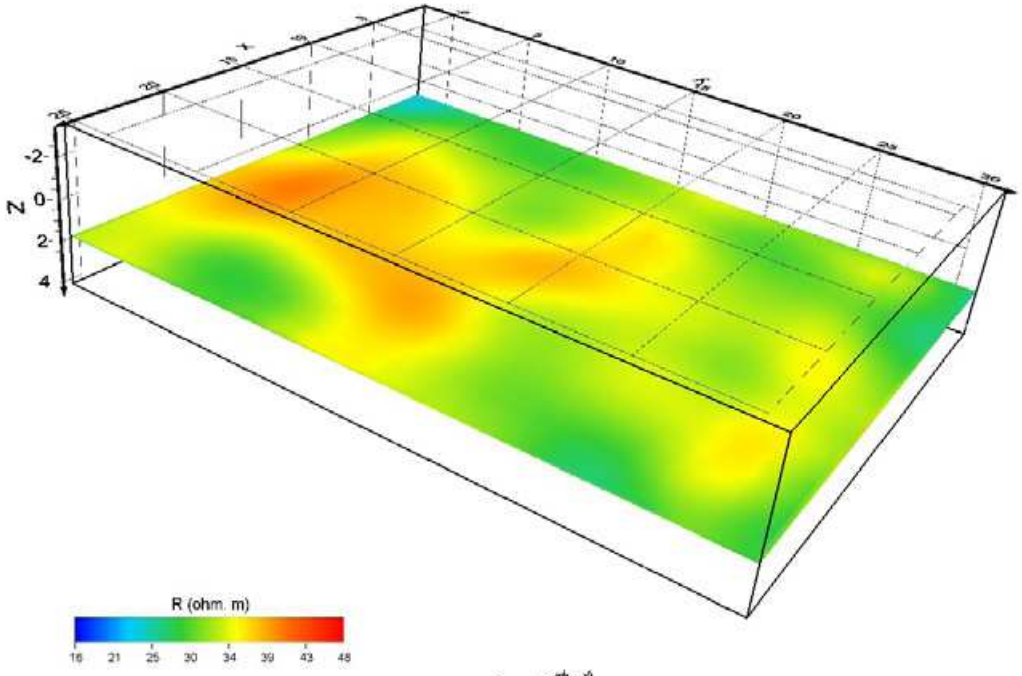


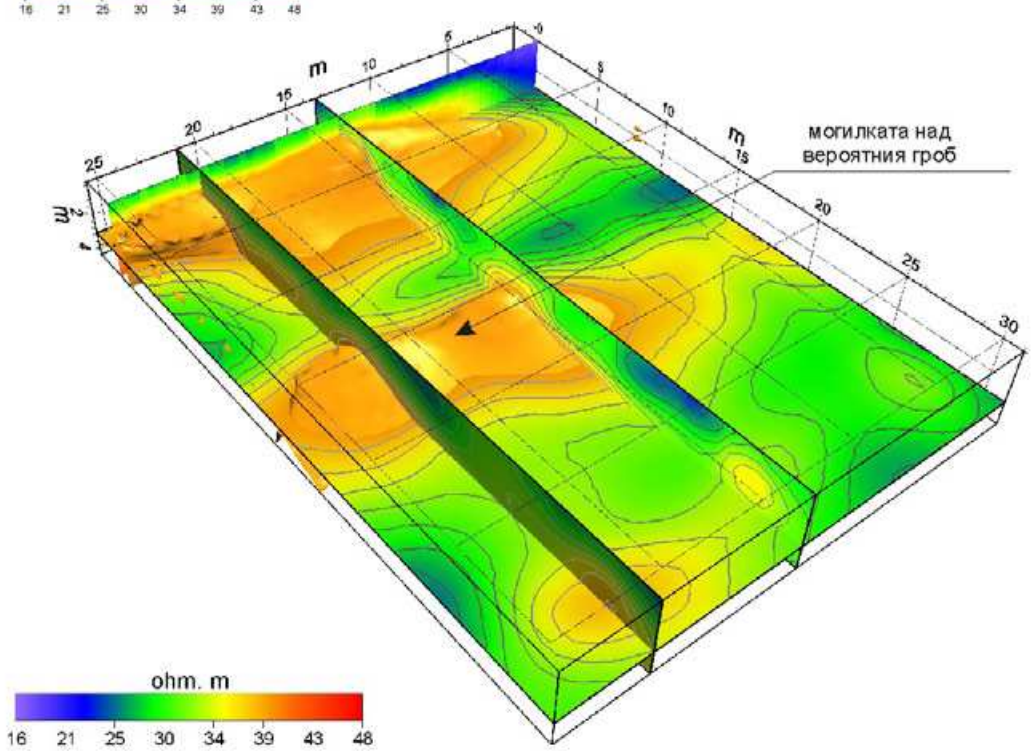
Тримерни модели на съпротивлението по тримерното инверсионно моделиране

Могила при гр. Опака

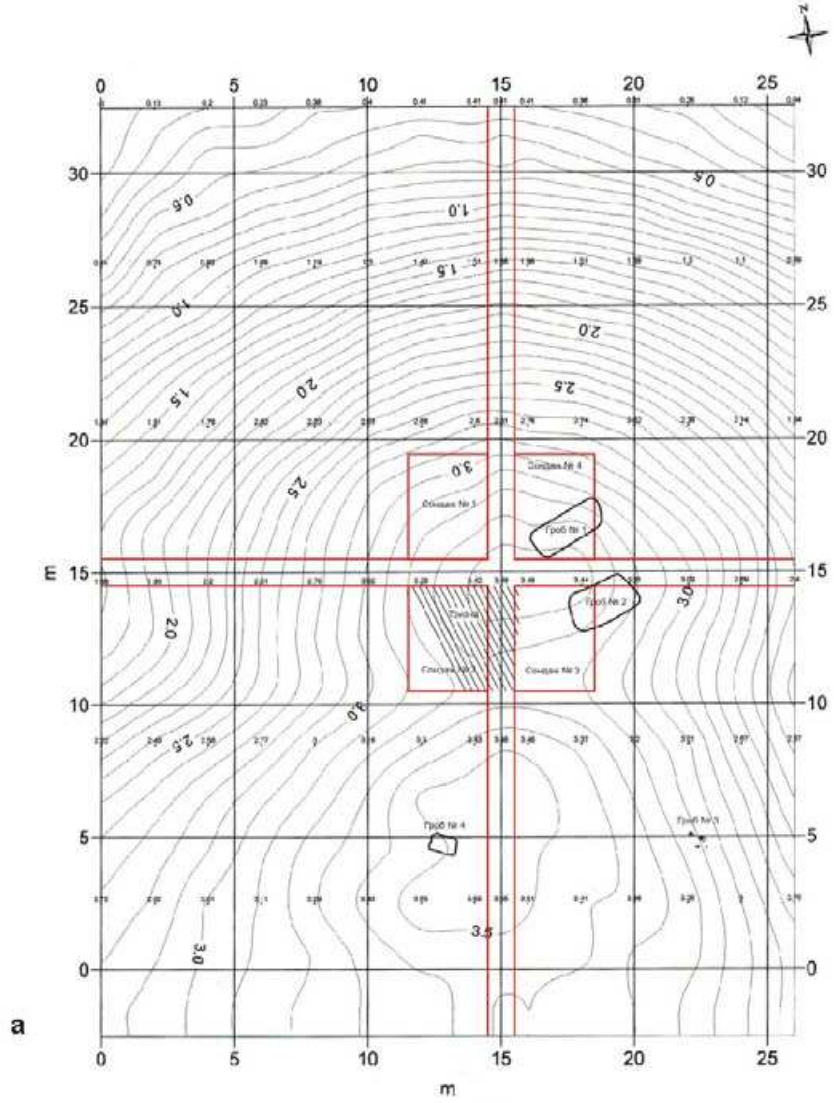
прил. V.5.17







Тримерни модели на съпротивлението по тримерното инверсионно моделиране



а

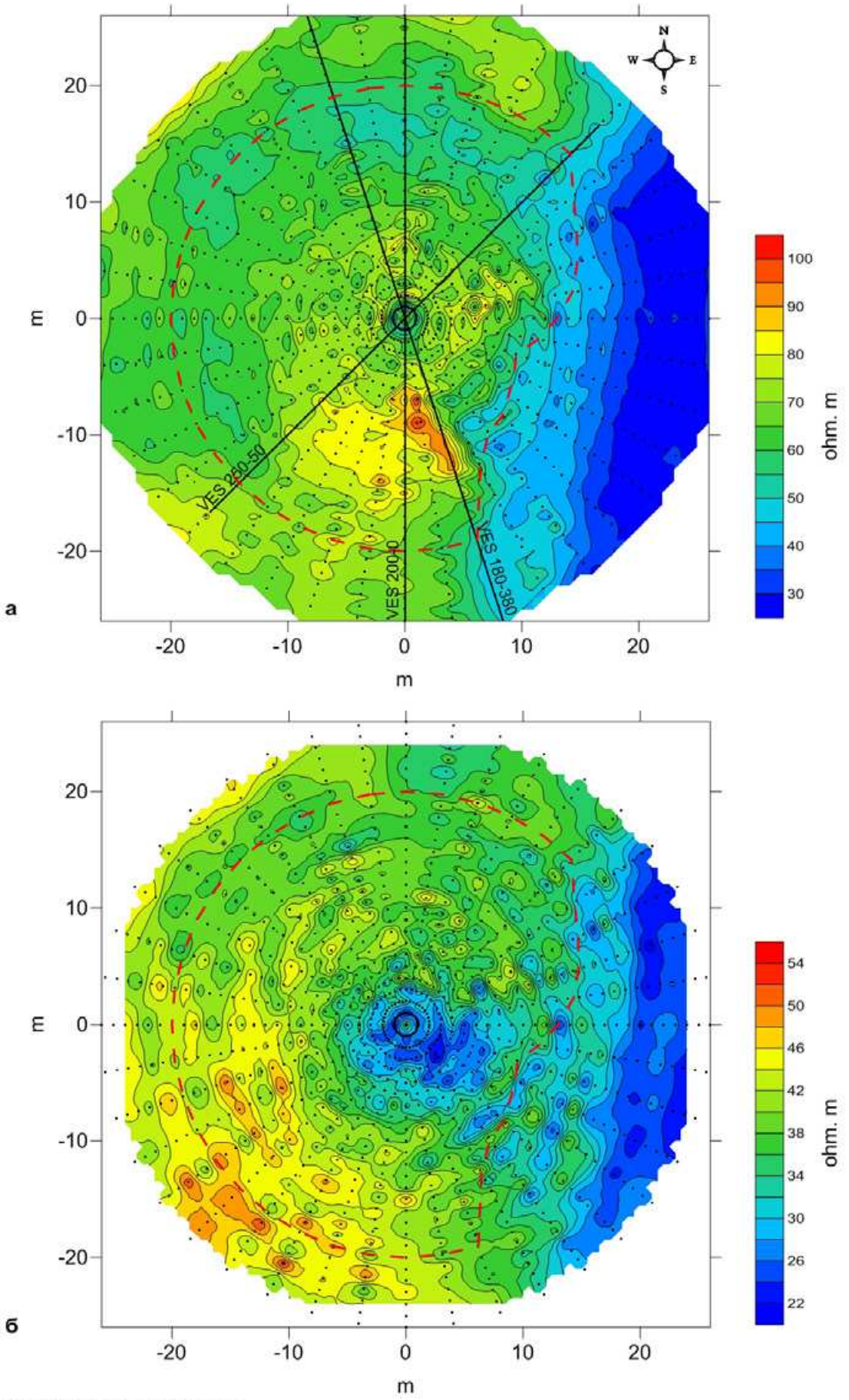


б

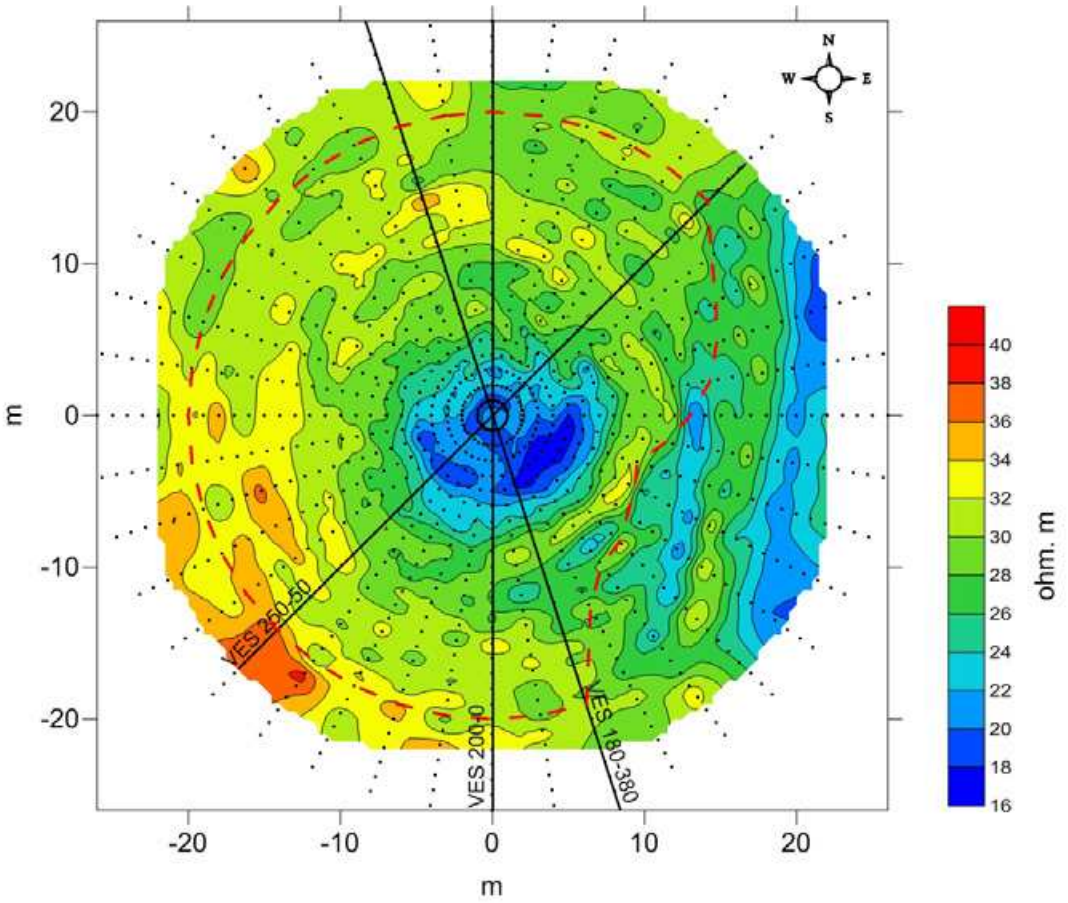
Разкритата археологическа ситуация в могилата при Опака (а) и гроб №1 с могилката над него (б)



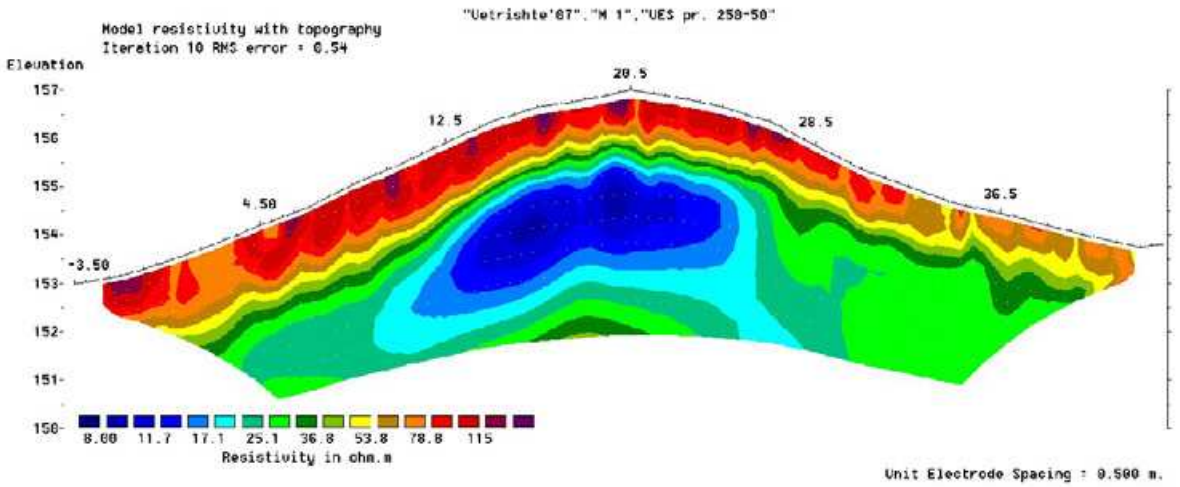
Могила 1 при с. Ветрище, изглед от североизток



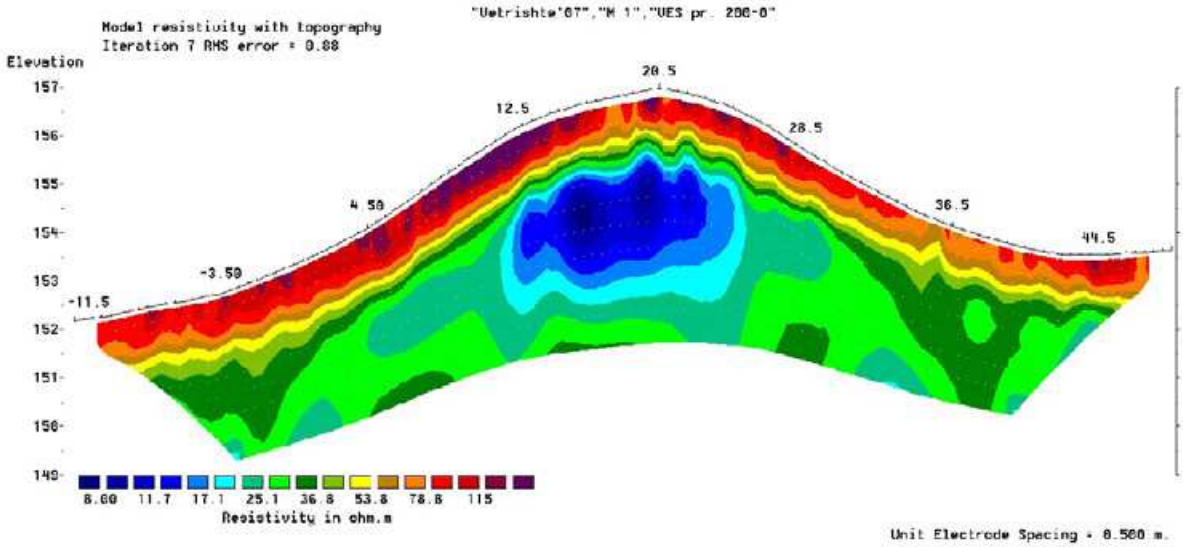
Могила 1 при с. Ветрище.
Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б).



