83

=ГЕОФИЗИКА =

VДК 550.837 DOI: 10.46698/VNC.2021.77.30.007

Оригинальная статья

Результаты оценки свойств грунтов Абовянского специального подземного хранилища газа по инженерно-геофизическим исследованиям

Дж.К. Карапетян, А.З. Чилингарян, К.А. Карапетян, Г.А. Мкртчян

Институт геофизики и инженерной сейсмологии им А. Назарова НАН РА, Республика Армения, 3115, г. Гюмри, ул. В. Саргсяна, 5, e-mail: jon_iges@mail.ru; hhmy39@gmail.com

Статья поступила: 24.10.2021, доработана: 27.11.2021, принята к публикации: 02.12.2021

Резюме: Актуальность работы. В статье излагаются результаты инженерно-геофизических исследований на территории новой компрессорной станции Специального подземного хранилища газа (СПХГ) в г. Абовян (Армения). Учитывая то, что Республика Армения находится в сейсмоактивной зоне, проведение данных исследований является весьма актуальным, а новая компрессорная станция Специального подземного хранилища газа является особо важным объектом. Целью работы является выявление для данной территории особенности удельного электрического сопротивления грунтов, наличия блуждающих токов (БТ), оценка коррозийной агрессивности грунтов, изучение сейсмических условий и оценка ожидаемой сейсмической интенсивности на территории, намеченной под строительство. Методы работы. Определение удельного (кажущегося) электрического сопротивления грунтов исследуемой территории производилось методом электропрофилирования с использованием симметричной четырехэлектродной установки Веннера. В статье представлены пункты измерения удельного электрического сопротивления грунтов на территории новой компрессорной станции Абовянского СПХГ, выявлено наличие блуждающих токов, приведены таблицы степени коррозионной агрессивности грунтов, указаны места наличия опасного уровня блуждающих токов. Также проведены работы по сейсмическому микрорайонированию для определения величины ожидаемой сейсмической интенсивности конкретной территории компрессорной станции. Ожидаемая сейсмическая интенсивность на данной территории определена на основе анализа инженерно-геологических материалов с учетом результатов полевых инженерно-сейсмометрических инструментальных исследований. С помощью малоглубинной сейсморазведки были определены скорости распространения сейсмических волн. Измерения проводились горизонтально-ориентированным сейсмоприемником СМ-3 (вертикальный удар). Ударные волны создавались импульсным возбуждением. Для обеспечения необходимой мощности возбуждения импульсное воздействие создавалось с помощью падающего груза. Результаты работы. В статье приведены сейсмические условия территории, результаты сейсмометрических исследований, данные по наблюдениям микросейсм, спектры Фурье преобладающих периодов по некоторым точкам наблюдений, схема инженерно-сейсмометрических наблюдений. В результате проведенных исследований установлено, что грунтовые условия данной территории относятся к грунтам первой категории по сейсмическим свойствам. Ожидаемую сейсмическую опасность исследованной территории необходимо характеризовать следующими значениями: I=7 баллов или PGA=0,24 g.

Ключевые слова: удельное сопротивление, блуждающие токи, коррозия, сейсмическая опасность, категория грунтов, Специальное подземное хранилище газа.

Для цитирования: Карапетян Дж.К., Чилингарян А.З., Карапетян К.А., Мкртчян Г.А., Чилингарян Т.А. Результаты оценки свойств грунтов Абовянского специального подземного хранилища газа по инженерно-геофизическим исследованиям. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11(4): 83-93. DOI: 10.46698/ VNC.2021.77.30.007. 84 Geology and Geophysics of Russian South

11 (4) 2021

= GEOPHYSICS =

DOI: 10.46698/VNC.2021.77.30.007

Original paper

Assessment results of soil properties by engineering-geophysical studies

J.K. Karapetyan^D, A.Z. Chilingaryan^D, K.A. Karapetyan^D, G.A. Mkrtchyan^D

Institute of Geophysics and Engineering Seismology after A. Nazarov of NAS RA, 5 V. Sarksyan Str., Gyumri 3115, Republic of Armenia, e-mail: jon_iges@mail.ru; hhmy39@gmail.com

