УДК 621.396.96+552.578.2.061

В.Б.БОЛТИНЦЕВ, *канд. техн. наук, зам. ген. директора по НИР, boltintzev@yandex.ru*
В.Н.ИЛЬЯХИН, *главный инженер, ivn-2007@yandex.ru*
ЗАО НПФ «Геодизонд», Санкт-Петербург
Р.М.САЛИХОВ, *зам. гл. инженера проекта, r_salikhov@bgip1.spbaep.ru*
ОАО «СПб-Атомэнергопроект», Санкт-Петербург

V.B.BOLTINSEV, *PhD in eng. sc., assistant general manager, boltintzev@yandex.ru*
V.N.ILYAKHIN, *chief engineer, ivn-2007@yandex.ru*
BJSC SPF «Geodizond», Saint Petersburg
R.M.CALIKHOV, *deputy chief engineer for design, r_salikhov@bgip1.spbaep.ru*
JSC «Atomenergoproekt», Saint Petersburg

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСНОГО СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ НА СТАДИИ РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ В ИОРДАНИИ

Выполнено обследование месторождения углистых сланцев методом электромагнитного импульсного сверхширокополосного (ЭМИ СШП) зондирования в центральной части Королевства Иордании, на площади блока AUG22. Центральными задачами изысканий являлись определение положения слоя горючих сланцев в разрезах участка между разведочными скважинами, пробуренными ранее, и дифференциация сланцев на относительно «богатые» и «бедные» разности по содержанию в них сланцевого масла. Площадь участка, на котором выполнялись геофизические изыскания, составила 12 км^2. Пункты геофизических измерений на участке располагались таким образом, чтобы шаг исследований вкупе с разведочными скважинами составлял около 400 × 400 м.

***Ключевые слова*:** сверхширокополосный, метод Винера – Хопфа, георадиолокация, горючий сланец.

APPLICATION OF ELECTROMAGNETIC PULSE ULTRA WIDE BAND SOUNDING ON STAGE OF PROSPECTING DEPOSIT OF THE OIL SHALE IN JORDAN

In the central part of Jordan Kingdom, on block AUG22, on oil shale's deposit geophysical researches have been executed. The central problems of researches were finding of oil shale's layer position in block's surveys between boreholes drilled earlier; differentiation of shale's on rather «rich» and «poor» differences under the content in them of shale oil. For solving this problems researches by a geophysical method electromagnetic pulse ultra wide band (UWB) sounding were spent. Area of geophysical researches comprised 12 km^2. Points of geophysical measurements on block placed in such a manner that the step of researches to a compartment with boreholes would make about 400 × 400 m.

***Key words*:** ultra wide band – UWB, method of Wiener – Hope, underground radar measurements, oil shale.

ЗАО НПФ «Геодизонд» (Санкт-Петербург) в январе 2010 г. выполнило обследование месторождения горючих сланцев методом ЭМИ СШП-зондирования в центральной части Королевства Иордании (блок AUG22), на площади 12 км^2, представляющей труд-

нопроходимую каменисто-кремнистую пустыню (Заказчик работ ОАО «Incosin»). Метод позволяет подробно дифференцировать геологические элементы в разрезах горного массива [1, 4] и проводить их идентификацию на основе электродинамических и электрофизических свойств среды. Исследования методом ЭМИ СШП-зондирования представляют собой геофизические измерения в фиксированных пунктах дневной поверхности, обозначенных местом «стояния» измерительных антенн комплекса.

Электрофизические свойства, описываемые комплексной диэлектрической проницаемостью $\varepsilon(\omega) = \varepsilon'(\omega) - j\varepsilon''(\omega)$ и тангенсом угла диэлектрических потерь $tg\delta$, в подстилающей среде обусловлены всеми видами структурной, дипольно-релаксационной и ионно-релаксационной поляризаций. Первой составляющей электрофизических свойств являются $\varepsilon(\omega)$ и $tg\delta$ «почвенного поглощающего комплекса» – совокупности высокодисперсных минеральных, органоминеральных и органических частиц, обладающих ионообменной способностью. Для почвы характерно преобладание отрицательного поверхностного заряда, поэтому ее способность к поглощению катионов выражена ярче, чем для анионов. Обменные катионы на поверхности почвенных частиц определяют pH среды и солевой состав почвенного раствора.