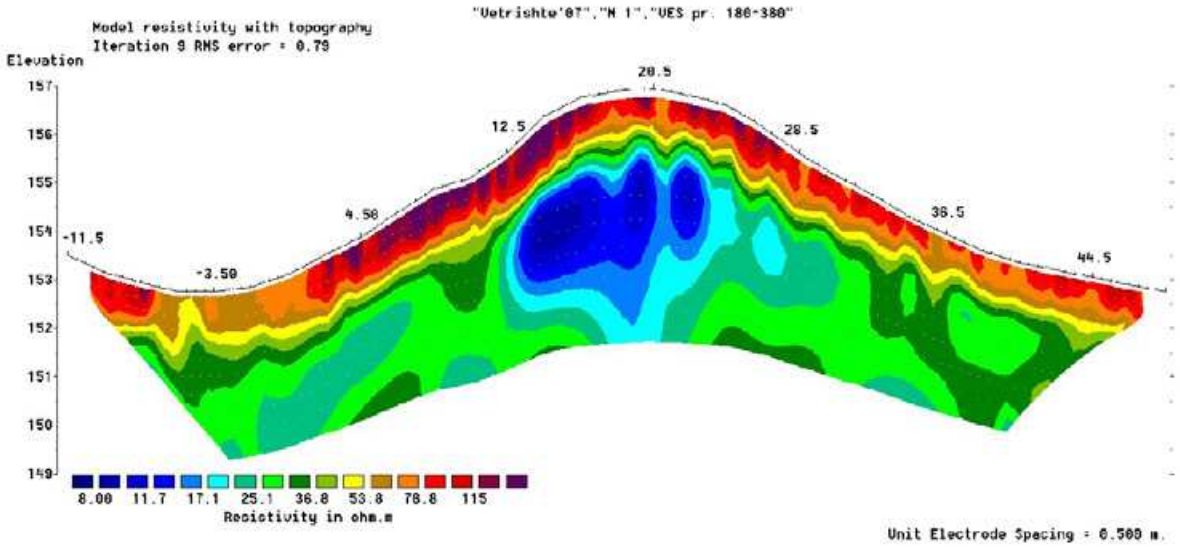
Могила 1 при с. Ветрище.
Карта на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5.



а



б

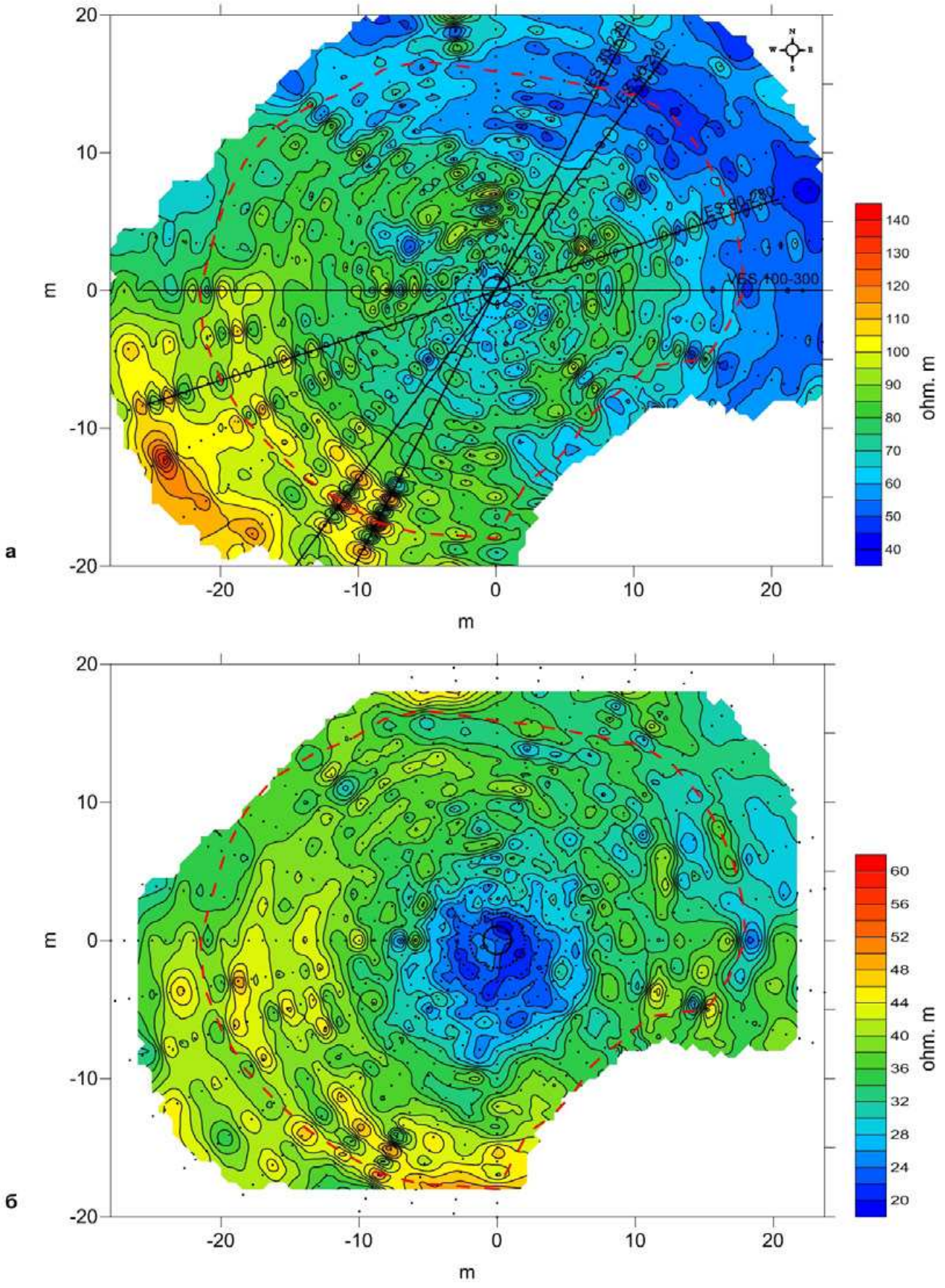


в

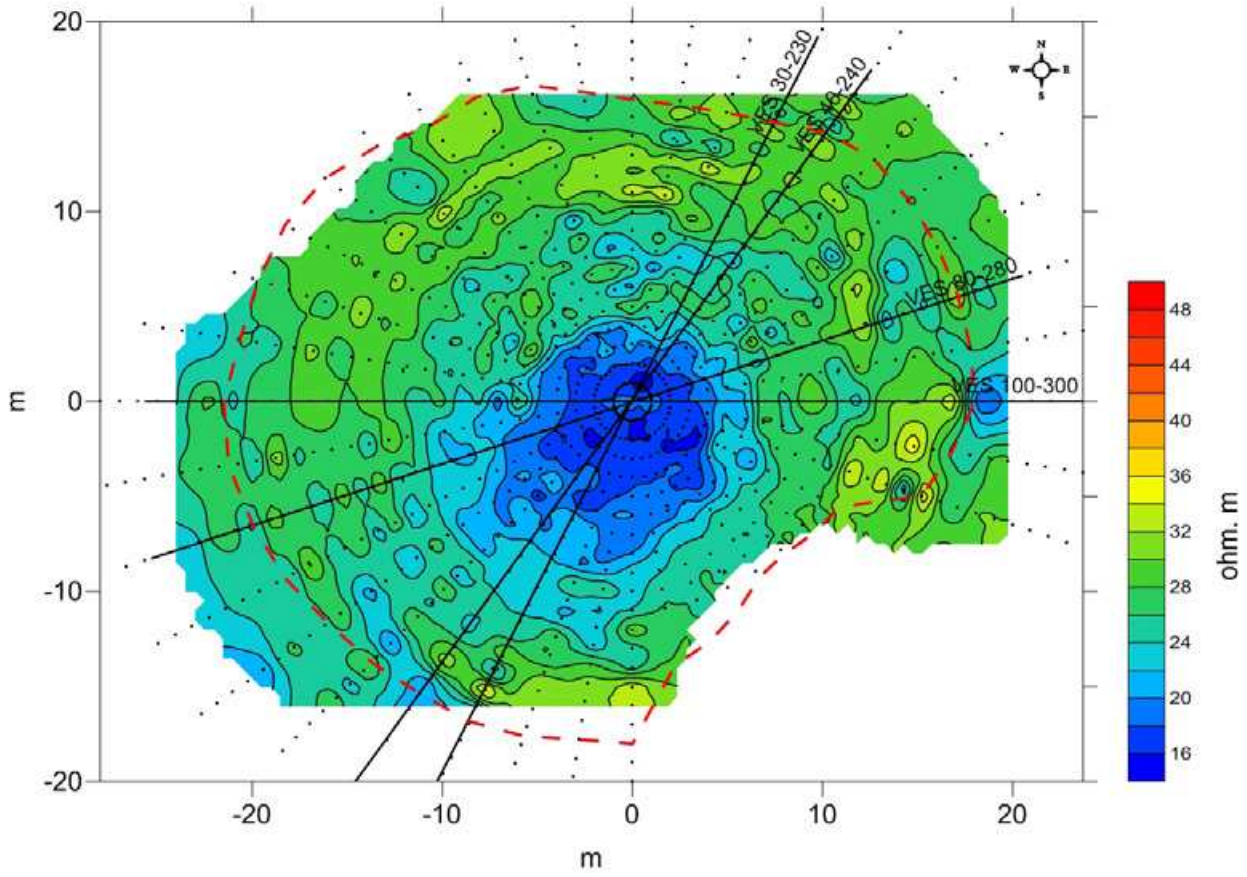
Могила 1 при с. Ветрище.
Инверсионни модели на съпротивлението по профили 250-50°, 200-0° и 180-380°.



Могила 2 при с. Ветрище, изглед от североизток.

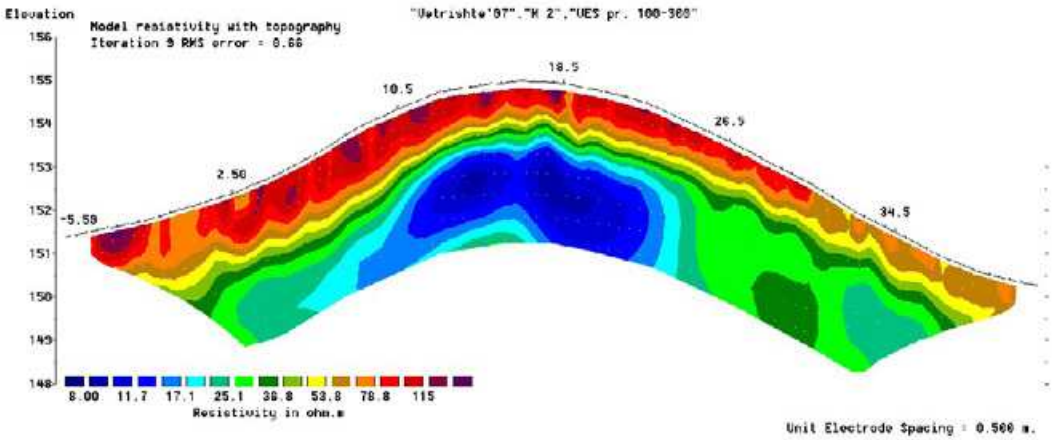


Могила 2 при с. Ветрище.
Карти на измереното привидно електрическо съпротивление при n=1 (а) и n=3 (б).

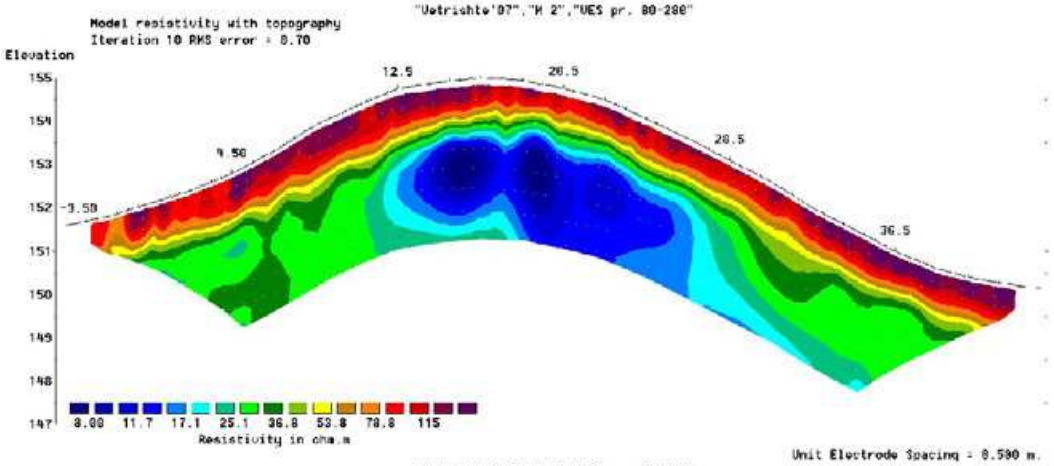


Могила 2 при с. Ветрище.
Карта на измереното привидно електрическо съпротивление при n=5.

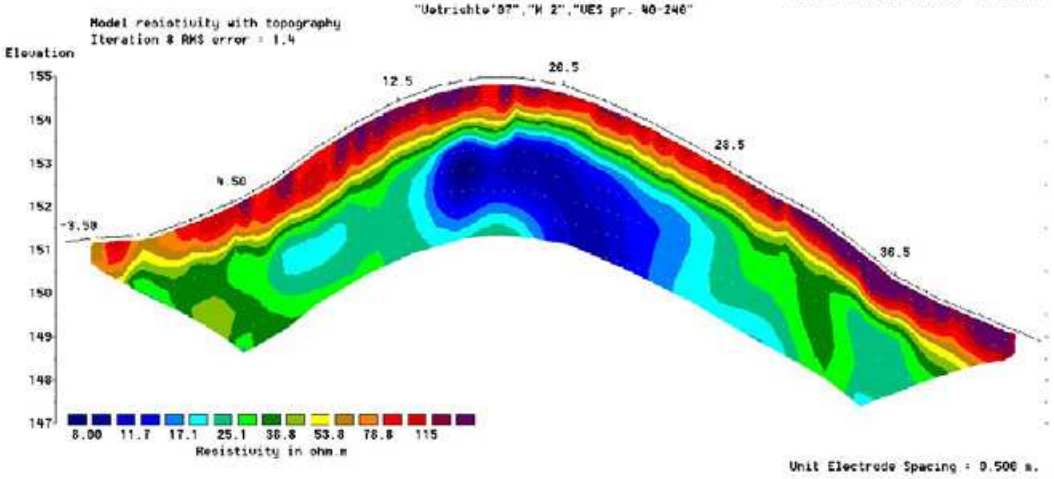
а



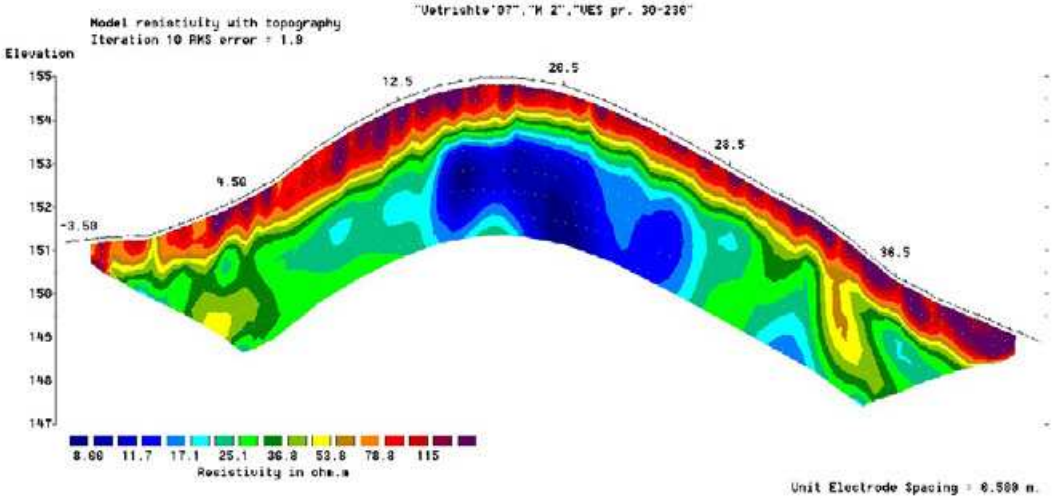
б



в



г



Могила 2 при с. Ветрище.
Инверсионни модели на съпротивлението по профили 100-300^{g}, 80-280^{g}, 40-240^{g} и 30-230^{g}.