Reseived: 24.10.2021, revised: 27.11.021, accepted: 02.12.2021

Abstract: Relevance. The article presents the results of engineering-geophysical studies on the territory of the new compressor station of the Special Underground Gas Storage (SPGS) in the city of Abovyan (Armenia). Considering that the Republic of Armenia is located in a seismically active zone, these studies are highly relevant, and the new compressor station of the Special Underground Gas Storage is especially important object. The Aim of the presented work is to identify the features of the specific electrical resistivity of soils, the presence of stray currents, assess the corrosive aggressiveness of soils, seismic conditions of the territory and the expected seismic intensity in the area designated for construction. **Methods.** The determination of the specific (apparent) electrical resistivity of the soils of the study area was carried out by the method of electrical profiling using symmetrical four-electrode Wenner setup. The article presents the points of measuring the electrical resistivity of soils in the territory of the new compressor station of the Abovyan SPGS, revealed the presence of stray currents, tables of the degree of corrosiveness of soils are given, the locations of the presence of a dangerous level of stray currents are indicated. Also works on seismic microzoning were carried out, the values of the expected seismic intensity of the compressor station territory were determined. The expected seismic intensity in this area has been determined based on analysis of engineering-geological materials, taking into account the results of field engineering-seismometric instrumental studies. By using shallow seismic surveys have determined the speed of seismic velocity. Measurements were carried out horizontally oriented seismic receiver SM-3 (vertical impact). Shock waves were generated by pulsed excitation. To provide the required excitation power the impulse action was created using a falling weight. Results. The article presents the seismic conditions of the territory, the results of seismometric studies, data on observations of microseisms, Fourier spectra of prevailing periods for some observation points, a scheme of engineering seismometric observations. As a result of the research carried out, it was found that that the soil conditions composing this territory belong to the soils of the first category in terms of seismic properties, the expected seismic hazard of the investigated area should be taken as I = 7 points or PGA = 0.24 g.

Keywords: resistivity, stray currents, corrosion, seismic hazard, soil category, Special Underground Gas Storage.

For citation: Karapetyan J.K., Chilingaryan A.Z., Karapetyan K.A., Mkrtchyan G.A., Chilingaryan T.A. Comparative analysis of the dynamic characteristics of various types of buildings during microseismic vibrations. *Geologiya I Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 83-93. DOI: 10.46698/VNC.2021.77.30.007.

Введение

Необходимость проведения инженерно-геофизических исследований возникает в случае специфичности решаемых задач. Одними из основных факторов, учитываемых при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений, являются состояние и свойства грунтов. В данной статье представлены результаты инженерно-геофизических и сейсмометрических исследований на территории новой компрессорной станции Специального подземного хранилища газа (СПХГ) в городе Абовян (Армения).

Цель работы – выявить особенности удельного электрического сопротивления (УЭС) грунтов, наличие блуждающих токов (БТ), оценить коррозионную агрессивность грунтов, сейсмические условия территории и ожидаемую сейсмическую интенсивность на территории, намеченной под строительство.

Работы выполнялись в соответствии с межгосударственным стандартом, с требованиями действующих нормативных документов о правилах производства геофизических исследований, согласно техническим требованиям к производству геофизических работ, а так же в соответствии с инструкцией по электроразведке (Межгосударственный стандарт ГОСТ 9.602-2005. Единая система защиты от коррозии и старения, 2006; Инженерные изыскания для строительства РСН 64-87. Технические требования к производству геофизических работ. Электроразведка, 1987) [Инструкция по электроразведке, 1984; Rucker, 2010; Parsekian et al., 2017; Redman et al., 2018] и рекомендациями по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях [Бабаян, Карапетян, 2011; Минасян и др., 2019].

Инженерно-геофизические исследования

Определение удельного (кажущегося) электрического сопротивления (УЭС) грунтов исследуемой территории производилось методом электропрофилирования с использованием симметричной четырехэлектродной установки Веннера AMNB, в которой AM=MN=NB=h, где h – глубина исследований [Воскресенский, 2010; Огильви, 1990; Инструкция по электроразведке, 1984].