Перед изысканиями на участке AUG22 были поставлены следующие задачи:

• определение положения слоя горючих сланцев в разрезах участка между разведочными скважинами, пробуренными ранее;

• дифференциация сланцев на «богатые» и «бедные» разности по содержанию в них сланцевого масла при сравнении (калибровке) результатов измерений с лабораторными данными, полученными в разведочных скважинах.

По результатам исследований на аналогичном месторождении (г.Сланцы, Ленинградская область) экспериментально установлено наличие ряда особенностей в сигнале [1]. Например, по данным Института органической и физической химии им.А.Е.Арбузова в диэлектрических характеристиках масляных фракций Нурлатского нефтегазового месторождения присутствуют резонансы на 40,2 и 85,7 МГц [3]. Наличие максимума проводимости ε'' на конкретных радиочастотах отмечено в мерзлотоведении [2]. Для мерзлых глинистых грунтов наблюдается дисперсионный переход ε' к динамическим (высокочастотным) значениям на частотах в диапазоне 1-10 МГц, а максимум ε'' выражен достаточно четко [6]. Появление в отраженном сигнале низкочастотных составляющих (50-75 МГц) отмечено в георадарных исследованиях [5].

Общие закономерности поведения грунтов в переменном электромагнитном поле обусловлены тем, что почва любой подстилающей среды является многофазной гетерогенной дисперсной системой. Для нее характерны процессы поляризации, релаксации и электропроводности, которые во многом определяются наличием в ней поверхностей раздела фаз, обусловливающих величину поверхностной проводимости. На этих поверхностях происходит формирование объемных зарядов и двойных электрических слоев (ДЭС) (Г.Л.Ф.Гельмгольц, 1879), в свою очередь определяющих значения напряженности внутреннего электрического поля среды и контактную разность потенциалов.

Природа низкочастотного диэлектрического резонанса достаточно сложна, поскольку включает в себя и электродинамические, и электрофизические свойства среды. К первой группе относятся киральность (Б.З.Каценелебаум и др., 1997); влияние профиля диэлектрической проницаемости (В.В.Загоскин и др., 1999); наличие пространственной анизотропии диэлектрической восприимчивости, проводимости (С.В.Доровский, В.Н.Доровский, 2006) и др.

Для дисперсных систем увеличение плотности сложения, количества контактов твердых частиц между собой, увеличение объемного содержания компонентов с большей ε' приводит к возрастанию $\varepsilon(\omega)$ системы в целом (С.В.Нерпин, А.Ф.Чудновский, 1967).

Электропроводность почвы и контактная разность потенциалов, формирующаяся на поверхности раздела фаз двойных электриче-

ских слоев (ДЭС), во многом предопределена содержанием илистой фракции, гумуса и емкостью поглощения (П.Н.Березин, В.М.Кипнис, 1978). Емкость поглощения зависит от свойств и объемной концентрации зарядов ДЭС, увеличение которой приводит к возрастанию электрической емкости системы и доли структурной поляризации.

В солончаках, как правило, учитывается илистая фракция, фракция физической глины, гумус, емкость поглощения и реакция среды. Почвенная структура, образующаяся под воздействием сил Ван-дер-Вальса и остаточных валентностей, в результате химического закрепления агрегатов определяется электростатическим взаимодействием поглощенных катионов с поглощающей поверхностью, которое, в свою очередь, обусловлено типом адсорбированных катионов (К.К.Гедройц, 1935; В.М.Кипнис, В.Н.Максюта, Т.В.Азовцев, 1977). Свойства и спектральный состав поглощения поля электромагнитной волны (ЭМВ) в подстилающей среде определяются разностью потенциалов на границе раздела фаз и энергетическим состоянием обменных катионов, от которого зависит их подвижность в электромагнитном поле. Так, наличие в среде двухвалентных катионов кальция и магния обусловливают релаксационные процессы (для красноземов горной части Иордании содержание $Ca^{++} + Mg^{++}$ около 55 %, В.А.Ковда, 1973, Б.А.Зимовец, Н.Б.Хитров, 1988); высокое содержание обменного натрия приводит к резкому увеличению дисперсности среды (К.К.Гедройц, 1975; В.Н.Михайличенко, 1979), увеличению плотности поверхностного заряда и контактной разности потенциалов (В.Н.Михайличенко, 1979). Релаксационные процессы также связаны с максимальной величиной поверхностной проводимости (А.Д.Воронин, 1975, В.Г.Витязев, И.С.Кауричев, А.Рабий, 1980); емкостью поглощения органических коллоидов (Д.С.Орлов, 1974); ростом доли дипольной поляризации за счет ориентации в электрическом поле органических коллоидов.