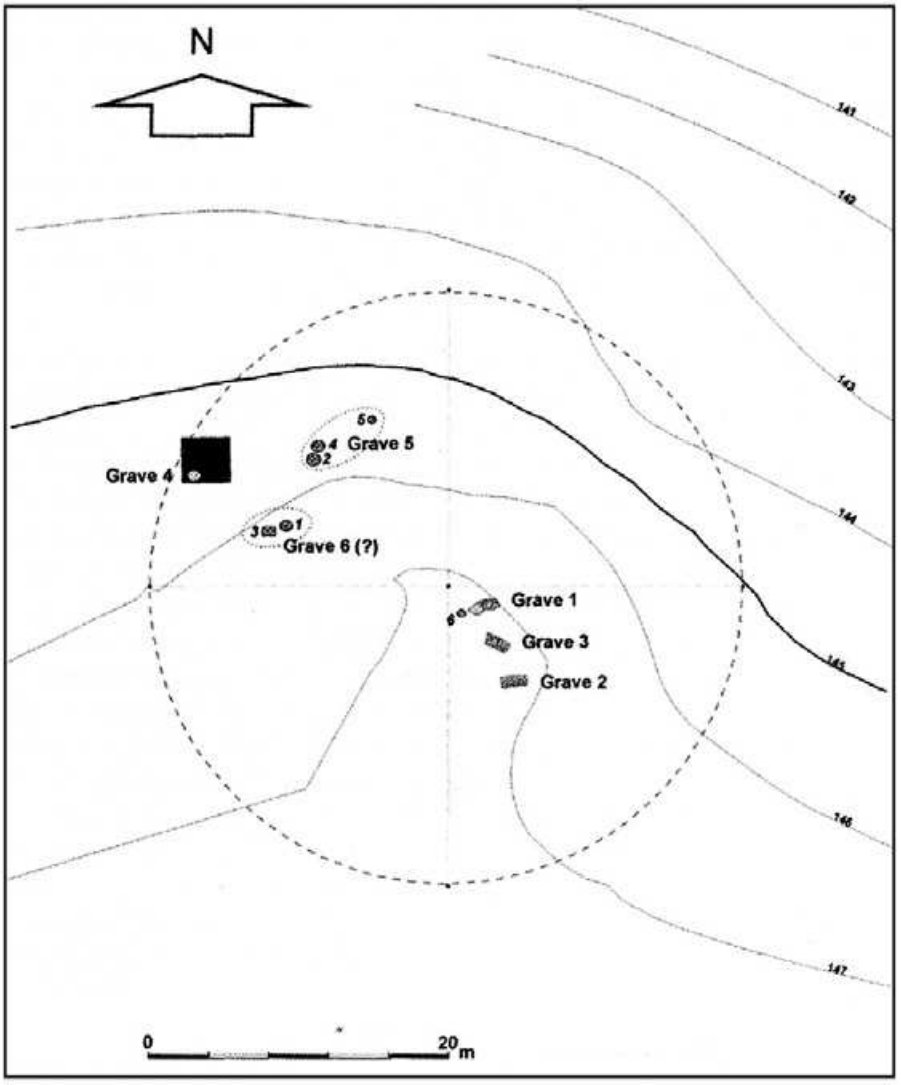
Могила VI при с. Горско Абланово

а

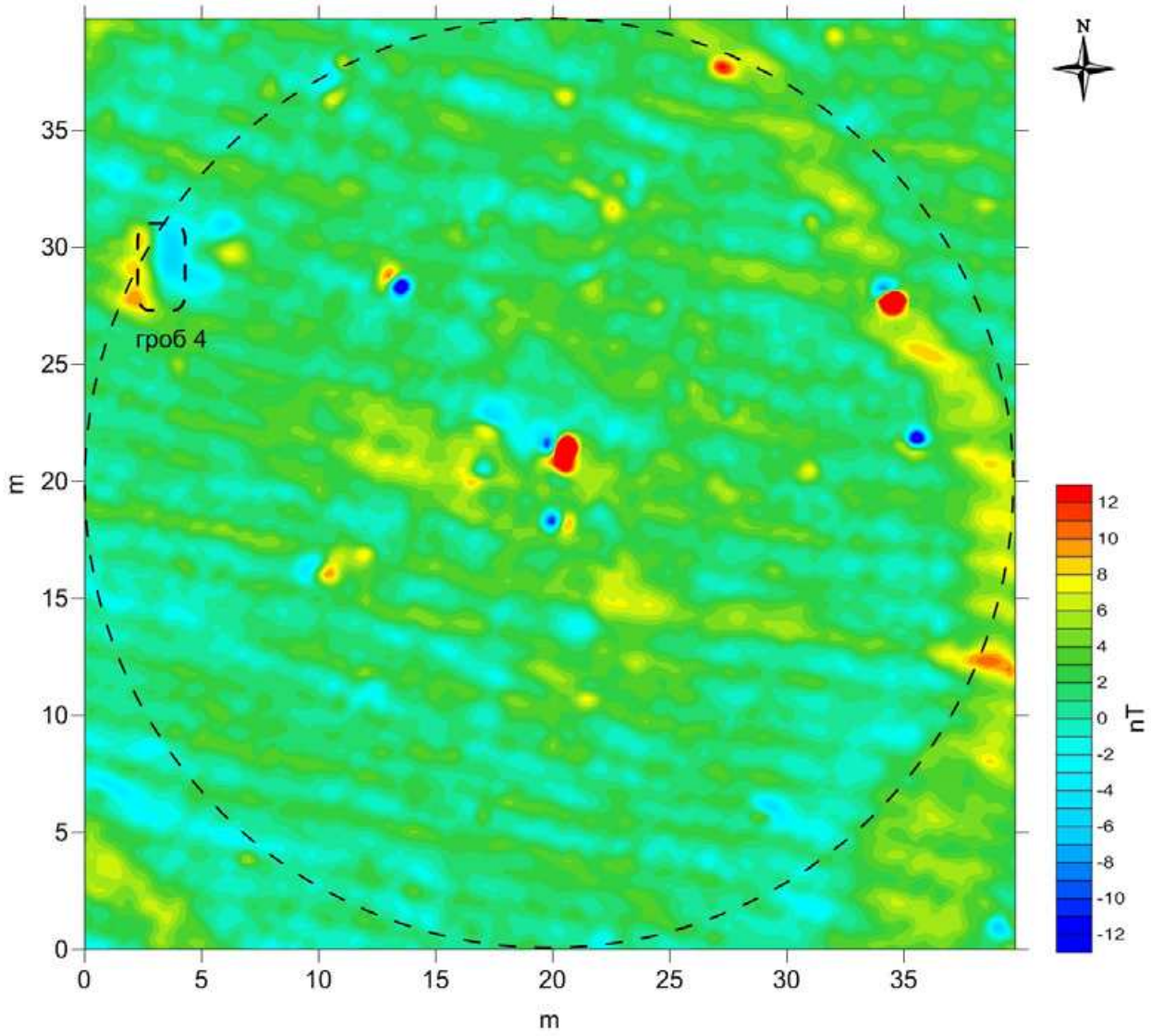


Могила VI при с. Горско Абланово

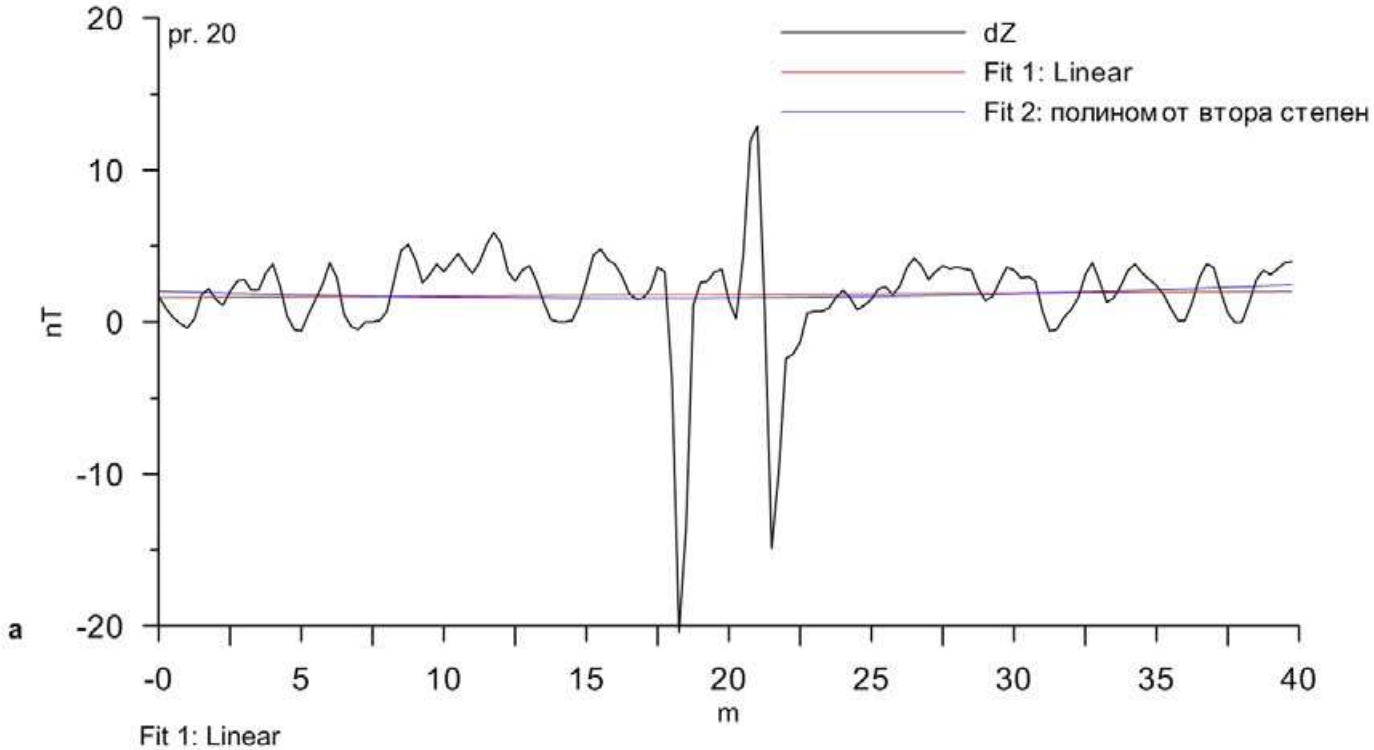
б



Гробните съоръжения в могила VI при с. Горско Абланово

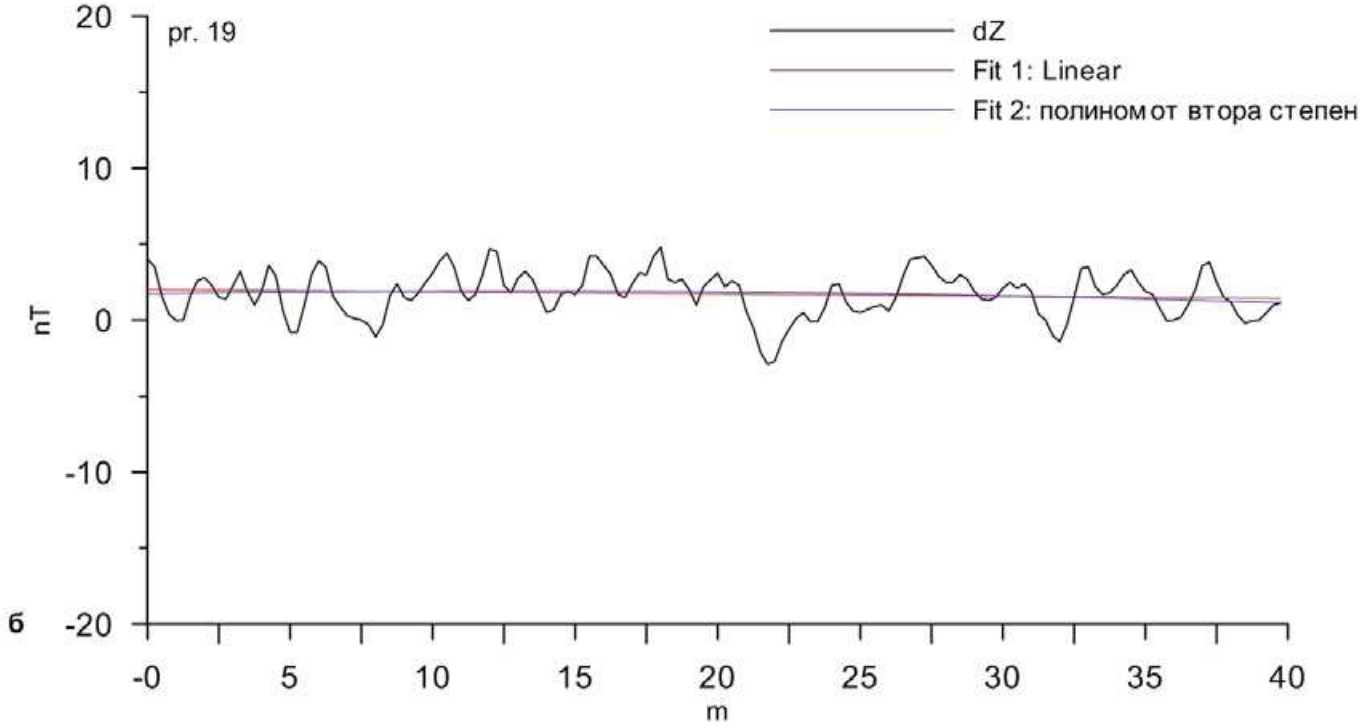


Могила VI при с. Горско Абланово. Карта на вертикалния градиент на магнитното поле.



Fit 1: Linear
Equation Y = 0.0105709598 * X + 1.600402174

Fit 2: полином от втора степен
Equation Y = 2.033376064 - 0.05519722603 * X + 0.001654545555 * pow(X,2)



Fit 1: Linear
Equation Y = -0.0148786476 * X + 2.024650621

Fit 2: полином от втора степен
Equation Y = 1.742663115 + 0.02795489757 * X - 0.001077573464 * pow(X,2)

Могила VI при с. Горско Абланово.
Криви на стойностите на измерения вертикаленградиент на магнитното поле и полиноми от първа и втора степен на тези стойности по профили 20 и 19.

GEOPHYSICAL METHODS IN ARCHAEOLOGY

OPTIMIZATION OF TECHNIQUE FOR PROSPECTION OF BURIAL MOUNDS

Summary

Preface

The need of development of new efficient methods for record and preservation of cultural heritage has lead to the application of geophysical techniques for prospection of archaeological sites.

The essence of geophysical survey consists in detection of buried structures by means of measurements of natural or artificial physical fields performed on the earth's surface. Most of the geophysical methods used today for archaeological purposes have been initially invented for the needs of prospecting and engineering geology. And while the fundamental physical principles are the same the small depth along with comparatively small dimensions of archaeological features are a test for the laws of physics to limits the common geophysicists seldom have to comply with. Research of these particular tasks has led to the development of a sub-discipline known as archaeological geophysics or simply, archaeological prospection.

The progress of archaeological geophysics has been especially visible during the last three decades when it has been established in world scale as an integral part of the field archaeological research. The general issues on the topic however are still few and they usually reflect the level reached in West Europe. The place of archaeological geophysics in Bulgarian archaeology also can be considered approved. Examples of prospection of several sites have already been reported. Amongst them the most numerous and contributing are geophysical surveys of burial mounds. At the same time the general studies concerning the application of geophysics and, especially, on the prospection of different sites in Bulgaria are missing. In this respect, there are only few short papers published which, besides that are already outdated, discuss sooner the theoretical potential of some of the geophysical methods and give place to issues of organizational and technical matter. Meanwhile, the accumulated database from the survey of burial mounds in Bulgaria allows a generalization on the technique of their prospection to be done. Moreover, the publications of similar surveys in world scale are scanty, as the barrows are missing as a potential target of investigation in the summary works.

I. Appearance and progress of archaeological geophysics.

First successful experiments with resistivimeters and proton magnetometers for surveying of archaeological sites were performed in UK shortly after the World War II. The

good results gave impetus for application of geophysical methods in the other developed countries like Italy, France and West Germany, and later on in the great part of the rest of the European countries. Electroresistivity and proton magnetometry have been mainly applied. Electromagnetic, gravimetry and seismic surveys have also been tested. First samples of fluxgate and optically pumped magnetometers came into use in the mid 1960s. The development of archaeological geophysics in the mid 1970s and early 1980s suffered some standstill. The main cause was that the devices available, and hence, the surveys themselves were still expensive and slow and thus they could not meet the need of fast mapping of large areas. Besides, due to the lack of sufficient experience, inappropriate for the particular conditions techniques were performed and, hence, bad or difficult for interpretation results obtained. After the mid 1980s geophysical survey achieved rapid development. It was connected mainly with the innovations of electronics and microcomputers, with the development of new devices and software designed especially for application in archaeology. This is the time when first experiments with georadars were carried out.

Earlier steps for application of geophysical techniques in archaeology by Bulgarian specialist dated from the 1970s. They were connected with the names of Vera Ivanova, Staiko Pishtalov, Peter Stavrev, Radi Radkov, Ilian Katevski, Veselin Yanev, Lidia Nikova, Stojan Avdev and Ivan Jakov which were the pioneers of this kind of survey in the country. Resistivity and, to a lesser extent, geomagnetic trial surveys were performed but they did not go beyond the experimental stage. In fact, till the early 1980s we could not speak of such term as "Bulgarian archaeological geophysics". Only then, the real penetration of geophysical methods in Bulgarian archaeology began. It was connected with the activity of the two newly established laboratories: Laboratory for Instrumental Methods in Geotechnics and Archaeology at the Laboratory of Geotechnics of Bulgarian Academy of Sciences directed by Ilian Katevski and Laboratory of Archaeometry at the Institute of Thracology directed by Avgustin Petkov. First one focused its efforts especially towards survey of burial mound, while the second – toward aerial and marine and underwater (mainly sonar) prospection.

The comparison between the development of world archaeological geophysics and its state in Bulgaria after the beginning of the 1990s shows that, except the survey of burial mounds, Bulgarian archaeological geophysics fell behind the world level. Prospection of settlements was reduced to minimum. This was mainly due to the lack of modern equipment. Just after the begging of 21st century, obtaining latest models magnetometers and resistivimeters, equipped with the appropriate paraphernalia and software, the standard of geophysical surveys performed on archaeological sites in Bulgaria largely corresponds to the world level. Moreover, the two and three dimensional electroresistivity tomography, applied for more than ten years now in the country, is beyond the capability and competence of great part of the teams concerned with geophysical prospection in archaeology.

It must be noted however that the potential and advantages of geophysical techniques still are not sufficiently well-known for great part of Bulgarian archaeologists. For example, of the 220 archaeological sites studied by excavations in 2010, only less than 20 were geophysically surveyed. Particularly indicative is also the fact that in the rescue excavations of over 40 sites along the route of the highway ⊚Thrace⊚ between Stara Zagora and Karnobat just on ¼ of them a preliminary geophysical prospection was performed.

II. Application of geophysical methods in archaeology.

First part of this chapter consists of a summary of the main geophysical methods with

an assessment of their potential for application in archaeology. The main place is devoted to the geomagnetic and electroresistivity. Special attention is paid to the last innovation in the field – the high frequency electromagnetic devices dubbed for ground probing radars (GPR).

The useful information obtained during the geophysical prospection is a result of existing differences of the physical properties of archaeological features and host medium (commonly, this is the superficial soil layer), that can be recorded in the course of the measurement itself. Depending on whether geophysical methods rely on naturally existing or artificially induced physical fields they can be divided generally into two categories – active (electroresistivity, electromagnetic, seismic) and passive (magnetometry, gravimetry, geothermal, radiometry).

Practically, all methods listed above, in greater or lesser degree, have been applied for archaeological proposes. Ultimately, some have appeared to be with better capabilities, other are still in a course of estimation and thirds have been accepted as inappropriate for now. E. g., seismic, the most widely used method in exploration geophysics and engineering geology, finds very little application in archaeology.

Electroresistivity method is based on direct or alternative (of order of few Hz) current fed into the ground and simultaneous measurement the changes of resistivity caused by archaeological remains. Features that can be successfully recorded by the method are stone walls or remains of walls, stone heaps, pavements, cavities and tunnels, pits and ditches, stone graves and sarcophagi, etc. The good reputation of electroresistivity is due to some circumstances. First of all, the method is very suitable for fast mapping of shallow structures. The cost of equipment is comparatively low and the common procedures for data processing – fairly simple. At the same time, the method is "flexible" – there are devices able to investigate depths from some tens of centimetres to several meters.

Magnetometry is based on the registration of the earth's magnetic field anomalies caused by the differences of the magnetic properties (magnetic susceptibility and remanent magnetization) between the buried structures and the host medium. Magnetometry successfully detects a huge variety of archaeological features: all kinds of negative contexts, like ditches and grave and cult pits, but also those subjected to heating in the past, like pottery and smelting kilns, heaps of slag and pottery, remains of adobe walls, remains of burned dwellings, as well as stone and brick walls, iron objects. The power of the method is in the detection of features located within the first meter beneath the surface. In return, it successfully meets the need for covering vast areas in short time.

Electromagnetic methods are based on the propagation of electromagnetic waves transmitted by means of an antenna and recording of reflected signal by means of another, receiving antenna. The devices from this group operate with low frequency, of the order of few kHz, waves. They can be use to register features differing by their higher conductivity and magnetic susceptibility from the host strata like big metal objects, ditches, pits, pottery kilns, etc. The measurements' quality, however, can well be influenced by interfering factors like changes of soil and shallow geological layers physical properties as well as electrical sources of noise, e. g. from electrical wires or from atmospheric sources that limits application of this kind of devices. For they do not need galvanic contact with the surface in the course of the measurement, they may appear appropriate in case of very dry superficial deposits, e. g. in desert conditions, i. e. when the application of resistivity method is impeded.

Georadar (GPR) is perhaps the most important technical novelty in archaeological

prospection of the last decades of 20th century. It is a survey system that operates with very high frequency electromagnetic waves (from some tens to several hundreds MHz). Its use is based on variations of the relative dielectric permittivity (the ability of the strata to propagate electromagnetic waves) between the features sought and the host medium. Applied in favourable conditions, it can demonstrate very high resolution and depth of penetration. Unfortunately, the full capabilities of GPR for detection of different kind of archaeological structures are still in course of evaluation. Its still limited application in archaeology is due to the slower manner on measurement performing, high cost of equipment and complicated procedures of data processing. Besides, georadar measurements are limited by certain interfering phenomena like existence of inhomogeneities with dimensions of order of wave length and superficial layers with high conductivity like wet or loamy soils, circumstances that may make this kind of investigation completely unpractical. Although GPR surveys are more expensive than "conventional" (resistivity and magnetometry), they offer a unique possibility for rapid assessment of objects' depth. Georadars may also appeared to be the only devices that can be used in certain more complex conditions, e. g. prospection in modern settlements or within the limits of existing buildings.

Seismic makes use of recording reflected and refracted by the buried structures artificially generated seismic waves. Physical grounds of method are based on the different elastic properties (velocity of propagation and wave resistance) of archaeological features sought and the host medium. Generally, the dimensions of archaeological features are beyond the method resolution. Its application is successful for delineation of big deeply occurring structures like ancient channels and ditches.