Измерение УЭС грунтов производилось для глубины 2-х метров в соответствии с требованиями инженерно-геофизических изысканий прибором АЭ-72; в качестве питания использовались сухие элементы. Для определения наличия и величины блуждающих токов были выполнены замеры разности потенциалов в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Разнос измерительных электродов составлял 100 м. На каждом пункте наблюдения проводились серии измерений разности потенциалов в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Пункты наблюдения блуждающих токов представлены на рисунке 1. Измерительные электроды располагались по азимуту на север – (U1, мВ), а затем перпендикулярно к предыдущему разносу – (U2, мВ). Наблюдения для каждого из направлений проводились в течение 10 минут, разности потенциалов измерялись через каждые 10 секунд.

Для определения кажущегося удельного электрического сопротивления грунтов на территории СПХГ были проведены исследования методом электропрофилирования на 26 пикетах. Места расположения пикетов представлены на рисунке 1 (рядом отмечены известные скважины). Обобщенные результаты исследований степени коррозионной агрессивности грунтов на данном участке приведены в таблице 1.

На основании полученных данных, в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 9.602-2005 можно сделать вывод: грунты на площадке новой компрессорной станции СПХГ на глубине 2 метра характеризуются, в основном, низкой коррозионной агрессивностью, местами высокой и средней [Тараканов, 2014; Saribudak et al., 2020; Boadu, Ampadu, 2019].

Результаты изучения блуждающих токов в сводном виде представлены в таблице 2. Отсутствие блуждающих токов в таблице отмечено знаком «-», наличие – знаком «+» [Киселев, 2011; Кочешкова и др., 2012; Чилингарян, Акопян, 2011].



Рис. 1. Пункты измерения удельного электрического сопротивления грунтов и наблюдения блуждающих токов на территории новой компрессорной станции Абовянского СПХГ /
Fig. 1. Points for measuring the electrical resistivity of soils and observation point of SC on the territory of the new compressor station of the Abovyan Special Underground Gas(SUGS)

Таблица 1 / Table 1

Степень коррозионной агрессивности грунтов на площадке новой компрессорной станции специального подземного хранилища газа (СПХГ) / The degree of soils` corrosion activity at the site of the new compressor station of special underground gas storage (SUGS)

	Кажущееся удель-	Степень корро-		Кажущееся удель-	Степень корро-
	ное электрическое	зионной агрес-	№ пункт изме-	ное электрическое	зионной агрес-
/No. of the	сопротивление, р _к ,	сивности грун-	рения / No. of	сопротивление, <i>р</i> _к ,	сивности грун-
7 No. of the	в Ом·м / Apparent	тов / The degree	the measurement	в Ом · м / Apparent	тов / The degree
point	electrical resistivity,	of soils' corrosion	point	electrical resistivity,	of soils' corrosion
	ρ_{κ} , ohm-meter	activity		ρ_{κ} , ohm-meter	activity
ЭП-1 / ЕР-1	374,9	Низкая / Low	ЭП-14 / ЕР-14	17,6	Высокая / High
ЭП_2 / ЕР_2	189.7	Huarad / Low	ЭП-15 / FP-15	42.1	Средняя /
JII-2 / EI -2	109,7	ПИЗКАЯ / LOW	JII-13 / EI -13	42,1	Average

ЭП-3 / ЕР-3	106,8	Низкая / Low	ЭП-16 / ЕР-16	29,5	Средняя / Average
ЭП-4 / ЕР-4	315,9	Низкая / Low	ЭП-17 / ЕР-17	15,1	Высокая / High
ЭП-5 / ЕР-5	76,0	Низкая / Low	ЭП-18 / ЕР-18	49,5	Средняя / Average
ЭП-6 / ЕР-6	156,7	Низкая / Low	ЭП-19 / ЕР-19	49,5	Средняя / Average
ЭП-7 / ЕР-7	336,0	Низкая / Low	ЭП-20 / ЕР-20	300,8	Низкая / Low
ЭП-8 / ЕР-8	80,4	Низкая / Low	ЭП-21 / ЕР-21	385,0	Низкая / Low
ЭП-9 / ЕР-9	82,4	Низкая / Low	ЭП-22 / ЕР-22	122,6	Низкая / Low
ЭП-10 / ЕР- 10	123,1	Низкая / Low	ЭП-23 / ЕР-23	181,5	Низкая / Low
ЭП-11 / EP- 11	300,8	Низкая / Low	ЭП-24 / ЕР-24	271,3	Низкая / Low
ЭП-12 / ЕР- 12	328,4	Низкая / Low	ЭП-25 / ЕР-25	358,0	Низкая / Low
ЭП-13 / ЕР- 13	304,6	Низкая / Low	ЭП-26 / ЕР-26	446,5	Низкая / Low