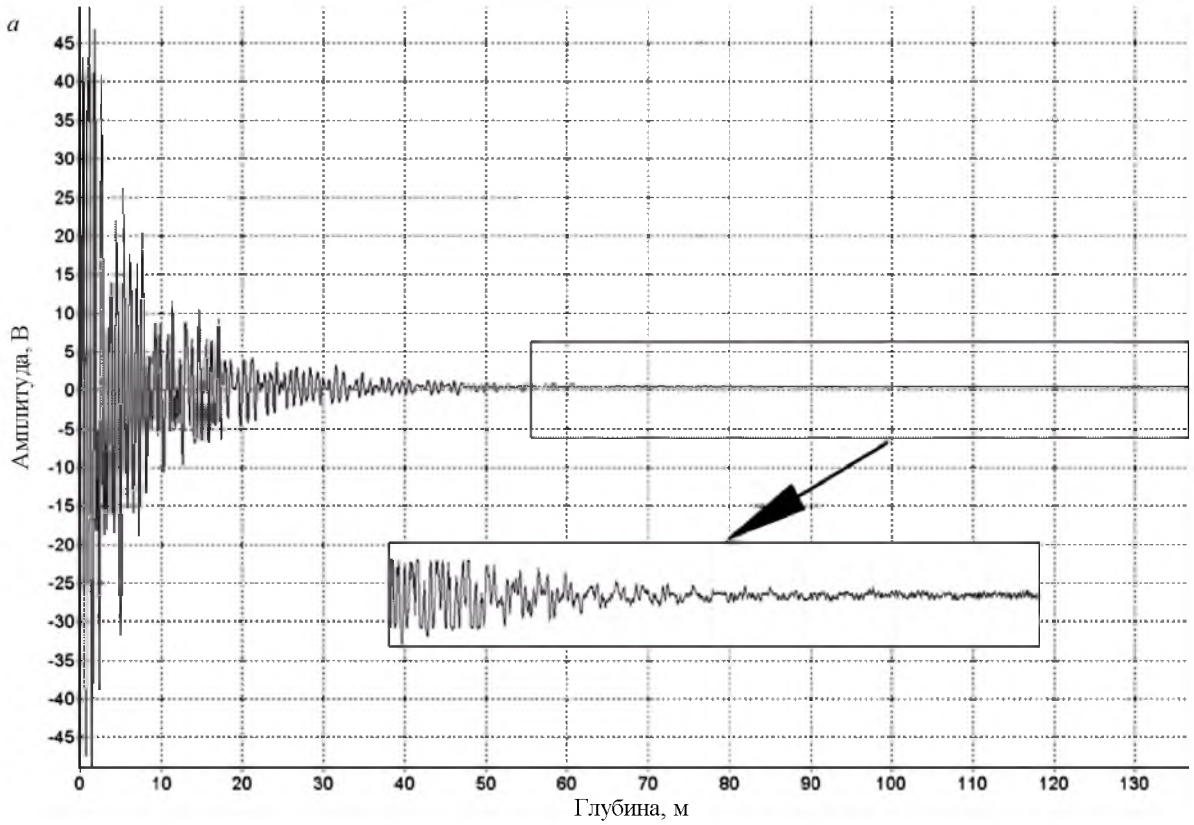
Электропроводность подстилающей среды определяется подвижностью легкорастворимых солей (Ю.Г.Ткаченко, 1972, Т.С.Лебедев, С.И.Шепель, 1981) и ЭДС почвенного раствора (В.М.Кипнис, П.Н.Березин, 1978). Своеобразие солончаков, расположенных вдоль Мертвого и Красного морей (по Иорданскому разлому), обусловлено высокой степенью подвижности всех заряженных частиц (О.Ж.Раисов, 1973, В.А.Ковда, 1973), т.е. широким спектром значений энергии активации процессов релаксации.

Процесс ориентации диполей органических и органоминеральных коллоидов в поле падающей электромагнитной волны определяется следующими составляющими: собственными временем релаксации и дипольным моментом коллоидов, температурой среды, ее вязкостью и формой этих частиц.

На фоне катионных свойств перекрывающих сред в поле падающей электромагнитной волны должны резко выделяться ионные связи.