Gravimetry is based on the measurement of variances of the earth's acceleration caused by density differences between the buried structures and the host stratum. The measurement process is very slow and data processing includes very sophisticated procedures. Besides, as a rule, gravitational anomalies caused by the archaeological features are so weak that they are at the limits even of the most advanced laser gravimeters. The last, in turn, are much more expensive than the most costly of the other geophysical devices used in archaeology. Although, the application of gravimetry in archaeology is limited, it can be performed in certain favourable conditions like exploration of subsurface caverns and other big voids.

Geothermal method makes use of measurements of earth's surface temperature changes caused by buried features owning temperature capacity and conductivity different from those of the host environment. The method is still in the stage of development and assessment of efficiency in the field of archaeology.

Radiometry is based on the registration of anomalies of the natural radioactivity aroused by archaeological structures. The published examples, allowing an evaluation of its potential, are extremely scanty and are mainly on the study of the natural gamma emission of the isotopes of potassium (K), uranium (U) and thorium (Th).

Magnetometry and **electroresistivity** are the most widely applied geophysical techniques in archaeological prospection. Accuracy of devices used, methodology of field measurement performance as well as the software for data processing are on a level allowing the requirements of the archaeologist for fast and cheap mapping of various archaeological sites with shallow buries structures (within the first meter beneath the surface) to be easily realized. In return, applying continuous vertical electric sounding (NVES) and two and three dimensional inverse modelling also known as 2D and 3D electrical resistivity tomog-

raphy (ERT), information for structures occurring at much greater depth can be obtained.

The principal devices of geomagnetic survey are the fluxgate and optically pumped (alkali-vapour) gradiometers. Gradiometric configuration provides simultaneous rejection of diurnal variations of earth's magnetic field and regional background of deeper geological deposits thus registering only the changes aroused by the archaeological structures. The application of magnetometers measuring the total vector of magnetic earth's magnetic field intensity like proton or optically pumped magnetometers with a single sensor has been reduced to ciphers. As a rule, optically pumped magnetometers have higher accuracy than fluxgate. In practice, however, under common conditions, the difference of these two types of instruments in their ability to register any archaeological structure is infinitesimal. The higher precision of optically pumped magnetometers is reduced by the natural noise aroused by the upper soil composition itself.

Geomagnetic measurements reported in this study were performed with a fluxgate gradiometer Grad 601-1 of Bartington Instruments, UK. Depending on selected range, Grad601 effective resolution varies from 0.03 to 0.1 nT.

Measurement grid is rectangular referencing cardinal directions (as the general orientation of archaeological square grid is). Usually, measurements along the traverses are performed in zig-zag pattern allowing the most rapid area coverage. The most suitable sample density varies from 1x0.25 to 0.5x0.125 m.

The post-processing of geomagnetic survey's data is essential and it is necessitated for the elimination of the interfering influence of several agents like operator's errors, instrumental drift, etc. Thus the quality of initial data can be improved and the possibility of missing weak magnetic anomalies, as actually are those caused by archaeological features, to be minimized. This post-processing usually makes use of specialized programs like DW Consulting ArcheoSurveyor (now TerraSurveyor) or Geoscan Research Geoplot. In both programs the main procedures available like Clip, DeSpike, Low Pass Filter, DeStagger, DeStripe, etc., are very similar.

The degree of resistivity survey's application is somewhat limited by the need of galvanic contact between probes and earth's surface reducing the speed at which it can be done. In mapping, pole-pole (known also as twin-probe) array is the principal electrode arrangement where one pair current-potential electrodes is placed in a fixed place arbitrarily at infinity while the other pair is mobile and, actually, the measurements are carried out by moving it. The common distance between the mobile probes is 1 or 0.5 m, as survey density varies from 1x1 to 0.5x0.5 m. The depth of investigation is within the first meter beneath the surface. The attempt to increase the depth by means of enlarging separation between the mobile electrodes leads to the decrease of the horizontal resolution. That is why, seeking greater depth of investigation, especially carrying out measurements by CVES, it is relevant other conventional electrode arrays to be utilized – dipole-dipole, pole-dipole (half Schlumberger), Schlumberger or Wenner. CVES measurements along traverses are performed with gradually extending electrode separation thus respectively increasing the depth of current penetration. The data obtained are processed with so called inverse programs which as a result give section of vertical distribution of true electrical resistivity. Combining several parallel traverses with measurements by CVES mode, the result from the inverse processing will be a tree dimensional model of resistivity distribution in depth.

Electroresistivity surveys, reported in the present study, were performed with resistivimeter 4-Point Light hp of LGM-Lippmann, Germany. It measures straight the apparent electrical resistivity. It works with low frequency square impulses at which the simultane-

ous polarization of electrodes is rejected and industrial noise is filtered. It is designed to work in both mapping and CVES modes and supports all general electrode arrays. In order these options of device to be completely exploited, it was supplied with the appropriate equipment: a lightweight and rigid frames for mobile electrodes with separation of 0.5 and 1 m for work with twin-probe array in mapping mode, as well as multicore cables with length of 34 and 68 m and distance between electrode respectively 1 and 2 m and automatic switchers for work in CVES mode. The results from the last were processed with Geotomo Software Res2dInv and Res3dInv inverse programs.

III. Geophysical survey of settlement sites.

The aim of the exposition in this chapter is to illustrate with examples of the potential of geomagnetic and resistivity mapping and 2D and 3D ERT applied separately or in complex for prospection of different as type and chronology archaeological sites and simultaneously to demonstrate the level reached by this kind of survey in the country. Prevailed part of the sites was subsequently studied by archaeological excavations that allowed the geophysical results to be compared with those from the excavations.

The multilayered site of the Late Neolithic Age and first millennium B.C. at **Halka Bunar** locality at the village of Gorno Belevo is perhaps the most wholly surveyed, from geophysical point of view, site in Bulgaria until now, where the above mentioned complex of methods was applied in full extent. By the 2D resistivity inverse modelling the depth of the bedrock occurrence and, respectively, the thickness of the cultural layer were determined. Magnetic gradiometry outlined various structures – destroyed by fire dwellings of the Late Neolithic and Hellenistic Ages, pottery kilns and pits (fig. 1). Resistivity mapping with pole-pole, dipole-dipole and Schlumberger arrays, regardless some good results, appeared not quite suitable for prospection of such type of sites. The prevailing part of the features detected by magnetic gradiometry is “invisible” for the resistivity. It was established, that chronological determination of dwellings according to the magnitude of the measured magnetic gradient, at least at this stage, is impossible. Similarly, the attempt to differentiate kilns from pits on the base of magnetic anomaly dimensions and intensity did not give results good enough, too. Generally, the kilns give stronger anomaly (fig. 2). In fact, the magnitude of the measured anomalies depends on the dimensions and sort of pits filling, on one hand, and the degree of preservation of the kilns themselves, on the other. Therefore, it is risky certain anomalies to be firmly attributed to kilns or to pits. The last very important result was that on the base of geomagnetic mapping the boundaries of the site were outlined.

Very good illustration of the possibilities of magnetic gradiometry in prospection of negative contexts are the pits complexes and ditches discovered at the villages of **Sarnevo** (on the construction of highway “Thrace”) and Yabalkovo (highway “Maritsa”). Pits of the Late Neolithic, Late Iron and Roman periods were detected at the site at **Sarnevo**. The anomalies themselves had lower magnitude than those induced by similar pits from Halka Bunar that can be explained mainly by the greater depth from the surface at which Sarnevo pits occurred. The comparison between magnetic anomalies and the excavation results showed that, unlike the Hellenistic pits, great part of the Neolithic were not registered. This can be explained by their smaller dimensions and greater depth from the surface. Late Iron Age pits were much deeper, more compact as dimensions and great part of them contained remains of heating or baked clays, i. e. materials with high magnetic susceptibility and remanent magnetization. In the south sector two, or sooner, three concentric anomalies were

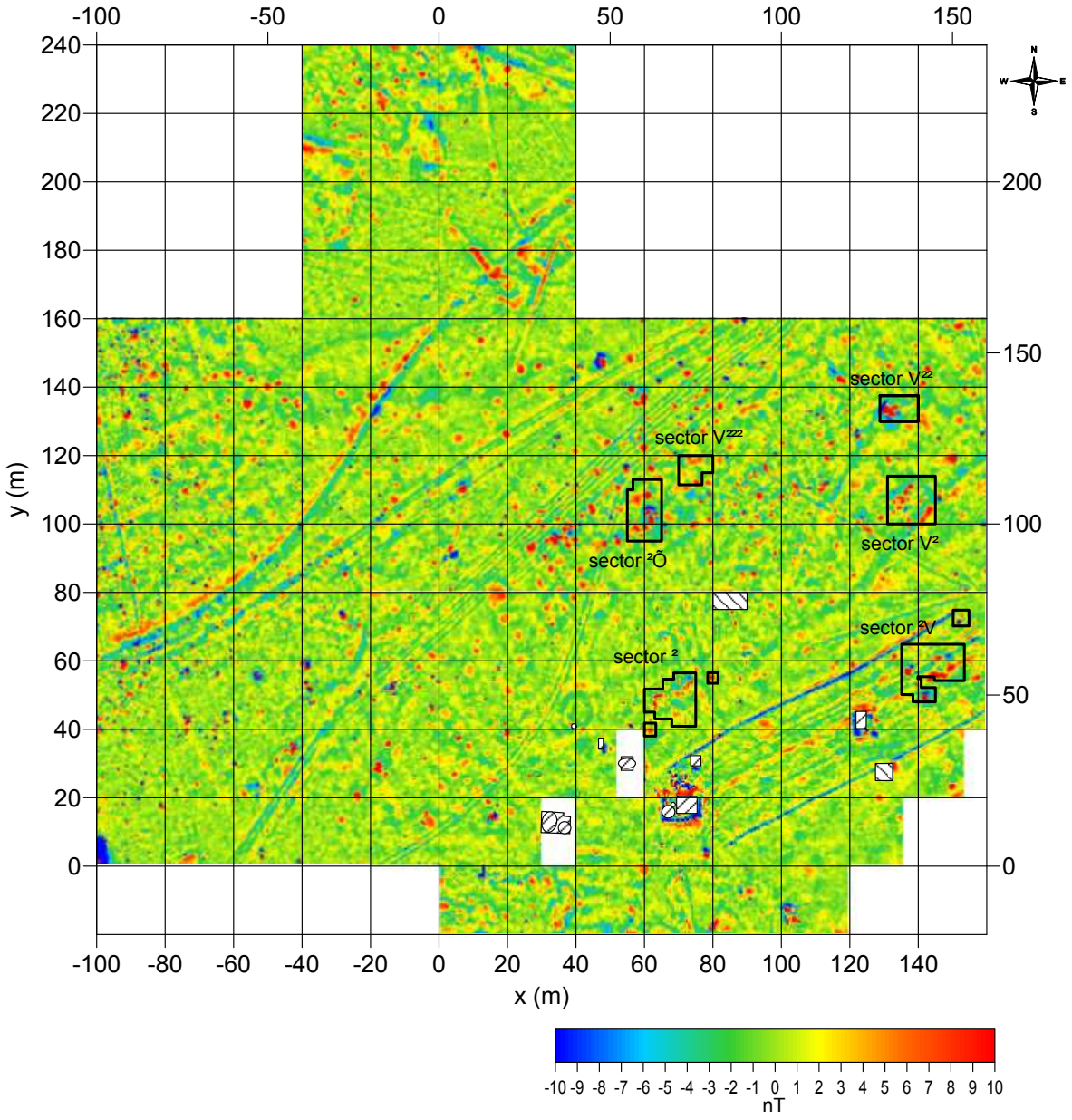


Fig. 1. Halka Bunar. Fluxgate gradiometer survey with positions of archaeological trenches

outlined. They, most likely, were aroused by ditches which obviously occur southward beyond the surveyed sector boundaries.

The geomagnetic survey at **Yabalkovo** detected three concentric enclosing ditches with maximum diameter exceeding 200 m (fig. 3). Magnetic field amplitude aroused by the ditches, like those from Sarnevo, was within the limits of 5-6 nT. For the first time in the world applying 2D ERT ditches dimensions (width, depth and distance from the surface) were determined (fig. 4). The inner ditch is most clearly outlined. Its upper width is around 2 m, as is its depth. The outer ditch is faintly outlined. Obviously, it is with smaller dimensions and the filling soil differs slightly, in terms of electrical properties, from the deposits it is dig into. The horizontal distance between the inner and the outer ditches is about 15, what it is by the magnetic mapping. The middle ditch can not be detected, at all. Probably, it does not exist in the zone of the resistivity traverse or, most likely, its filling has resistivity

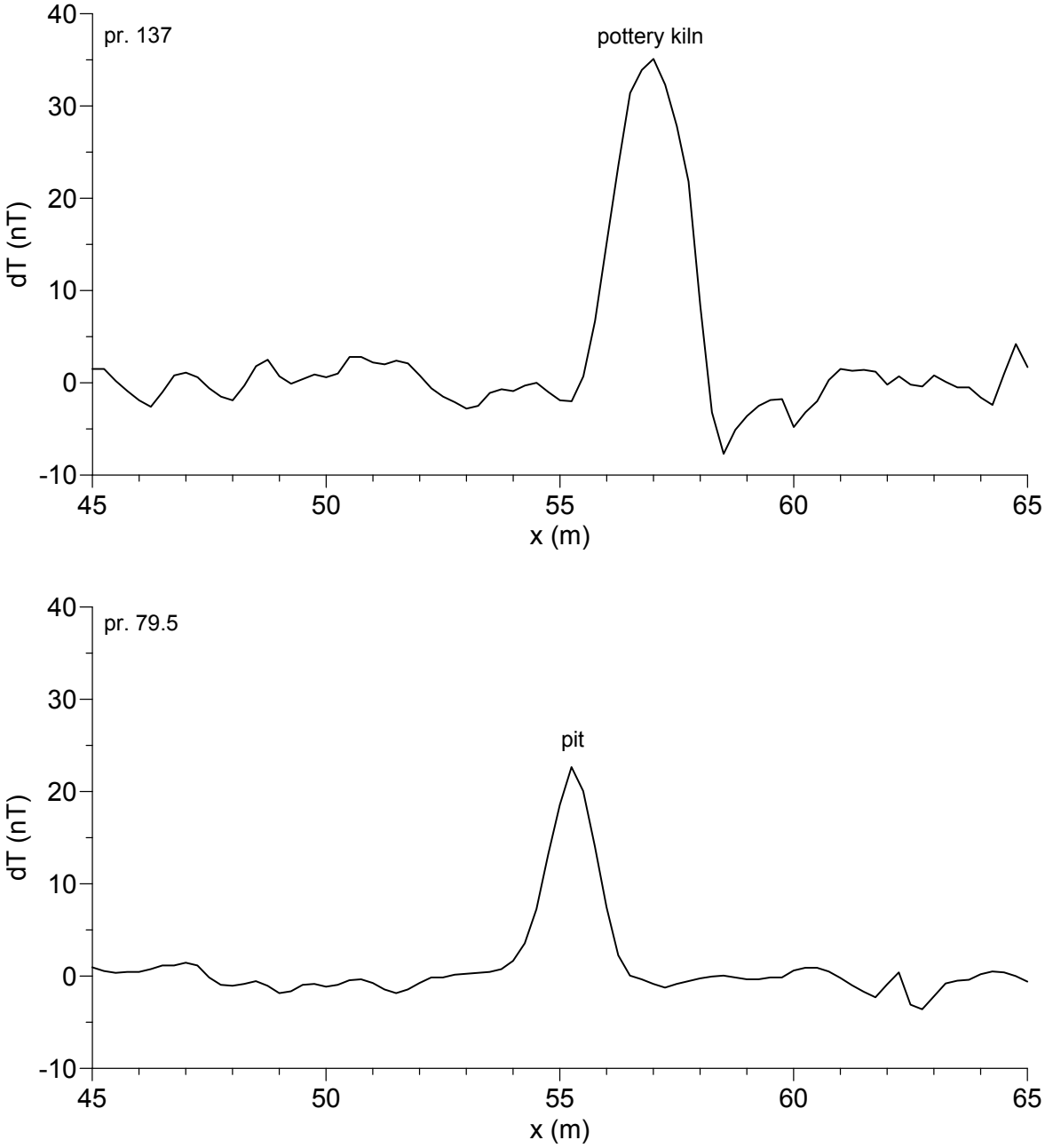


Fig. 2. Halka Bunar. Magnetic curves above a pottery kiln and a cult pit

equal to that of the host deposits.

Magnetic mapping of the site at the village of **Gorsko Ablanovo** detected a set of linear low-value negative anomalies which, in fact, outlined the configuration of a big building complex with dimensions around 55 by 60 meters. This low values are to be explained with the little contrast between magnetic susceptibility of the alluvial deposits and the building material itself – limestone with susceptibility around zero. Nevertheless, these results show that magnetic gradiometry can be successfully applied in such unfavourable conditions, as well. The kiln for tiles used in the buildings was registered with very high positive anomaly (above 200 nT) about 25 meters south-east of the complex.

As a result of the geomagnetic mapping of the site at the village of **Skobelevo** (highway "Thrace") a big civil building with dimensions around 20 by 30 m with several premis-

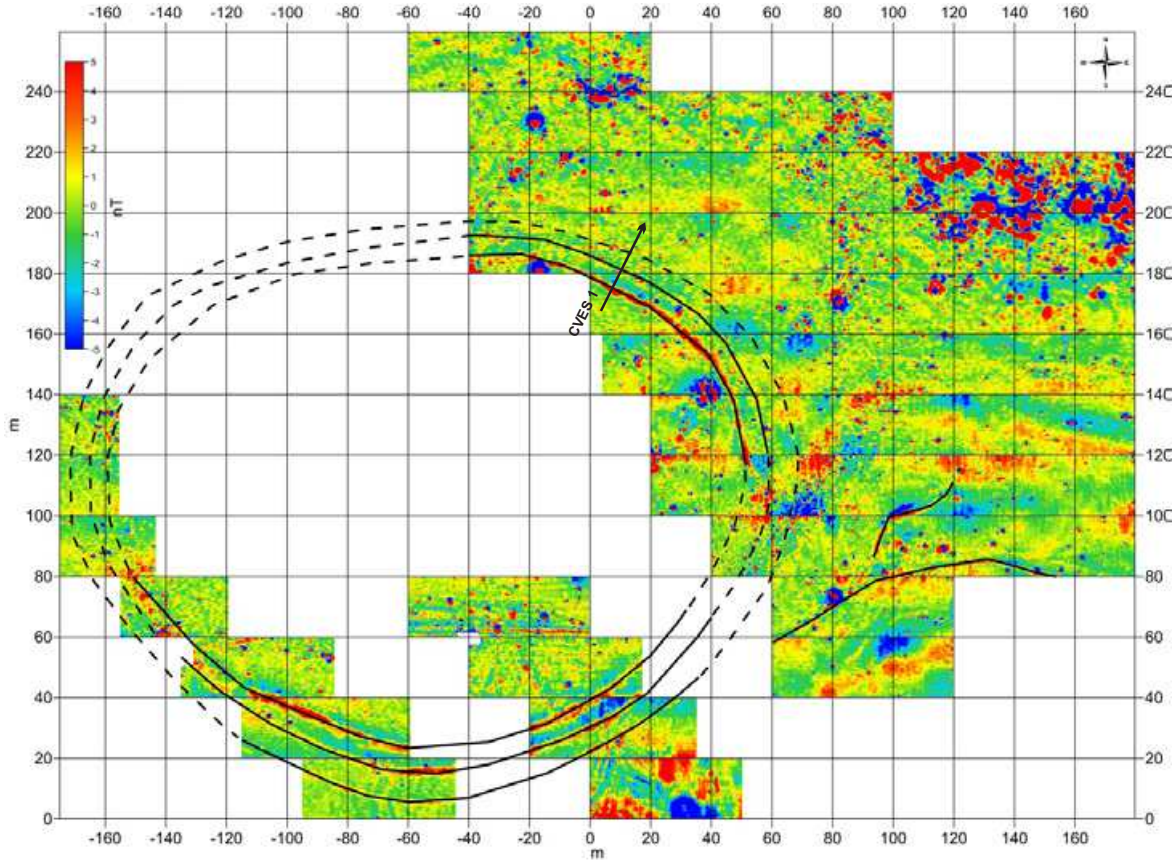


Fig. 3. Yabalkovo. Fluxgate gradiometer data

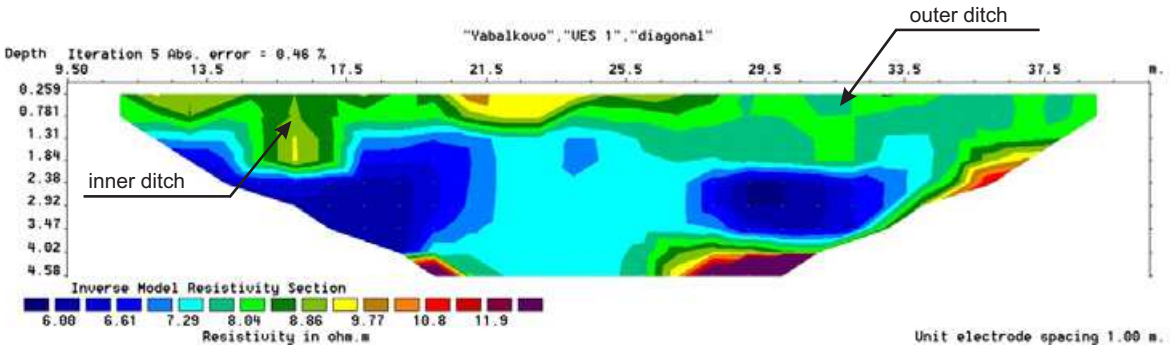


Fig. 4. Yabalkovo. 2D ERT profile above the enclosing ditches

es and an inner courtyard was registered within the boundaries of the future highway (figs. 5, 6). Magnetic anomalies caused by the walls reached 25-30 and more nT. All together, the archaeological excavation revealed that these walls, built of small crushed stones, were preserved only 10-20 cm in height. Obviously, the rock material posses very strong magnetic properties (susceptibility and remanent magnetization) and probably come from the Upper Cretaceous andesites and other volcanites occurring in the region. The additional geomagnetic mapping of more than 10 hectares showed that archaeological features similar to the already unearthed existed all around (both South and far to the North) beyond the line of the highway. This fact allowed archaeologist to interpret the site under study as a rural agglomeration (*kome*, *vicus*).