11 (4) 2021

Таблица 2 / Table 2

Результаты наблюдений блуждающих токов / The results of ground currents (GC) observation

<u>х</u>				U2, мВ / U2, mV		Вектор потенциала U / Vector of U potential					БТ / GC			
л⁰ точек	к U1, мВ / U1, mV		Амплитуда U, мВ / Amplitude U, mV			Азимут, град. / Azi- muth. degree								
/ No. of points	Мин. / Min	Макс. / Мах	Сред. / Average	Мин. / Min	Макс. / Мах	Сред. / Aver- age	Мин. / Min	Макс. / Мах	Сред. / Av- erage	Мин. / Min	Макс. / Мах	Сред. / Av- erage	U1	U2
1	24,5	26,5	25,5	27,0	28,0	27,5	36,5	38,6	37,5	47,8	46,6	47,2	-	-
2	27,0	30,0	28,5	31,0	32,5	31,8	41,1	44,2	42,7	48,9	47,3	48,1	-	-
3	66,0	69,0	67,5	47,0	52,0	49,5	81,0	86,4	83,7	35,5	37,0	36,3	+	+
4	78,0	80,0	79,0	94,0	99,0	96,5	122,1	127,3	124,7	50,3	51,1	50,7	+	+
5	86,5	90,5	88,5	66,0	69,0	67,5	108,8	113,8	111,3	37,3	37,3	37,3	+	+
6	63,5	69,5	66,5	46,0	50,0	48,0	78,4	85,6	82,0	35,9	35,7	35,8	+	+

За наличие блуждающих токов принимается замер с DU>0,04В, или, при наибольшем размахе колебаний измеряемой величины во времени – более 0,04В. Из таблицы 2 следует, что повышенный уровень БТ отмечен на четырех пунктах наблюдения изучаемой территории.

Сейсмические условия территории новой компрессорной станции Абовянского СПХГ

Абовянское специальное подземное хранилище газа (СПХГ) расположено недалеко от столицы Армении Еревана. В сейсмоактивных районах необходимо определение значения ожидаемой сейсмической опасности территории, отведенной под строительство. Обычно определение или уточнение величины ожидаемой сейсмической интенсивности проводиться в два этапа [Заалишвили и др., 2018; Чотчаев и др., 2020; Zaalishvili et al., 2020; Soupios et al., 2007]:

• На первом этапе проводятся работы по определению исходной величины ожидаемой сейсмической интенсивности. Эту величину можно определить либо на основе нормативных документов (Нормы проектирования..., 2006), либо проводятся специальные сейсмотектонические исследования в крупномасштабном формате (1:500 000, 1:200 000);

• На втором этапе проводятся работы по сейсмическому микрорайонированию (СМР), или определению величины ожидаемой сейсмической интенсивности конкретной территории, намеченной под строительство. Эти работы проводятся в мелкомасштабном формате (1:1000–1:25000 в зависимости от площади конкретной территории).

В настоящей работе исходная величина ожидаемой сейсмической интенсивности (первый этап) определена из СНИП РАШ-6.02-2006, согласно которым территория новой компрессорной станции Абовянского СПХГ находится во второй зоне с ожидаемой сейсмической опасностью I=8 баллов или PGA=0,3 g.