При проведении работ на участке точки зондирования (ТЗ) помещались в вершины квадрата примерно 400 × 400 м так, чтобы одна из вершин квадрата опиралась на разведочную скважину. Топопривязка точек к плану блока AUG22 согласовывалась с представителем заказчика и выполнялась прибором GPSMAP 60CSx. В каждой ТЗ излучался ЭМИ-сигнал и регистрировался отраженный сигнал на две антенны метрового и дециметрового радиочастотных диапазонов (рис.1). Для калибровки результатов измерений комплекса были использованы данные по кернам разведочных скважин INAT-1 – INAT-15, пробуренных на участке в 2009 г. компанией «Mazen Rial Expert Decision Engineering Office». Геофизические измерения на площади были выполнены в 20 точках. Глубина исследований примерно 130 м.

В результате решения обратной задачи для проведенных измерений (использован метод Винера – Хопфа [4]) были получены автокорреляционные (АКФ) и взаимные корреляционные (ВКФ) функции отраженных сигналов для каждой ТЗ, которые отображают корреляционные связи сигналов в пределах различных геологических элементов и характеризуют изменения электродинамических и электрофизических свойств среды в радиочастотном диапазоне (рис.2).



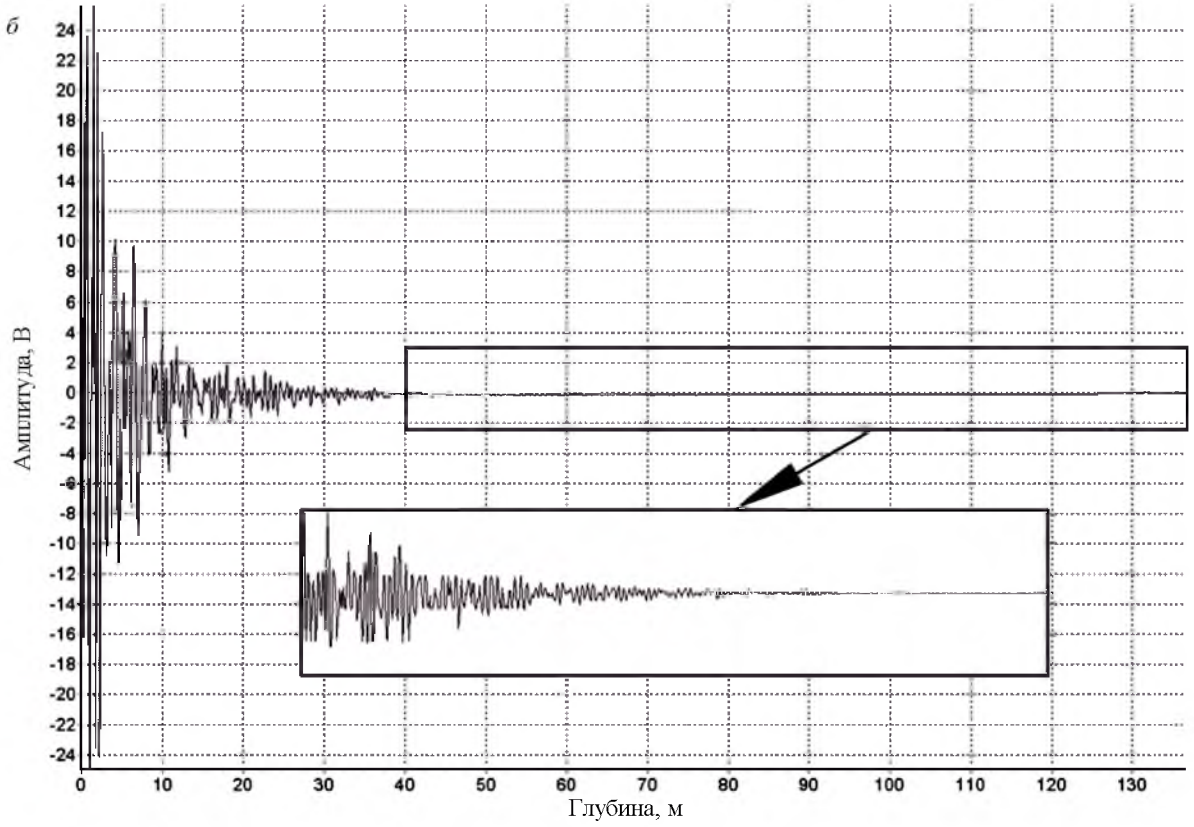


Рис.1. Вид отраженного сигнала в метровом (*а*) и дециметровом (*б*) диапазонах в ТЗ-43