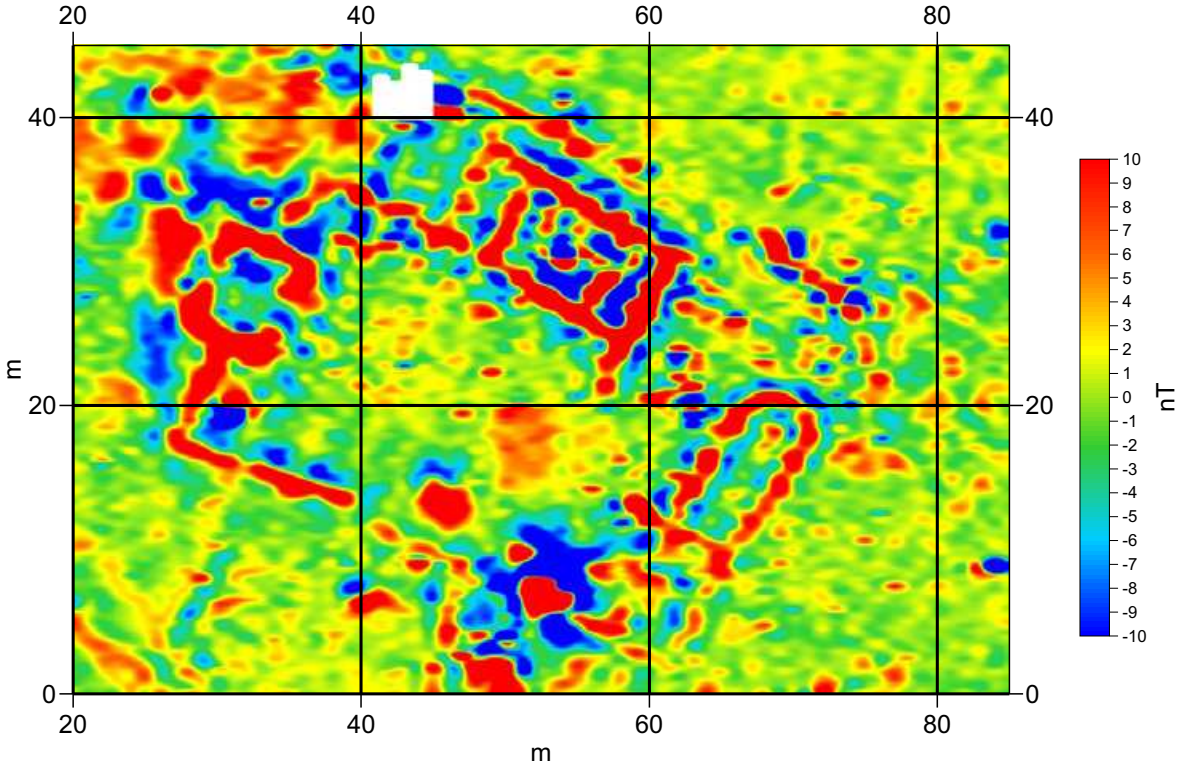
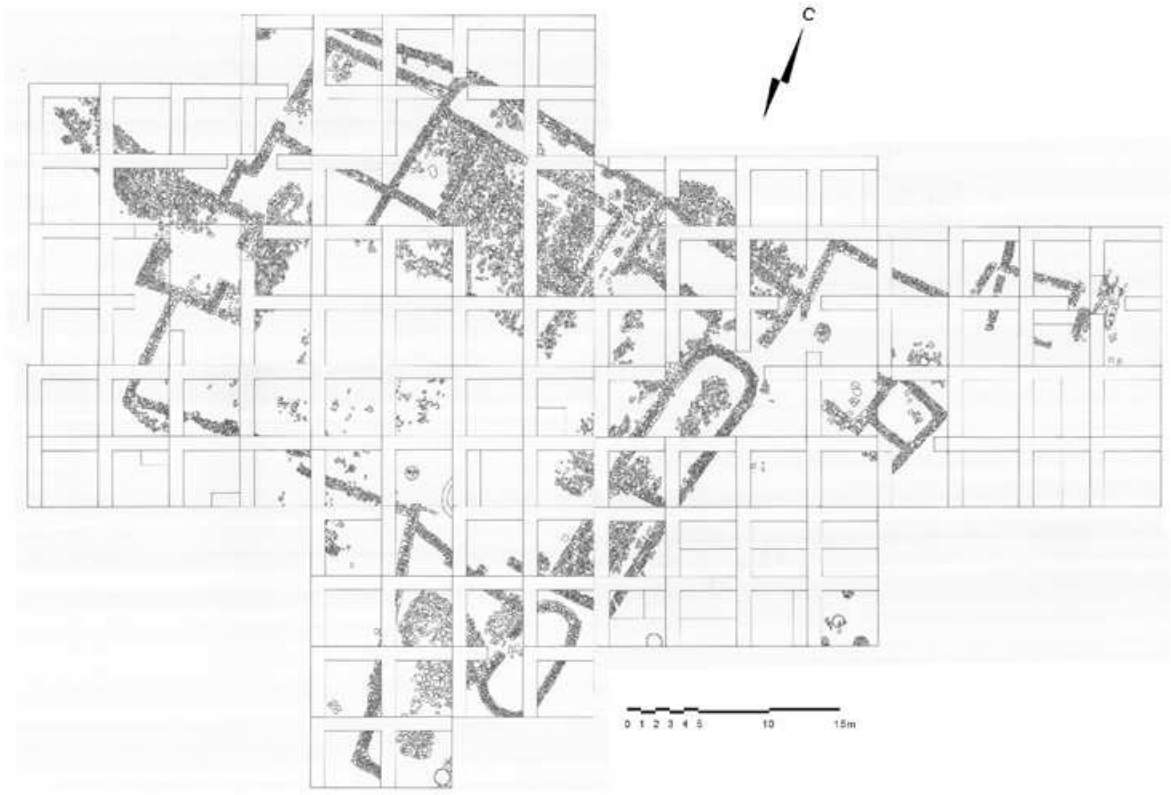


Fig. 5. Skobelevo. Magnetic map within the boundaries of the highway construction

Fig. 6. Skobelevo. Plan of the archaeological excavations' results



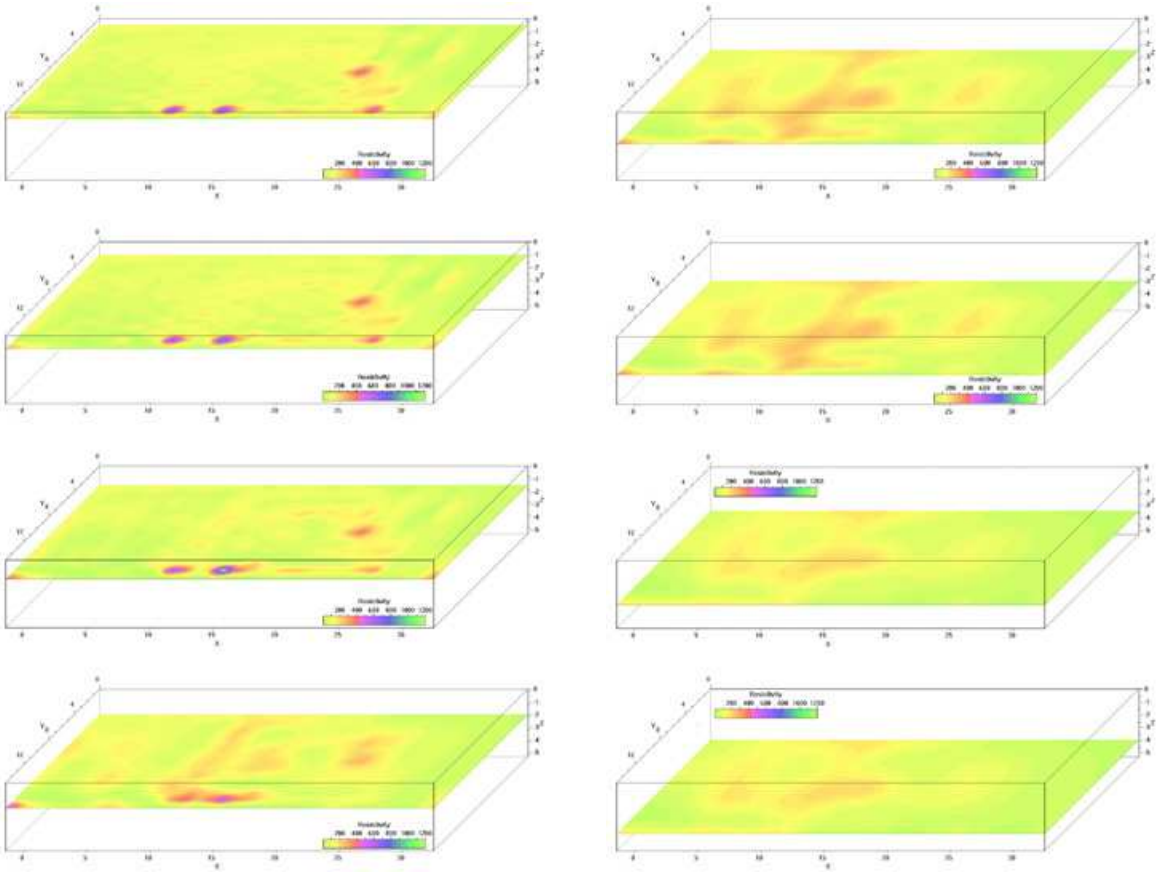


Fig. 7. Banica. Horizontal slices from the 3D ERT data

An excellent example for the benefits combining resistivity mapping with 2D inverse modelling were the survey of the sanctuary of nymphs at the village of **Kasnakovo**. The walls of a building complex were outlined by means of the mapping with a pole-pole array. By the several traverses measured with CVES mode it was determined that the walls were wide around 70 cm and were preserved up to 1.5-2 m in depth. Although, geophysical survey were not followed by excavations, it led to the discovery of the so called "theatre" and the development of a general plan of the architectural complex.

The surveys at the village of **Banica** in the FYR Macedonia are amongst the few examples in the world of the application of 3D ERT for prospection of archaeological sites. An area of about 500 sq. m was covered with 1 by 1 m density mesh of measurements with ten or more different electrode arrangements of Schlumberger array. As a result of the 3D inverse modelling of the measurements archaeological remains located between 2 and 3.5 m bellow the surface were discovered, most probably belonging to a Roman villa (fig. 7).

The last part of this chapter contains a brief summary of the performed surveys, along with the conclusions drawn and some recommendations.

Magnetic gradiometry offers rapid and efficient survey of various archaeological sites. It register wide range of structures both positive (either stone or earthen) and negative as well as of course those subjected to heating. According to the sample density and the type of device one fluxgate gradiometer can cover from 0.4-0.5 to 1-2 and more ha a day. The data processing itself is already completely routine. Thus the measurements transfer,

computer procedures and the final presentation of results take minimum time, of order of several hours.

Although less rapid as a measuring process, resistivity can be successfully performed for mapping of smaller areas as well as in case of unfavourable for geomagnetic survey conditions. According to the sample density, the widely used twin-probe array may provide mapping from 0.1 to 0.3-0.4 ha a day. The application of 2D and 3D ERT gives new prospects for resistivity survey when greater depth of investigation is required.

Geomagnetic surveys of several completely different as character and data archaeological sites gave excellent confirmation of a fact ever more archaeologists have been convinced – the need of geophysical investigation of largest possible lands including those unlikely to would be subjected to excavations in the foreseeable future. Perhaps, this fully applies to the rescue excavations especially those along future highways. In this case, archaeological excavations are limited to a narrow strip around 40-50 meters wide. Obviously, this is a circumstance not allowing an adequate interpretation of the recorded archaeological situations. That is why, it is reasonable and recommendable that at such sites the geophysical survey must be expanded on largest possible space beyond the servitude. Thus, the structures revealed by the archaeological excavations will be set within their natural spatial context. Often, such wide-range survey has been impeded by completely ordinary circumstances – agricultural crops or deep ploughing. This may dictate the targeted areas to be surveyed in several campaigns when the earth's surface is best suited. In this case, the single sections may not be framed in a common rectangular grid. Surveys can be performed on local grids orientated for maximum area coverage, which are precisely enough referenced to one of the world coordinate systems.

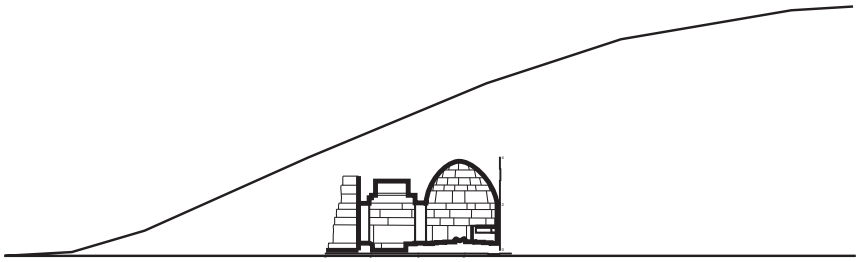
Recently, a convention has been established, the ploughed topsoil layer to be removed by heavy machines before the archaeological excavations, even before the trial trenches. Very often this has been done without preliminary geomagnetic mapping, too. Thus, there is a risk the shallow archaeological features to be damaged. That is why, it is reasonable such crude intervention to be undertaken only after the terrain had been geophysically studied and the existence or absence of archaeological structures had been ascertained. The initial geomagnetic survey can be doubled by a new one, after the top soil had been removed. Thus, the interfering influence of modern iron objects will be avoided and smaller and deeper archaeological structures will be outlined. This procedure will not delay survey or make it more expensive because geomagnetic mapping of 1 ha, according to the sample density, will take several hours.

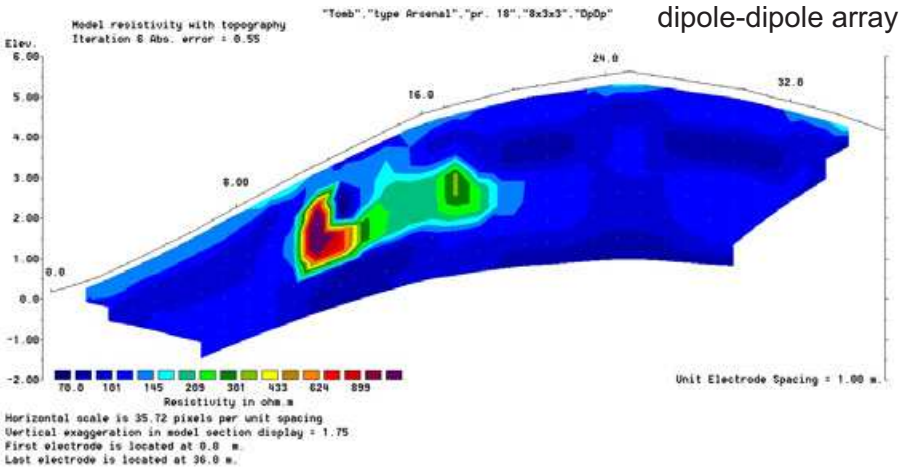
IV. Optimization of technique for prospection of burial mounds.

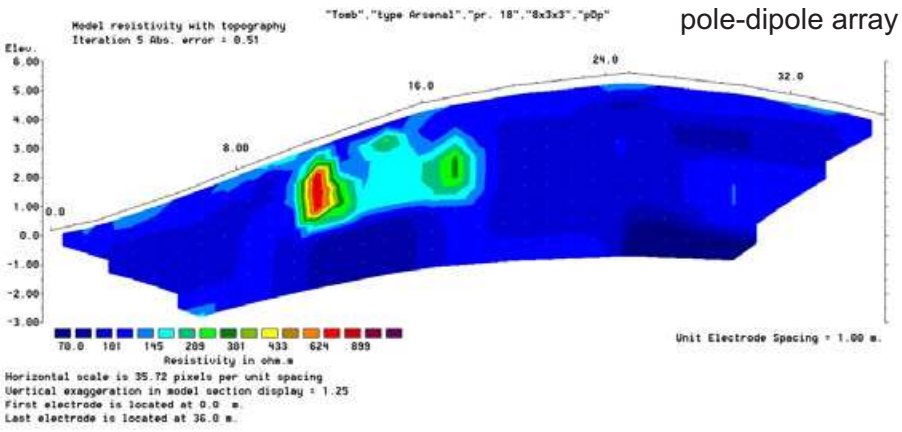
A separate goal and one of the most important results of the present study is the development of an optimized technique for tumulus prospection.

Burial mounds are spread over vast territories. They occur in almost all of Europe starting from Scandinavian Peninsula, England, West and Central Europe, Apennine and Balkan peninsulas and reaching South Russia. Eastward they continue from Asia Minor trough Kazakhstan and Siberia to China and Japan. Tumuli occur even in South and North Amerika.