Основой работ по сейсмическому микрорайонированию (СМР) или определению ожидаемой сейсмической опасности (второй этап) являются инженерно-геологические материалы изучаемой территории. На основе этих материалов проводились инженерно-сейсмометрические полевые исследования с целью уточнения категорий (по сейсмическим свойствам) грунтов, слагающих данную территорию. Эти работы проводились согласно существующей методике проведения СМР (Нормы проектирования..., 2006) применяемой в РФ и РА.

Ожидаемая сейсмическая интенсивность на данной территории, намеченной под строительство новой компрессорной станции Абовянского СПХГ, определена на основе анализа инженерно-геологических материалов с учетом результатов полевых инженерно-сейсмометрических инструментальных исследований. В расчет принимались не только разрезы пробуренных скважин и физико-механические свойства слагающих территорию грунтовых разновидностей, а также результаты инженерно-сейсмометрических инструментальных исследований. Анализу подверглись результаты 40 скважин.

На основе проведенного анализа выяснено, что исследуемая территория, в основном, сложена из щебенисто-дресвяных грунтов с примесью глыб эффузивных пород андезито-базальтов, с супесчаным заполнителем до 35%, максимальная мощность которых составляет 3,8 м (скв. 52). Ниже этих грунтов залегают выветрелые базальты, максимальная мощность которых составляет 5 м (скв. 6) и 5,3 м (скв. 19), ниже которых залегают плотные долеритовые базальты мощностью больше 25 м. Поверхностный, почвенно-растительный слой супесчаного состава с максимальной мощностью 0,4 м не учитывается. По СНИП РА II-6.02-2006 первые два типа грунтов можно отнести ко второй категории по сейсмичности, суммарная максимальная мощность которых не превышает 10 м и составляет 9,2 м. Плотные долеритовые базальты – грунты первой категории. На основе требований СНИП РАII-6.02-2006 грунты, пройденные всеми 40 скважинами, можно отнести к грунтам первой категории [Dzeboev et al., 2020; Ismail-Zadeh et al., 2020; Karapetyan, Li, 2021].

С применением методики инженерно-геологических аналогий всю территорию, отведенную под строительство новой компрессорной станции Абовянского СПХГ, можно отнести к зоне сейсмичности I=7 баллов или:

PGA=0,3g'0,8=0,24g.

Инженерно-сейсмометрические исследования

Для обоснования результатов, полученных по методу инженерно-геологических аналогий, были проведены инженерно-сейсмометрические исследования. С помощью малоглубинной сейсморазведки были определены скорости распространения сейсмических волн по трем профилям (рис. 2). Измерения проводились горизонтально ориентированным сейсмоприемником СМ-3 (вертикальный удар). Ударные волны создавались импульсным возбуждением. Для обеспечения необходимой мощности возбуждения импульсное воздействие создавалось с помощью падающего груза.

По записям ударных импульсов, зарегистрированных на 8-ми точках наблюдения (рис. 2), построены спектры Фурье, определены преобладающие периоды (рис. 3).



Puc. 2. Схема инженерно-сейсмометрических наблюдений / Fig. 2. Scheme of engineering seismometric observations

После обработки полученного материала рассчитывались средние скорости прохождения поперечных волн: по всем профилям получилось $V_s = 830-1550$ м/с. Согласно СНИП РАП-6.02-2006 в грунтах первой категории скорость поперечных волн должна быть $V_s>800$ м/с.

По записям ударных импульсов были рассчитаны спектры Фурье, по которым были определены преобладающие периоды в точках наблюдений (Т/н) (рис. 3). Все полученные результаты приведены в таблице 3.



Рис. 3. Спектры Фурье преобладающих периодов T_0 по некоторым точкам наблюдений (T/н) / Fig. 3. Fourier spectra of prevailing periods T_0 for some observation points (O/p)