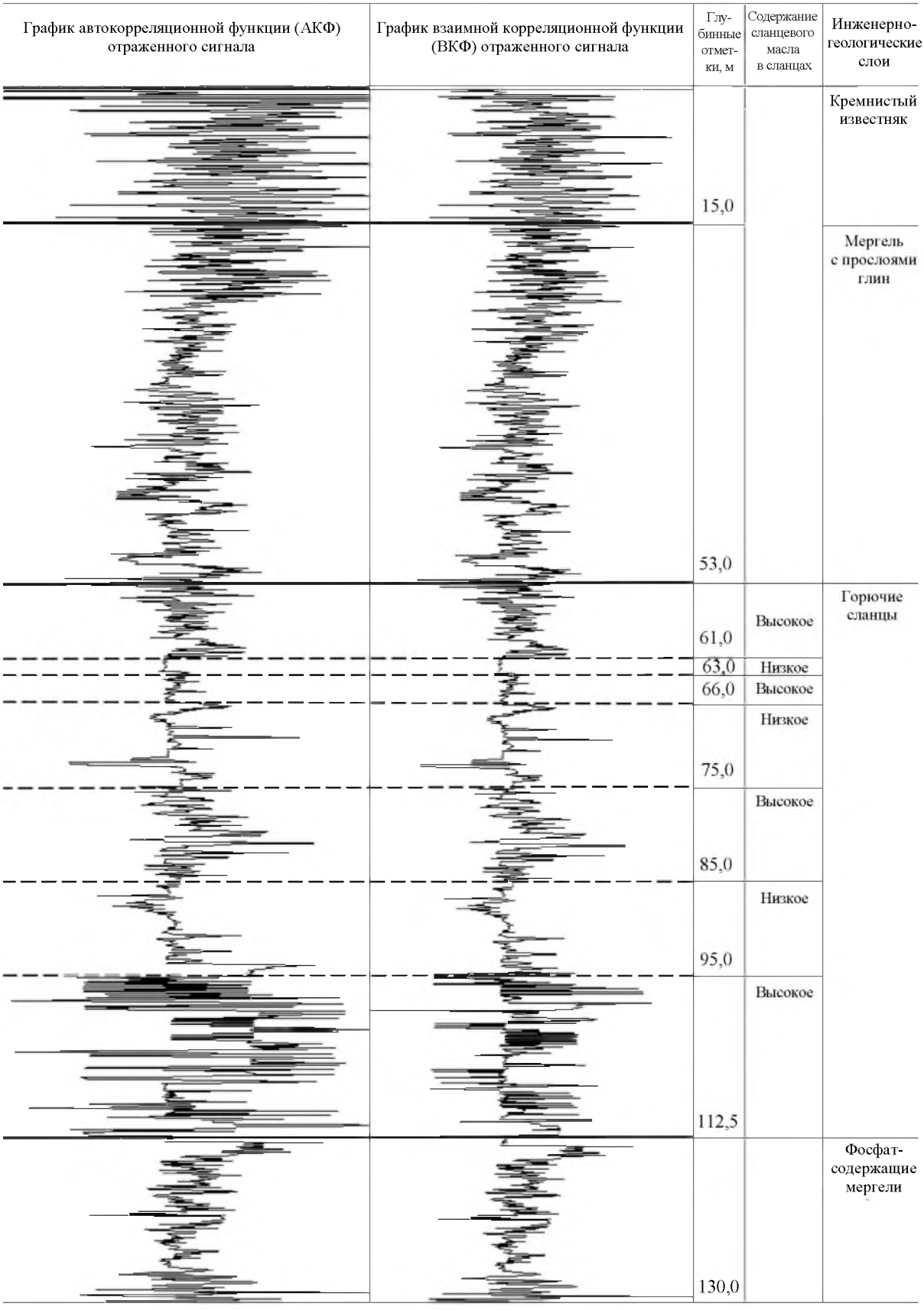


Рис.2. Геолого-геофизический разрез точки ЭМИ СШП-зондирования ТЗ-53 (скважина INAT-9)

Описание скважины INAT-9 (глубина 112 м)