In the general studies on the archaeological geophysics burial mounds are not present as a potential target of exploration. Nevertheless, they are so wide spread, published examples of the application of geophysical techniques in tumulus prospection coming from abroad are scanty. More over, there is not a universal method offered for investigation







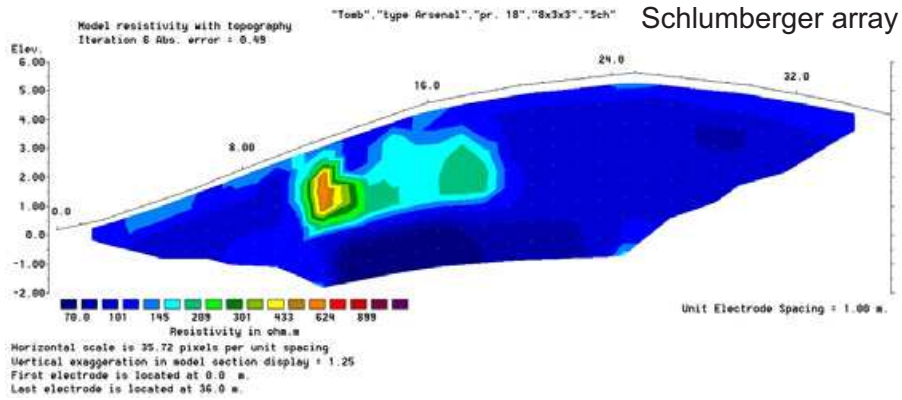


Fig. 8. Model calculations. 2D ERT traverses across the centre of the model of a real tomb

of similar archaeological sites. Resistivity, geomagnetic, seismic, electromagnetic and georadar investigations have been carried out with variable success. Surveyors have applied the devices at their disposal or techniques they have decided to be more appropriate for the proper conditions for solving the specific tasks set. And this is completely normal. Although, all surveyed tumuli were burial, obviously different cultures in different regions have their own burial rites and consequently, different grave constructions. Often, reported surveys have not been followed by archaeological excavations and thus it can not be assessed to what extent they have been really successful.

The amount of geophysically surveyed burial mounds in Bulgaria is relatively large. This is, perhaps, quite natural as they are amongst the most numerous and attractive monument remained from the ancient times on this lands. Already in the early 1960s the first specialists from the Italian foundation "Lerici", which carried out prospection on tumuli in the vicinity of Kazanlak, suggested joint application of electroresistivity and magnetic mapping. They, however, used single but inappropriate electrode arrangement and a low-precision magnetometer. Therefore, their result can not be considered successful. The same applies to the geophysicists from the Sofia Higher Institute of Mining and Geology which surveyed in the early 1970s barrows from Sveshtary necropolis. They, in turn, used too long electrode arrays and obsolete magnetometers along with very low measurement density. Nevertheless that, based on their resistivity data, the tomb in Ginina tumulus was discovered, they did not detect the existing tombs in other mounds surveyed by them and predicted tombs in "empty" mounds. The surveys of tumuli in 1980s increased but they were targeted only on search of big structures – tombs. Besides, only resistivity mapping measurements were carried out with arrays (as electrode arrangements and dimensions) which were not based on strong arguments. Geomagnetic surveys were performed very sporadically and inconsistently. Meanwhile, the examinations with seismic technique of refracted waves applied on few barrows from Sveshtary necropolis appeared unsuccessful.

As it was mentioned above, different ancient cultures had their own funeral rites and hence different grave constructions. Thus, when we speak of development of an optimized technique for tumulus prospection it must be specified that it comes to Thracian ones. Of course, it will be appropriate in all conditions like ours.

In order such a technique to be relevantly grounded, the next part of the study contains a review of the formal characteristics of the Thracian burial mounds as landforms and embankments, as well as of the type of the buried funeral and other constructions which in fact are the targets of the geophysical survey.

The researchers usually describe Thracian mounds by simple geometric shapes: domed, hemispherical, spherical segment, conical, elliptical paraboloid. In fact, tumuli have very characteristic shape which can hardly be described so easy. Usually, the transition between the surrounding terrain and the tumulus embankment is smooth. Following are the evenly rising slopes and, finally, rounded top (summit). Meanwhile, tumuli are extremely different in size – from barely visible on the ground to those exceeding height of 15 m and diameter of 120 m. The embankments were erected both at once and for a long time by accumulating alternating thinner or relatively thicker layers of different earth. That is why, considering embankments from geophysical point of view we can reckon them as homogeneous. Every intensive local variation of embankment physical characteristics can be an indicator for existence of archaeological structures. From the empirical data gathered from the survey of tumuli of the last years it is visible that the embankments from the mountains and foothills are with much higher electrical resistivities than those from the plains. In al-

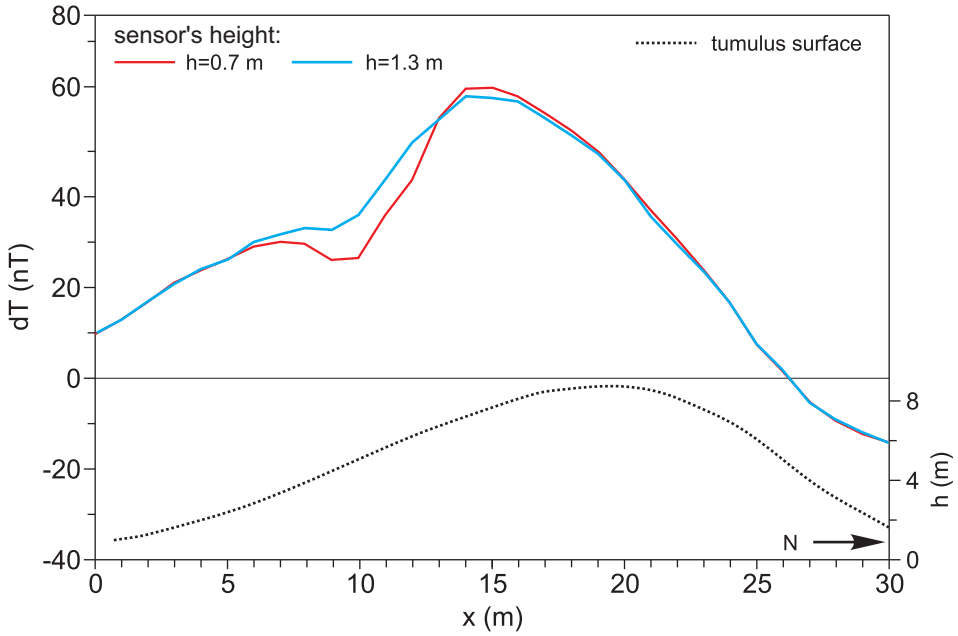


Fig. 9. Sveshtary, tumulus 16. Magnetic field curves along a traverse across the centre of the tumulus

most all of them, however, a superficial layer between several tens of centimetres and 1-1.5 m thick, with higher (sometimes, several times) resistivities from the rest of the embankment is distinguished. This phenomenon is of great importance, because just this layer is the medium the electrodes contact with, and the favourable galvanic coupling is vital for the correct resistivity measurements.

Thracian burial practice is presented by two main rituals – inhumation and cremation, both used simultaneously during the whole period in which tumuli were built, i. e. from the Early Bronze Age to the 4th century A.D. The main grave constructions are five types: platform, pit, build grave, sarcophagus and tomb. Apart from above listed, there are other construction occurring in the tumuli – remnants of rituals performed simultaneously or after the funeral: pyres, pits, etc. Constructive-protective and perhaps connected to the ritual are the stone fences (crepises) around some mounds.

The aim of the exposition in the last part of the chapter IV is the argumentation of a general technique combining the potential of the widely used in archaeology and most affordable as equipment and available software– electroresistivity and geomagnetic, for obtaining the fullest possible information about what is buried beneath the embankments of the Thracian mounds. It must include both the routinely applied resistivity and magnetic mapping and the last innovations in the field of archaeological geophysics – 2D and 3D ERT. Certainly, the primary task is successful detection of the most attractive objects – tombs and built graves. The information about their presence or absence is vital not only from archaeological point of view (very often these are remarkable architectural monuments containing occasionally very rich funeral offerings) but also for the common need of subsequent conservation and restoration both consuming significant resources. At the same time, this technique must allow obtaining data for the existence of other various archaeological structures occurring in the Thracian tumuli. Last but not least, it must supply information about the characteristics of the embankment which may indirectly indicate existence of funeral or other features. Thus, the archaeologists will be able to plan the excavations in advance

and to perform them in the most efficient and methodologically correct manner. Speed and, respectively, the cost of survey as field measurements and computer processing is also of great importance. The technique must be efficient. Maximum useful and reliable information have to be obtained for minimum time and resources. Since burial mound are amongst the most commonly studied sites in Bulgaria, the archaeologists usually require from geophysical survey rapid and correct results but not experiments with exotic techniques with vague possibilities. The task complexity is determined by the tremendous variety of the funeral constructions, as shape and size, discovered in tumuli, on one hand, and the variety of the mounds' dimensions, on the other.

The need of possibly greatest depth of investigation predetermines the leading role of resistivity survey. The potential of the different as type and dimensions electrode configurations in detection of the most common and attractive monuments discovered in Thracian tumuli – toms and built graves, is estimated by means of both forward and inverse model calculations. These constructions are described as regular geometric bodies with preset dimensions, resistivities and depths. As a result, those arrays as configuration and dimensions which would give the best response in the proper conditions have to be distinguished. The calculations were performed by Geotomo Software's Res2dmod, Res3dmod, Res2dinv and Res3dinv computer programs. The models are following:

– tomb model. Regular rectangular prism with dimensions: length 5 m, width 3 m and height 3 m; depth from the surface from 1 to 5 m.

– model of a real tomb. It is modelled after the tomb discovered in Big Arsenalka mound of Shipka necropolis, i. e. façade, antechamber and domed chamber with a total length of 8 m.

– model of a built grave not filled with earth. Regular rectangular prism with dimensions: length 3 m, width 2 m and height 1.5 m; depth from 1 to 5 m.

– model of a cyst grave filled with earth Dimensions: length 2.25 m, width 1.25 m and height 0.5 m; stone plates width 8 cm.

According to the forward modelling, it was determined that for almost all models dipole-dipole array showed best results, followed by pole-dipole (half Schlumberger) and Schlumberger, pole-pole and Wenner being the worst (fig. 8). Model calculations showed also that the probability certain archaeological feature similar to the above described to be detected at depth exceeding its vertical dimensions is slim. At that, it is not necessary to use long electrode separations, e. g. with geometric factor n greater than 6-7 (at a=1 m) and these have to be preferred for mapping mode. The same conclusions can be drawn by the results of the inverse modelling of forward calculations. Of course, the measurements with CVES technique must be performed with the greatest possible electrode separation so maximum depth of investigation to be achieved. The choice of appropriate electrode array depends on other circumstances, as well: the electrode coupling conditions, measurement error, use of remote electrode(s), etc., which in turn give some advantages to Schlumberger array over dipole-dipole and pole-dipole.

Survey grid has to be conformed to the size of the mounds. Rectangular grid is appropriate for tumuli with heights up to 2-2.5 m and diameter up to 30-35 m. Simple calculations show that in this case the maximum grid deformation by the tumulus relief does not exceed 30-40 cm. For the greater barrows radial grid is more suitable because it corresponds to their characteristic axial symmetry. Traverse density must be that providing sufficiently detail study of all parts of the mound. Circular profiles have certain disadvantages: elec-

trode array distortion (at that, irregular), impossibility to perform CVES, more complicated recalculation of measurement points position from polar into orthogonal coordinates as well as the slower manner of the measurement process. Therefore the use of circular grid may not be considered advisable.

Author's results from the initial proton magnetometer surveys of mounds from Sveshtary necropolis showed that these method played secondary role. At that, magnetic fields of the tumuli themselves as relief forms can significantly influence measurements and these have to be corrected in order the anomalies of the archaeological features to be extracted (fig. 9). In this respect, the proposed procedure by polynomial regression is sufficiently simple, efficient and rapid. Application of modern magnetic gradiometers, regardless these are most sensitive to features located within the first meter beneath the surface, provides new prospects for these devices since their ability to detect features subjected to heating in ancient times like graves with cremation on the spot.

V. Geophysical survey of Thracian burial mounds.

This chapter contains results from the survey of 19 burial mounds carried out with minor exceptions between 2007 and 2011, applying the above proposed technique combining resistivity mapping with 2D and 3D ERT and magnetic gradiometry. For each of them the employed techniques, measurement grids, electrode arrays and data processing procedures are comprehensively described. Registered geophysical anomalies are thoroughly analyzed, the character of engendering features is predicted and these prognoses are compared with the archaeological structures discovered by the excavations.

The examples, discussed in the study, clearly demonstrate the efficiency of proposed technique for prospection of Thracian burial mounds. The complex of resistivity mapping, 2D and 3D ERT and magnetic gradiometry give excellent results in revealing a variety of funeral and other features. High resistivity structures like the built graves in Malkata (and a primitive tomb, fig. 10) and Svetitsa tumuli at the town of Shipka, the monumental tombs in Golyama Arsenalka (Shipka) and Momina mound (Bratia Daskalovi, fig. 11), stone heaps (Zareva tumulus at Shipka, Momina mound, fig. 12, tumulus 1 at the village of Granit, fig. 13 , tumulus 2 at the Village of Krushare) and crepises (Atyova tumulus at Shipka, fig. 14, and Chitaskata tumulus at Bratya Daskalovi, fig. 15) were successfully detected by the resistivity mapping. In most cases, applying 2D ERT, the exact dimensions and depths of these structures were determined. Data about general characteristics of the embankments were obtained applying 2D ERT, as well. Low resistivity structures located at great depth were also distinguished by 2D ERT. These are the primary mounds in tumulus 1 at Krushare (fig. 16) and tumuli 1 and 2 at the village of Vetrishte, as well as the diggings in the mound's base (Vetrishte, fig. 17) which may indirectly testify to the existence of grave structures. In the case of Karakochova tumulus at Bratia Daskalovi, it may be supposed that the very intensive negative anomaly in its centre (fig. 18) is produced not only by the primary mound but also by the burial pyre and, respectively, by the sharp rise of medium conductivity due to the high carbon content similarly to the possessing electronic conductivity charcoal, graphite or coal schist, a phenomenon that gives another unexpected practical result. Magnetometry successfully detected features which were beyond the capabilities of electroresistivity – simple grave pits with cremation (tumulus VI at the village of Gorsko Ablanovo, fig. 19, and tumulus 1 at Cabyle, fig. 20). In the case of the tumulus from Gorsko Ablanovo which is only one meter high other two grave pits with cremation dug into its centre were not registered. What means that this is approximately the depth such graves can be detected.

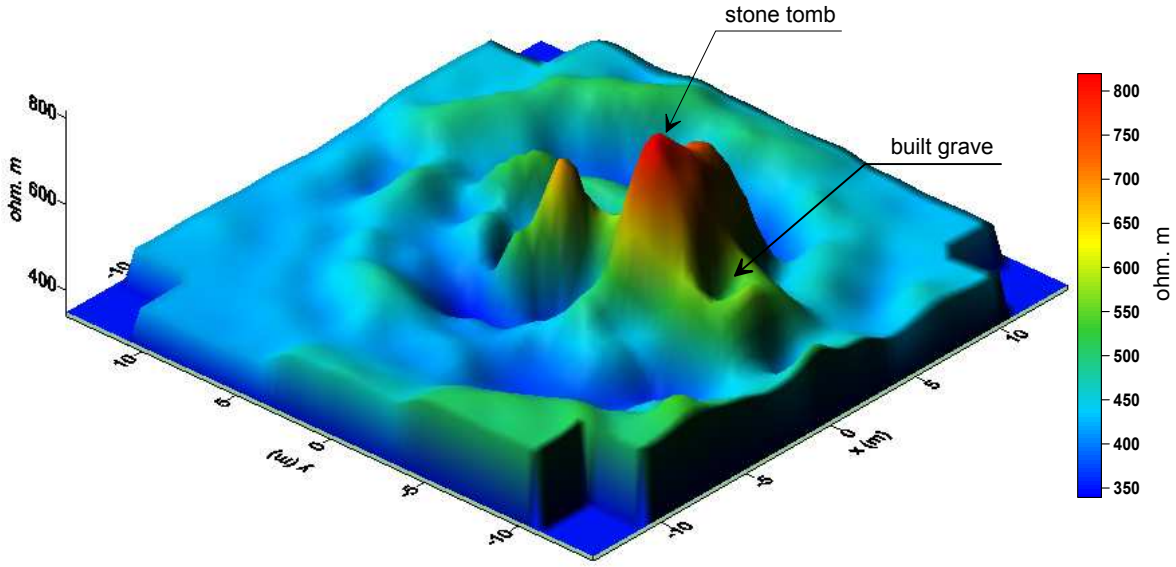


Fig. 10. Shipka, Malkata tumulus. 3D surface plot of resistivity mapping

Besides, magnetic gradiometry did not locate the stone heap, so clearly outlined by the electroresistivity, in the similar in size tumulus 1 from Granit (fig. 21, see also fig. 13). Therefore, magnetometry must not be applied as a single surveying technique.

For the first time in the world, a built stone grave in Svetitsata mound was outlined by the results of 2D ERT, and at that its exact dimensions and depth beneath the surface were determined (fig. 22). Besides, very important data about the manner of tumulus embankment accumulation were obtained. They show that the grave was probably built after a large ditch had been dug into the south section of the already raised tumulus embankment, which was then filled with earth containing a higher content of gravel and boulders.

The survey of the tumulus at the village of Opaka for the first time made use of 3D ERT on burial mound applying dipole-dipole array. As a result of the 3D inverse modelling a hypothesis was done about the existence of a primary tumulus just east of its centre (fig. 23). Such tumulus was really unveiled by the subsequent archaeological excavations. It was erected over two graves with cremations in pits dug into the ground. The performed comparisons showed that in this case 3D ERT gave much better results than 2D (along every single profile) and therefore it has to be always applied in appropriate conditions, i. e. on tumuli 2-3 meters high.

Based on the results of the field surveys as well as from the model calculations, a general conclusion on the proposed technique of tumulus prospection has been drawn in the final part of this chapter.