Интервал бурения, м	Длина интервала, м	Разрез	Анализируемый интервал	Анализ керна							
				групповой (содержание углеводородной части, %)		термический, ккал	спектральный				
							Содержание, %				
				Масло	Полукокс		S	CaO	SiO_2	Al_2O_3	MgO
0-1,0	1	Почвенный слой	0-1	Анализ не проводился				42,1	16,3	1,35	0,71
1-15,0	14	Известняк с включением мела и кремния	1-10					42,2	20,2	1,63	0,44
			10-12					49	4,1	1,1	0,3
			12-15					51,2	4,53	0,92	0,33
15-53,0	38	Мергель с прослоями глин	15-20					49,3	5,22	1,4	0,3
			20-25					62,8	2,29	0,51	0,23
			25-30					60,9	4,39	1,06	0,31
			30-33					41	16	3,7	0,6
			33-37					41,9	20,7	1,89	0,34
			37-42					51	4,32	0,88	0,26
			42-45					51	4,1	1,4	0,1
			45-48					51	3,5	1,2	0,1
			48-53					46,1	10,5	2,69	0,49
53-112,0	59	Горючий сланец с включениями известняка, фосфатов и кремния	53-58	8,41	87,5	1112	1,23	Анализ не проводился			
			58-62	14,5	83,0	1547	2,16				
			62-66	7,49	86,4	1197	1,19				
			66-71	5,13		713		41,4	6,3	1,9	
			71-74	3,84	93,9	394	0,53	46,7	4,29	1,09	
			74-78	6,12	87,3	1215	0,86	42,1	4,13	0,93	0,41
			78-82	16,3	74,3	301	2,7				
			82-85	18,2	69,2	344	3,6	31,6	7,4	1,8	0,3
			85-87	2,1	95	37	0,8				
			87-92	4,1	90	427	0,6				
			92-94	3,1	93	39	0,1				
			94-98	10,6	86,4	1470	2,14	22,1	33,6	2,80	0,51
			98-102	7,89	87,1	982	0,01				
			102-106	7,07	88,7	719	0,01				
			106-109	12,1	84	128	1,3	36,4	12,4	1,4	
			109-112	8,3	85	122	0,01	33,2	12,2	1,2	0,3

Примечание. Местоположение скважины Attarat Um Ghudran. Координаты: E 290022,663. N 1083422,967. Высота 807,296 м. Бурение с отбором керна. Дата бурения 01.04.2009-18.04.2009.

На основе предоставленных заказчиком материалов разведочного бурения на участке AUG22 и калибровочных измерений на скважинах INAT-10, INAT-9 (см. таблицу) и INAT-7 были определены геофизические критерии для выявления и прослеживания в разрезах горного массива основных геологических слоев: известняков с прослоями мела, глинистых мергелей, горючих сланцев и фосфатсодержащих мергелей, мощность которых колеблется от 8 м (ТЗ-57) до 30 м (ТЗ-61); ниже залегают глинистые мергели, мощностью от 33 м (ТЗ-61) до 52 м (ТЗ-57). Они «перекрывают» слой горючих сланцев, в основании которых залегают мергели фосфатсодержащие. Установлены границы залегания основных геологических слоев, в том числе горючих сланцев, в которых по содержанию сланцевого масла выявлены относительно «богатые» (6 % и выше) и «бедные» (менее 6 %) разности (рис.3). По результатам проведенных измерений составлены геологические разрезы по линиям профилей I-I, …, IX-IX.