The need of maximum depth of investigation, as well as the fact that the most attractive features – Thracian tombs and built graves are actually highly resistive bodies, predetermines the leading role of electroresistivity method. The use of several electrode separations allows mapping at different depths. For almost all model calculations dipole-dipole array shows better results, followed by pole-dipole and Schlumberger. That is why in normal conditions it might be preferred. In practice, however, other parameters must be taken into account, e. g. conditions for electrode grounding, measurement error, use of remote electrode(s), etc. In favourable conditions, small earthen embankments with heights

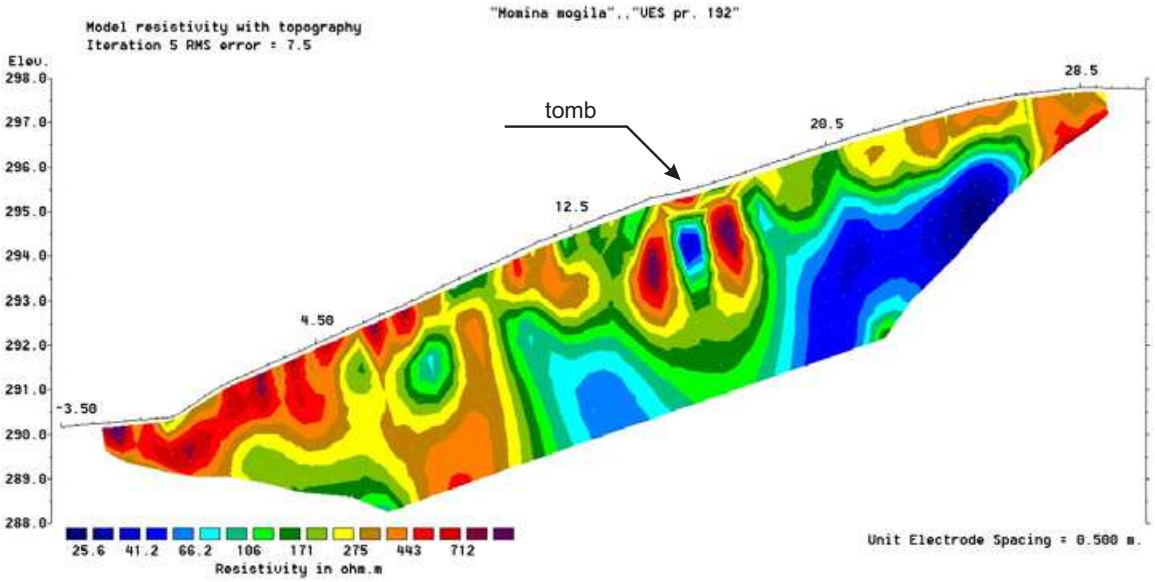


Fig. 11. Momina mound. 2D resistivity inverse model above a stone tomb

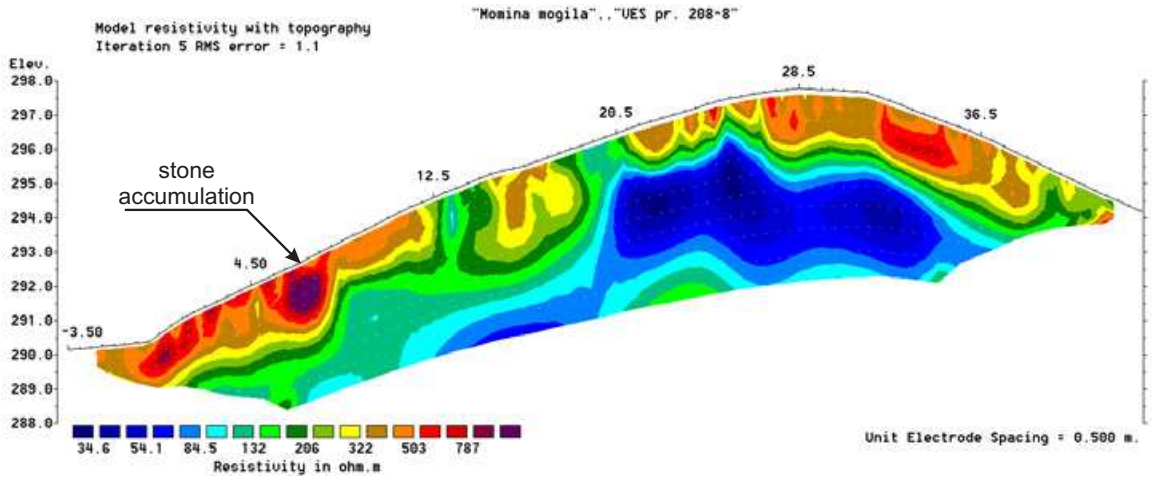


Fig. 12. Momina mound. 2D resistivity inverse model above a stone accumulation

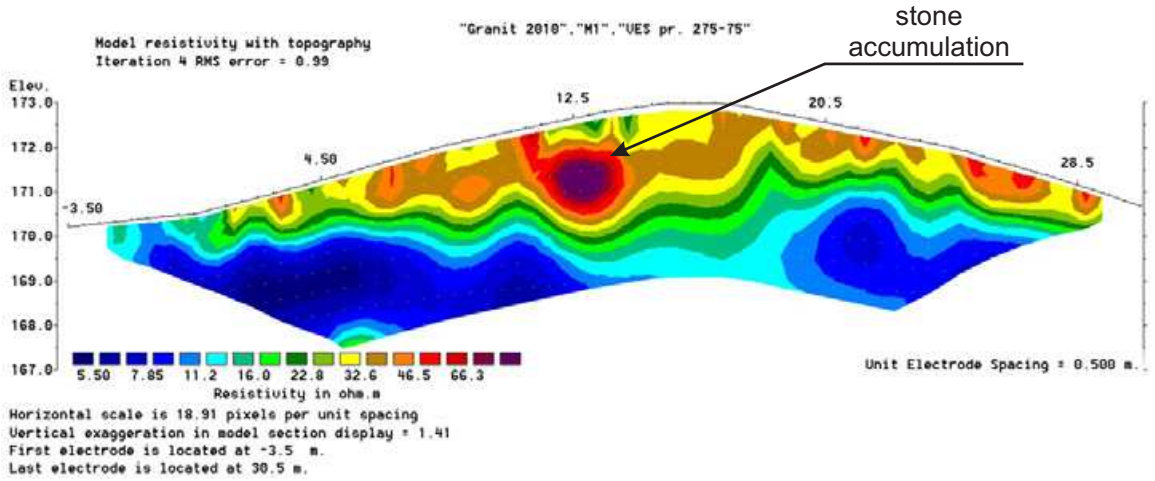


Fig. 13. Granit, tumulus 1. 2D resistivity inverse model above a stone accumulation

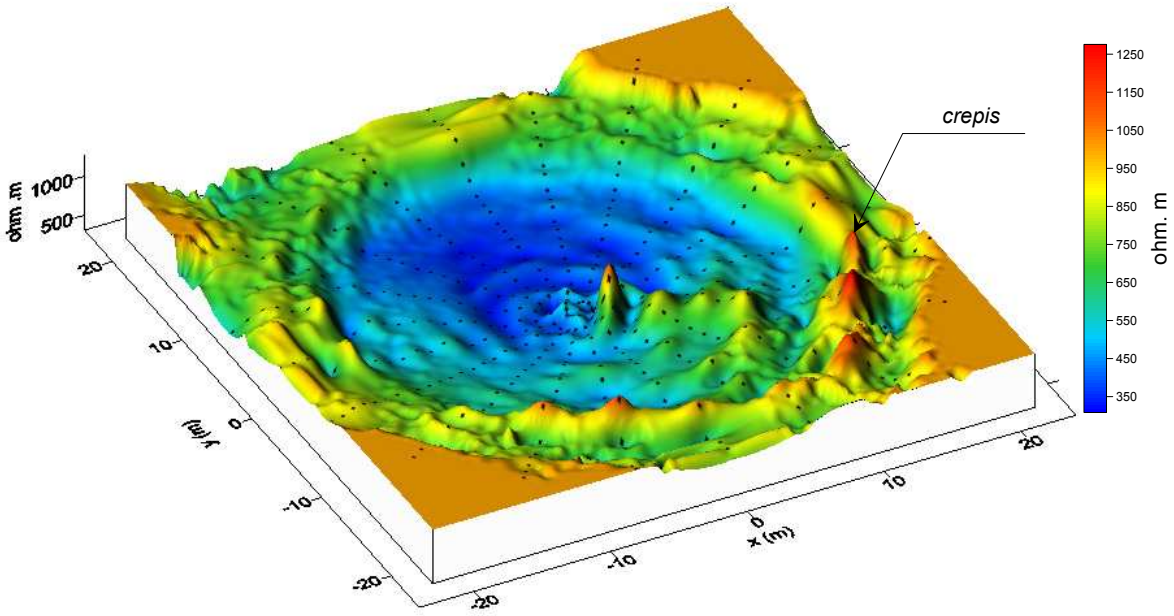


Fig. 14. Shipka, Atyova tumulus. 3D surface plot of resistivity mapping outlining a crepis

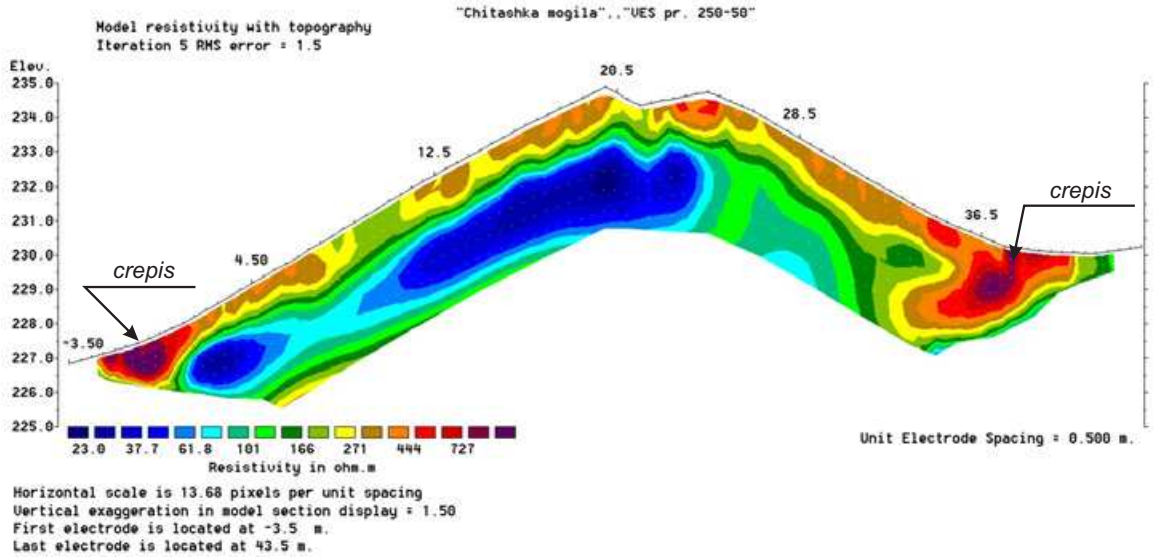


Fig. 15. Chitaskata tumulus. 2D resistivity model detecting the crepis

of 2-3 m can reasonably be measured by dipole-dipole array allowing the most successful detection of vertical features like built and cyst graves. In conditions of bad galvanic contact or existence of superficial inhomogeneities (which often occur in tumuli from mountain and hilly regions, built of rock materials or gravel), significant error can be introduced into dipole-dipole measurements. In such cases pole-dipole or Schlumberger array may be preferred.

The mapping measurements by Schlumberger array are the easiest for qualitative interpretation. In contrast, pole-dipole is asymmetric and gives displacement of resistivity anomalies and dipole-dipole can give double anomalies what can significantly complicate the qualitative interpretation of resistivity data. Often, the application of pole-dipole array

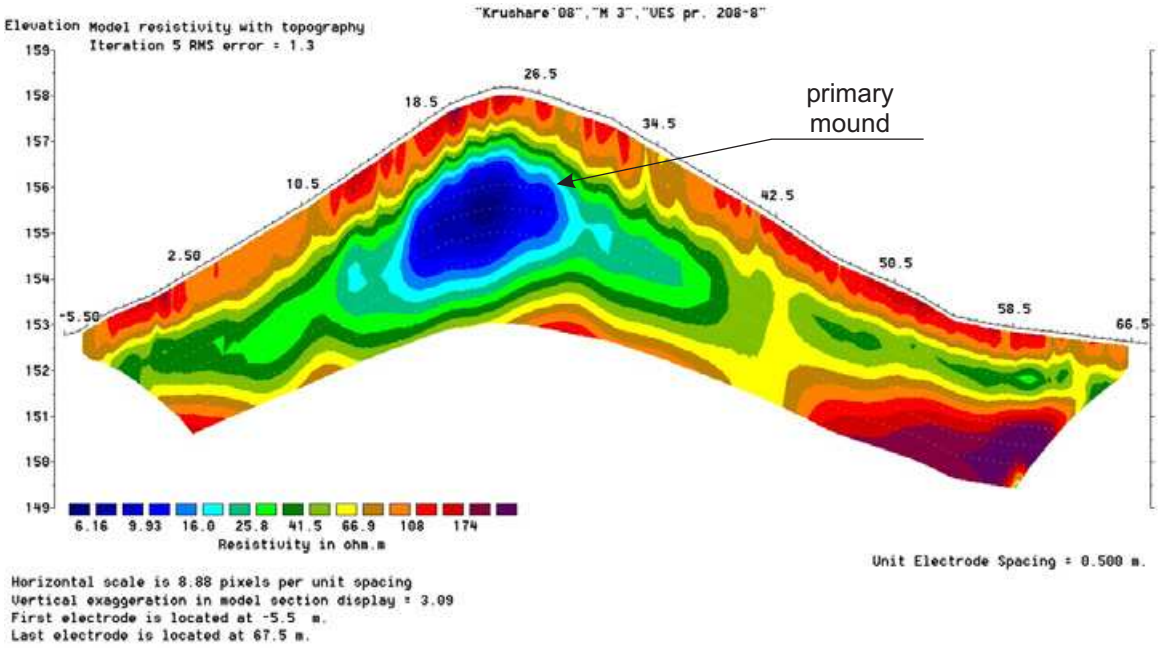


Fig. 16. Krushare, tumulus 1. 2D resistivity model detecting a primary mound

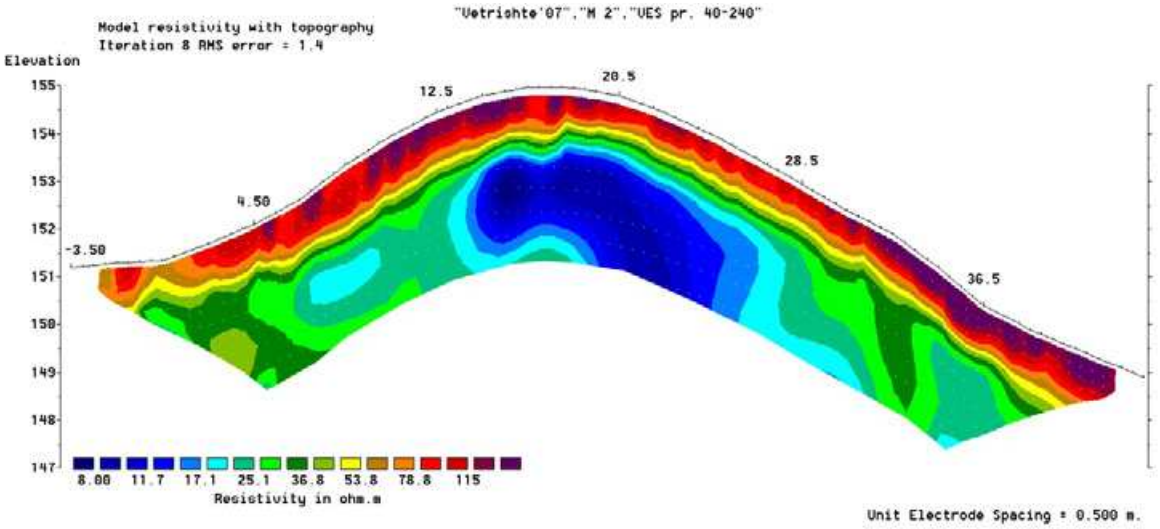


Fig. 17. Vetrishte, tumulus 2. 2D resistivity model detecting a primary mound and a digging in the ground

is limited by the need of remote electrode. So in several cases, Schlumberger array may appear the only alternative. Both from the model calculations and field results is visible that there no need long electrode separations with geometric factor "n" above 6-7 to be used. Usually, "n" from 1 to 6 is enough. Anyway, the possibility an archaeological features to be detected at depth exceeding its dimensions (height) is minimal, so the proposed array lengths are quite enough for prospection of majority of the mounds. Besides, the use of long schemes decreases the area coverage leading to lower speed and, respectively, higher prospection costs. Therefore, for mapping survey, it is better a few electrode separations with "n" equal to 1, 3 or 4 and 5 or 6 to be selected.

The application of CVES and inverse modelling and, respectively, 2D and 3D ERT is

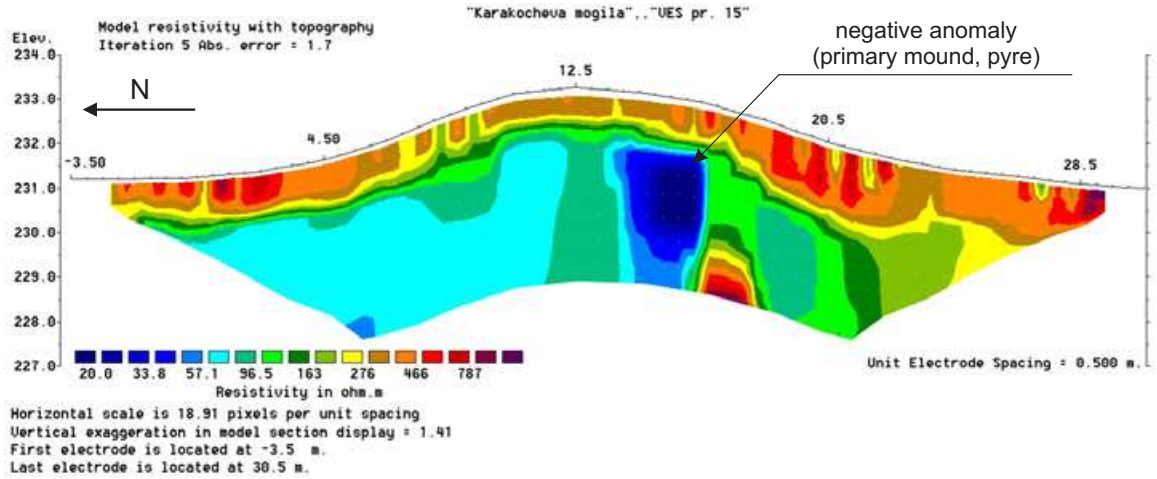


Fig. 18. Krakochova tumulus. 2D resistivity model detecting the primary mound and the burial pyre

a new possibility for more detail study of embankments' characteristics, more precise outlining of detected by the resistivity mapping anomalous features and registration of new ones. Unfortunately, the use of single channel resistivimeters and the so called roll-along technique along the traverses make these measurement less rapid and the complete survey of a given tumulus by this manner may appear unfounded. Besides, radial grid does not allow 3D inverse modelling for the simple fact that the existing software does not support such irregular grid. So, ERT can be performed only with single traverses in 2D mode. In order general data about characteristics of tumulus embankment to be obtained, several traverses through the whole barrow are quite enough. Measurements density along the profiles is the standard one – 1 m. As long as possible electrode separations have to be used in order to maximum depth of investigation is obtained. In this case, pole-dipole and Schlumberger arrays are most appropriate. For the CVES traverses electrode separations with geometric factor 10 and more have to be used supplying providing 4-5 and more meters depth of investigation. For the very big tumuli where greater depth is sought, the distance between the pair closely spaced electrodes can be doubled. The role of inverse modelling is not limited to the study of embankment characteristics. It can give valuable information in determination for the exact location, dimensions and depth of the anomalous bodies registered by the resistivity mapping. The number and orientation of CVES traverses has to be that supplying maximum useful information. At best, these measurements may be performed on rectangular grid with subsequent 3D inverse modelling. As a rule, the tombs are situated in the south or east parts of Thracian mounds. That is why, in case of big tumuli, it is reasonable, additional measurements in their south and east sides along transverse CVES traverses to be carried out. In case of low tumuli with height up to 2-2.5 m and diameter around 30 m, where rectangular grid is used and there is no need of measurements' overlapping, the complete survey by 3D ERT can be quite rapidly performed and therefore it is perfectly applicable.