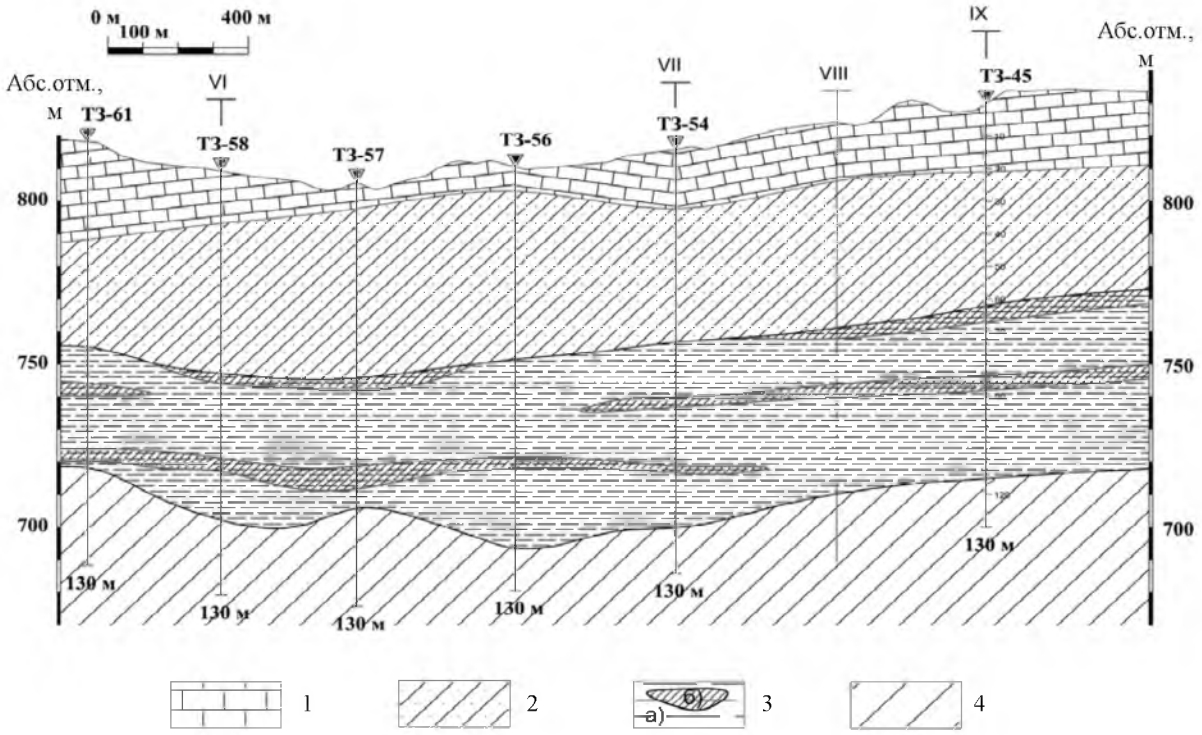


Рис.3. Геологический разрез по линии II-II по данным ЭМИ СШП-зондирования. Масштаб горизонтальный 1:10000, вертикальный 1:1000. Профили VI-IX

1 – известняк; 2 – мергели с прослоями глин; 3 – горючие сланцы: а) «богатые» по содержанию сланцевого масла, б) «бедные» по содержанию сланцевого масла; 4 – фосфатсодержащие породы

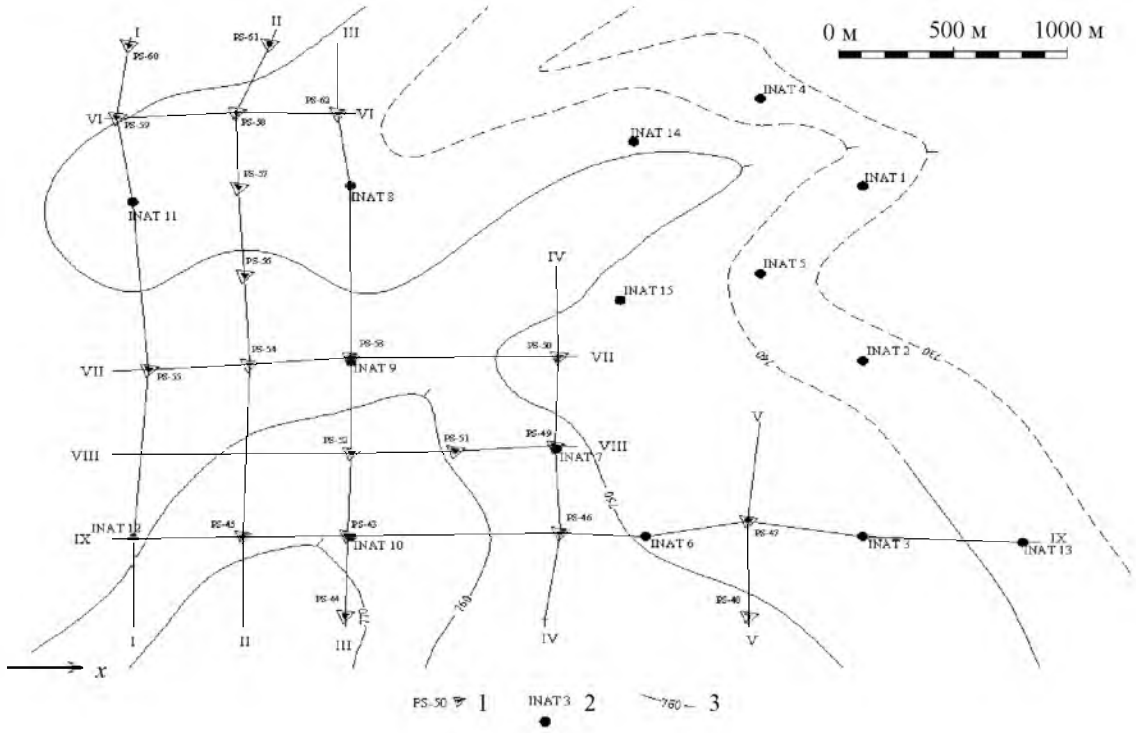


Рис.4. Структурный план кровли горючих сланцев площади блока AUG22 по данным ЭМИ СШП-зондирования. Профили I-IX