Geomagnetic survey of burial mounds has somewhat secondary role since modern gradiometers developed for archaeological purposes are most sensitive to structures situated within the limits of the first meter beneath the surface. Nevertheless, these are indispensable for detecting grave pits with cremations, especially in small tumuli, that is beyond the possibilities of electroresistivity. In this respect, if there are preliminary data available

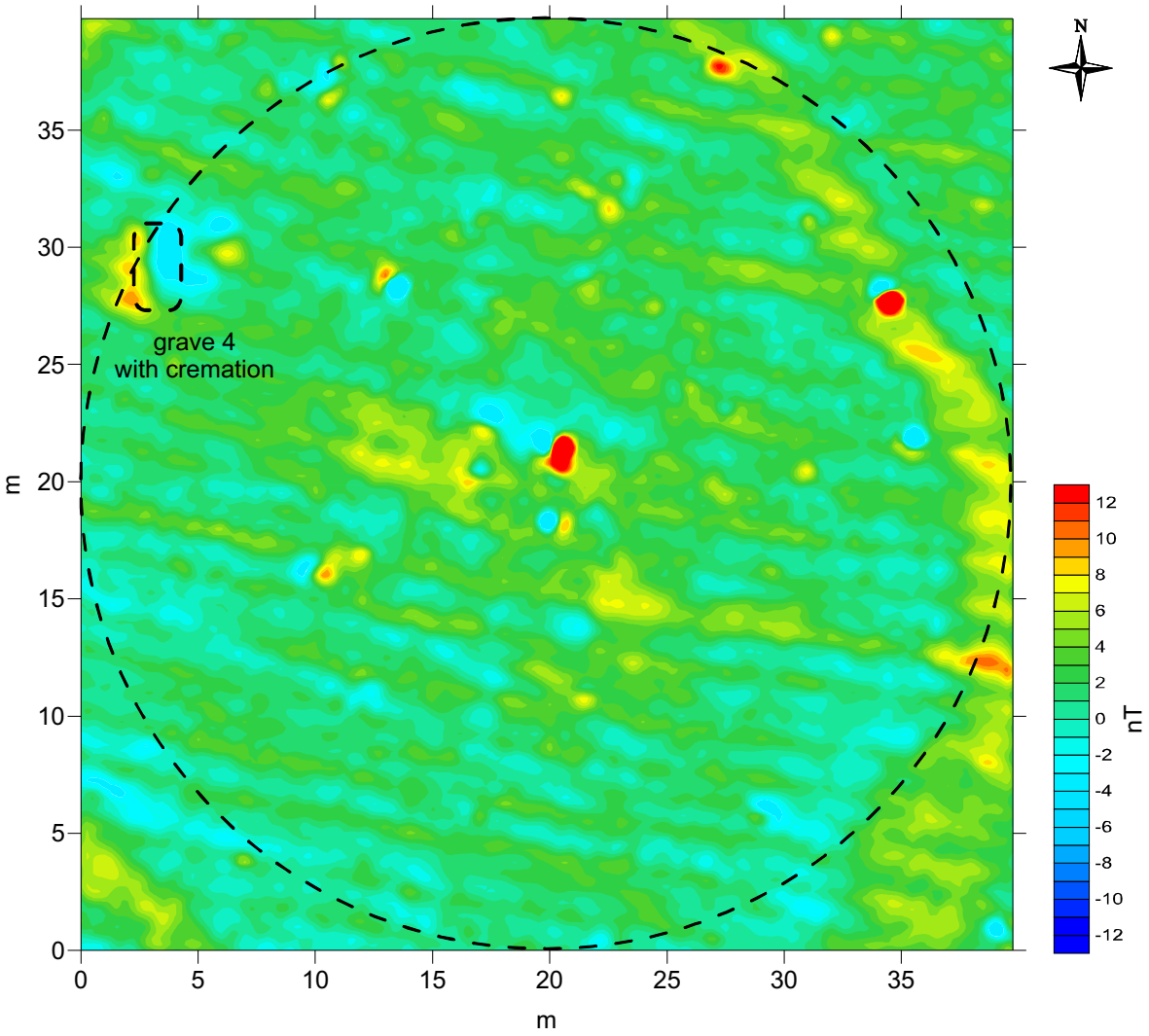


Fig. 19. Gorsko Ablanovo, tumulus VI. Fluxgate gradiometer survey

by archaeological excavations that the mounds from given necropolis contain grave pits with cremations, magnetic gradiometry can be used independently, but only for tumuli not higher that one meter.

The quoted practical examples of geomagnetic prospection on tumuli show that terrain effect removal applying gradiometers happens automatically in most cases. It is especially true for the barrows with low values of magnetic susceptibility. It is perfectly valid both for the small tumuli and for those with heights of 4-5 m. Only in regions with high magnetic properties of the superficial deposits, as was the case with tumulus 1 at Cabyle, corrections for the neutralisation of terrain effect have to be performed on the measurements of such tumuli. In this respect, the proposed polynomial regression has shown very good results. According to the particular conditions, it can be applied both in two dimensional and three dimensional mode.

Tumulus size affects to a lesser extent the grid type of geomagnetic survey. Rectangular grid can be easily used for tumuli lower than 3-4 metes, especially if the slopes are not very steep. At that, the distortions due to the terrain inclination can be simply corrected using elastic ropes with markers. In this manner, the differences between the horizontal and leaning distance will be spread along the full length of the traverses and the points

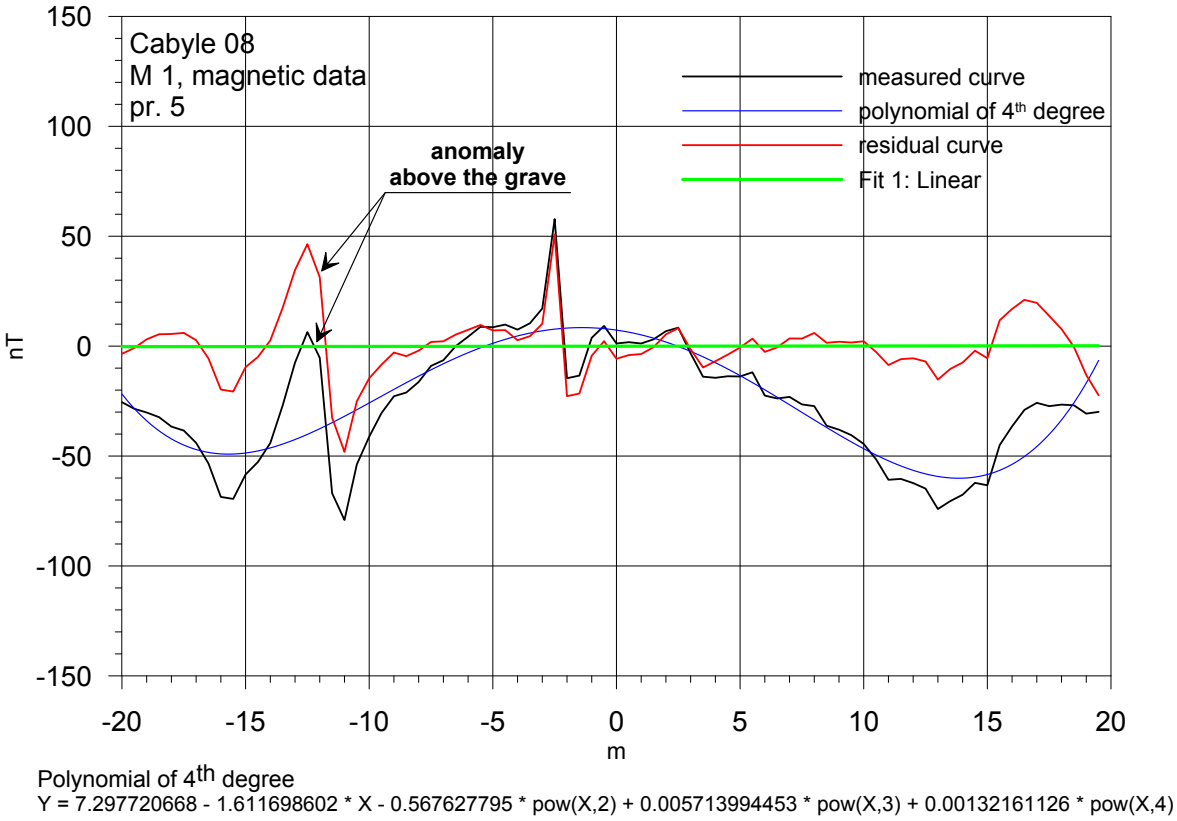


Fig. 20. Cabyle, tumulus 1. Magnetic curves above a grave with cremation

along them. It can be easily calculated, that the maximum deviation will not exceed 2-3 centimetres. At that, it is possible to combine radial grid of resistivity with rectangular of geomagnetic prospection. For higher and steep tumuli, obviously, the rectangular grid will become inconvenient. On one hand, terrain corrections will not be so simple. On the other, the walking along the traverses will be hindered. In this case, the radial grid of resistivity survey can be used. The inability for keeping regular pace along the traverses due to steep slope forces measurements to be performed not in automatic but in single mode. In this case, the fixed height above the surface can be provided by a simple gadget mounted to the lower part of the sensor. In case of rectangular grid, the same programs and data processing procedures like for flat sites are applied. Obviously, these can not be used for radial grid, since it is irregular. On the other hand, taking measurements in single mode and, thence, the possibility of maintaining fixed height and orientation of the sensors make to a great degree these procedures unnecessary.

Field survey results as well as the forward modelling allow Thracian burial mounds to be classified from geophysical point of view. Based on the applied techniques, geodetic grids, the need of terrain corrections, the type of structures which can be successfully detected and the prospection time and costs, tumuli can be divided into five groups.

1. Very small tumuli – height less than 1 m. Those can be surveyed applying magnetic and pole-pole array resistivity mapping on rectangular grid. Pit graves with cremation and cyst graves can be successfully registered structures if they are not in the central part of the mounds and dug into the ancient ground. Applying 2D and 3D ERT, dug into the ground

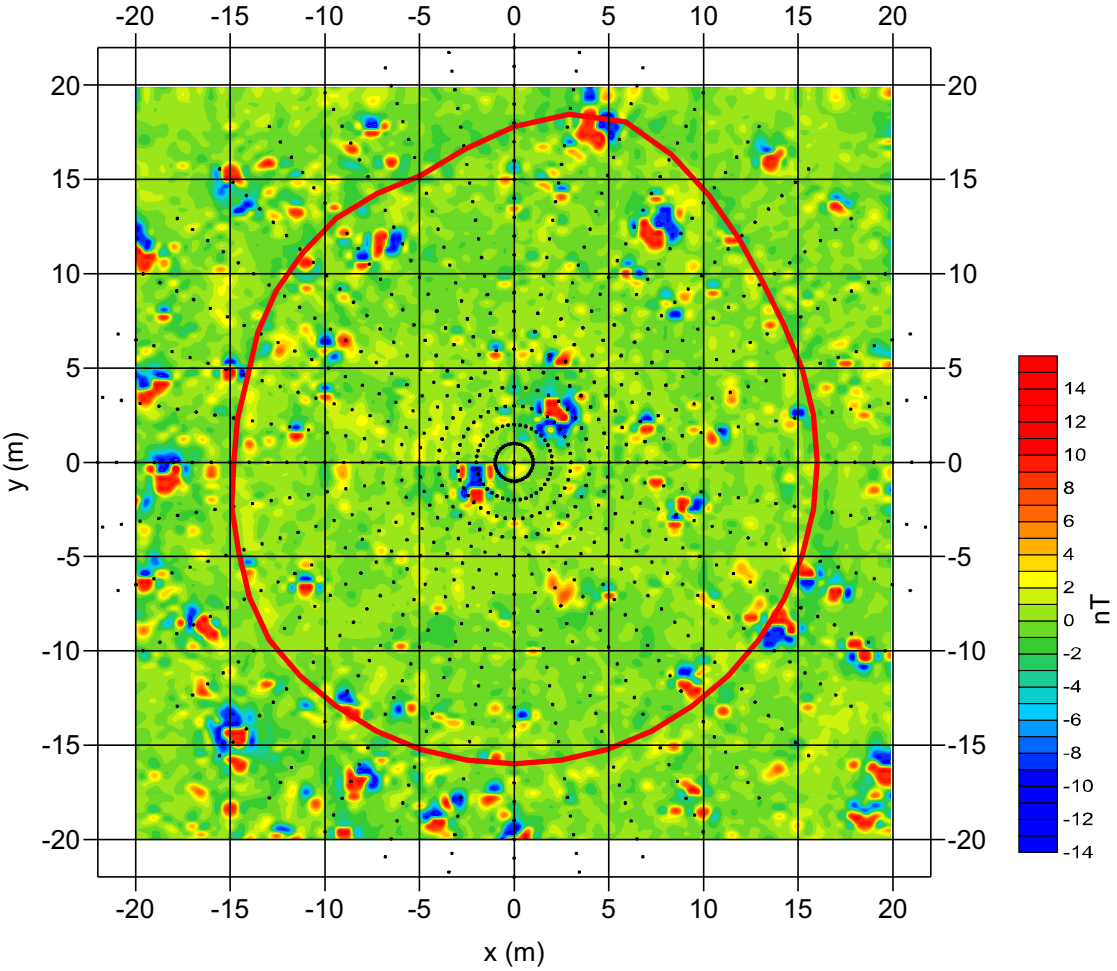


Fig. 21. Granit, tumulus 1. Magnetic gradiometer map

built graves can be detected even positioned in the tumulus centre.

2. Small tumuli – height between 1 and 2-2.5 m and diameter 25-30 m. These tumuli can be surveyed on rectangular grid by both electroresistivity and magnetic gradiometry. Measured magnetic field usually does not need terrain corrections. Built stone graves can be registered even in the centre as well as cyst graves if not very deep.

3. Medium sized – height to 5-6 m and diameter to 40-50 m. The suitable grid is radial at intervals of 10 or 8^{g} both for resistivity and magnetic mapping. In most cases, geomagnetic measurements need corrections for tumulus magnetic field. The chance a tomb to be registered even if in the centre is fair. Built graves can also be registered if in the periphery.

4. Big tumuli – height to 10 m and diameter around 60-70 m. Survey is carried out like last group with radial traverses at 5^{g} or less. Big structures like tombs can be detected only if not in the centre or, in case these are in the centre, if they have corridor or facade leading to the periphery and respectively are at a lesser depth.

5. Very big tumuli – height above 10 m. Survey is performed like the previous group. Big grave constructions can be detected only if they are not in the centre or have corridor or façade at a lesser depth. Generally, prospection of such tumuli is time-consuming and laborious and it must be undertaken only after detail preliminary planning – grid density, applied electrode arrays, as type and lengths, consistent with the particular dimensions and characteristics of tumulus embankment, etc.

This classification can be helpful in two directions. On one hand, geophysicists will be

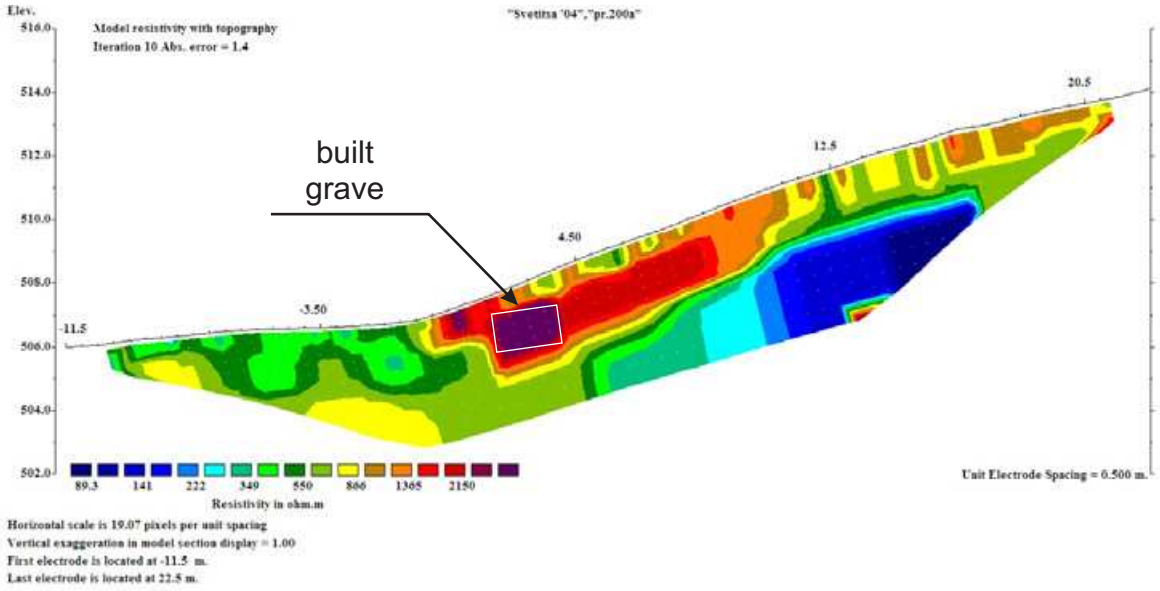


Fig. 22. Shipka, Svetitsa tumulus. 2D ERT traverse above the built grave

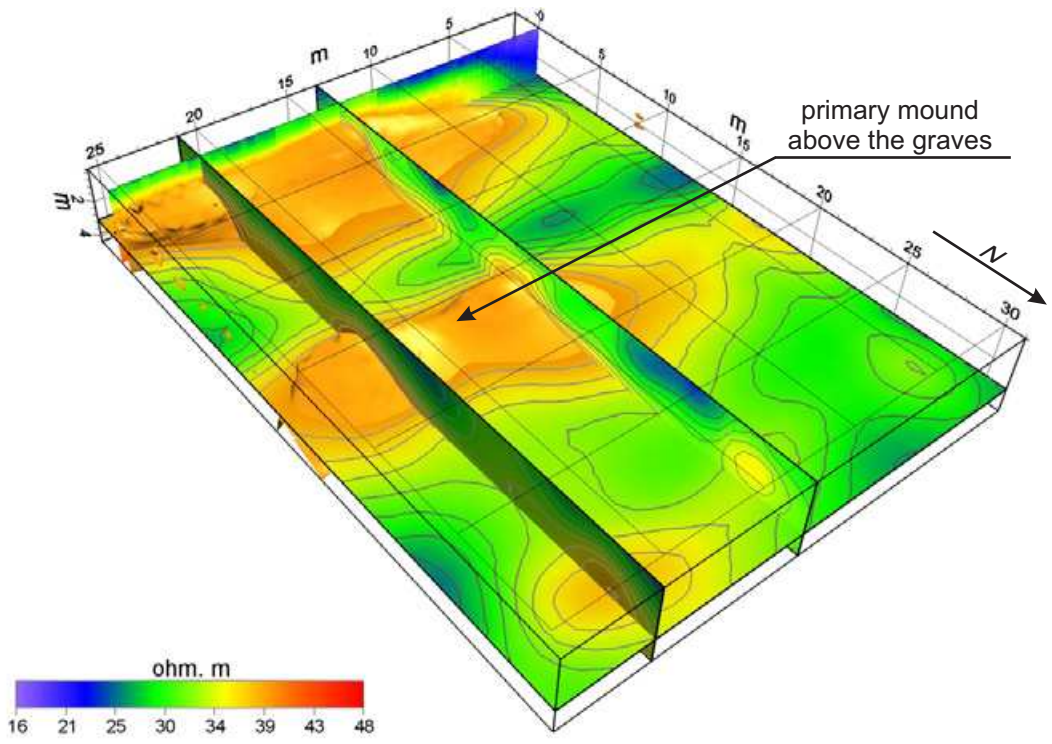


Fig. 23. The tumulus from Opaka. 3D surface plot from the 3D ERT

able to easily plan the survey of given tumulus for achievement of most valuable information. On the other hand, archaeologist commissioning such prospection will know how far the possibilities of geophysics reach and what results they can expect from it.

The results achieved at this stage of research allow some directions to be drawn regarding the development of archaeological geophysics in Bulgaria and the prospection of

Thracian burial mounds, in particular. These are primarily in the application of 3D ERT on settlements and on all funeral tumuli including big ones. Therein, the acceleration of measurement process forces the use of multichannel resistivimeters like those already applied in geological prospection, as well as the so called optimised electrode arrays and more advanced inverse programs for data processing. Another promising prospect is the last innovation in exploration geophysics – the georadar.