1 – точка зондирования и ее номер; 2 – скважина и ее номер; 3 – изолинии кровли слоя горючих сланцев

Составлен структурный план кровли горючих сланцев (рис.4), мощность которых изменяется от 28,5 м в скважине INAT-11 до 70,5 м (ТЗ-47) с относительно равномерным распределением по всей обследованной площади участка. Абсолютные отметки кровли слоя колеблются от 741,7 м (ТЗ-62) до 771,4 м (ТЗ-44); подошвы от 672,6 м (ТЗ-47) до 722,8 м (ТЗ-44).

Внутри промышленного слоя выделены интервалы, различающиеся ожидаемым содержанием сланцевого масла: наибольшая мощность «богатых» сланцев с минимальным количеством «бедных» прослоев отмечена на профилях I-I, II-II, VI-VI; высокая концентрация относительно «бедных» прослоев – в ТЗ-46, ТЗ-50, ТЗ-51, ТЗ-52, ТЗ-53.

Таким образом, в результате геофизического обследования методом ЭМИ СШП-зондирования участка месторождения горючих сланцев Block AUG22 в центральной части Иордании было уточнено положение в разрезах горных пород слоя полезного ископаемого, установленного здесь ранее. Также были выявлены и прослежены на разрезах основные геологические разности до глубины 130-137 м от уровня дневной поверхности. Для месторождения характерно преобладание относительно «богатых» по содержанию сланцевого масла разностей, интервалы «бедного» полезного ископаемого наблюдаются преимущественно в центральной части участка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геофизическое обследование инъекционного закрепления заобделочного пространства методом электромагнитного импульсного сверхширокополосного зондирования / К.П.Безродный, В.Б.Болтинцев, В.Н.Ильяхин, В.А.Шумков, С.В.Андрианов // Жилищное строительство. 2010. № 5. С.39-44.

2. *Кудрявцев В.А.* Общее мерзлотоведение. М., 1978. 464 с.

3. Метод диэлектрической спектроскопии в исследовании диэлектрической дисперсии нефтяных масел / Д.В.Сараев, И.В.Лунёв, Л.И.Гафарова, Т.Н.Юсупова, Ю.А.Гусев, Г.В.Романов // Структура и динамика молекулярных систем. 2003. Вып.10. Ч.2. С.135-138.

4. Пат. № 2144682. Российская Федерация, 7 G 01 S 13/02. Способ радиолокационного зондирования геологического разреза / В.Б.Болтинцев; заявитель и патентообладатель В.Б.Болтинцев. №99104111/09; заявл. 01.03.1999; опубл. 20.01.2000. Бюл. № 2.

5. *Старовойтов А.В.* Применение георадиолокации для выяснения причин деформации зданий / А.В.Старовойтов, М.Л.Владов, А.Ю.Калашников. М., 2004. С.94-96.

6. *Фролов А.Д.* Электрические и упругие свойства мерзлых пород и льдов. Пущино, 2005. 607 с.

REFERENCES

1. *Bezrodnyj K.P., Boltintsev V.B., Iljahin V N., Shumkov V.A., Andrianov S.V.* Geophysical inspection of inject fastening outside lining a method of electromagnetic pulse ultra wide band // Housing construction. 2010. N 5. P.39-44.

2. *Kudryavtsev V.A.* The general geocryology. Moscow, 1978. 464 p.

3. *Saraev D.V., Lunyov I.V, Gafarova L.I., Yusupova T.N., Gusev J.A., Romanov G.V* Method of dielectric spectroscopy in research of a dielectric dispersion of hydrocarbon oil // Structure and dynamics of molecular systems. 2003. Issue 10. Part.2. P.135-138.

4. Patent N 2144682. The Russian Federation, 7 G 01 S 13/02. A way of radar-tracking sounding of a geological cut / V.B.Boltintsev; the applicant and the owner of the patent V.B.Boltintsev. N 99104111/09; it is declared 01.03.1999; publ. 20.01.2000. Bul. N 2.

5. *Starovojtov A.V, Vladov M.L., Kalashnikov A.J.* Application of a georadar-location for finding-out of the reasons of deformation of buildings. Moscow, 2004. P.94-96.

6. *Frolov A.D.* Electrical and elastic properties of frozen earth materials. Pushchino, 2005. 607 p.