Таблица 3 / Table 3

Результаты наблюдений микросейсм / The observation results of microseisms

Точки наблюдения	Преобладающие	Точки наблюдения	Преобладающие	
микросейсм /	периоды, Т _{пр} (сек)	микросейсм /	периоды, Т _{пр} (сек)	
Observation points of	/ Dominant periods,	Observation points of	/ Dominant periods,	
microseism	$T_{np}(s)$	microseism	$T_{np}(s)$	
Т/н 1-1 / ОР 1-1	0,2	Т/н 2-1 / ОР 2-1	0,21-0,22	
Т/н 1-2 / ОР 1-2	0,22	Т/н 2-2 / ОР 2-2	0,22	
Т/н 1-3 / ОР 1-3	0,21-0,23	Т/н 2-3 / ОР 2-3	0,23	
Т/н 1-4 / ОР 1-4	0,23	Т/н 2-4 / ОР 2-4	0,18	
Т/н 1-5 / ОР 1-5	0,28	Т/н 2-5 / ОР 2-5	0,25	

Как видно из полученных результатов, все значения преобладающих периодов в точках наблюдения по сейсмическим свойствам соответствуют грунтам первой категории (СНИП РАШ-6.02-2006).

Результаты работы и их обсуждение

По проведенным исследованиям получены следующие результаты:

• Степень коррозионной агрессивности грунтов на площадке строительства новой компрессорной станции СПХГ по результатам измерений УЭС грунтов на глубине 2 м от уровня дневной поверхности является в основном низкой, местами высокой и средней.

• Источником блуждающих токов являются заземленные станки и компрессорные установки, трансформаторный пункт (ТП), расположенные рядом с площадкой строительства новой компрессорной станции СПХГ.

• Исходная величина ожидаемой сейсмической интенсивности территории новой компрессорной станции Абовянского СПХГ определена из СНИП РА II-6.02-2006, согласно которым она находится во второй зоне с ожидаемой сейсмической опасностью I=8 баллов или PGA=0,3 g.

• В результате комплексного изучения грунтовых условий территории новой компрессорной станции Абовянского СПХГ было установлено, что грунтовые условия данной территории соответствуют грунтам первой категории по сейсмическим свойствам.

Выводы

• Высокая коррозионная агрессивность пород в пунктах измерений ЭП-14 и ЭП-17 (табл. 1), по всей вероятности, обусловлена высокой влажностью почвенного слоя.

• Ожидаемую сейсмическую опасность исследованной территории следует характеризовать следующими величинами: I=7 баллов или PGA=0,24 g. Так как вся намеченная под строительство территория имеет значение PGA=0,24 g, то составленная карта СМР теряет смысл. Собственные преобладающие периоды колебаний грунтов получились в диапазоне T_0 =0,18–0,28 сек.

В дальнейшем, во избежание резонансных явлений, следует определить собственный период колебаний самого компрессора и сопоставить со значениями полученных собственных преобладающих периодов грунтов.

Литература

1. Бабаян Т.О., Карапетян С.С. Разработка методики сейсмического микрорайонирования на примере территорий объектов Армении. // Сборник научных трудов конференции: «Современные задачи геофизики и инженерной сейсмологии». – Ереван: Гитутюн, 2011. – С. 299–310.

2. Воскресенский Ю.Н. Полевая геофизика. – М.: Недра, 2010. – 479 с.

3. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Макиев В.Д. Макросейсмическое проявление сейсмических событий, обусловленное влиянием грунтовых условий и формирование карт сейсмического микрорайонирования. // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – Т. 8. №1. – С. 48–55. DOI: 10.23671/VNC.2018.1.11247.

4. Инструкция по электроразведке. – М.: Недра, 1984. – 351 с.

5. Киселев В.Е. Влияние переменных блуждающих токов на скорость коррозийных процессов. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. – 2011. – №1. – С. 69–74.

6. Кочешкова Л.Г., Кочева Е.А., Палашов В.В. Расчет электрических параметров в грунтовых и водных средах. // Успехи современного естествознания. – 2012. – №6. – С. 170–172.

7. Минасян Р.С., Карапетян Дж.К., Карамян Р.А., Игитян А.А., Геворгян А.А., Нургалиев Д.К., Крылов П.С., Даутов А.Н., Ясонов П.Г., Кузина Д.М. Палеогидрогеологические и геофизические исследования в связи с реконструкцией палеоклимата бассейна озера Севан (Армения). // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. №1. – С. 122–134. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26793.

8. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. – М.: Недра, 1990. – 501 с.

9. Тараканов А.И. Специфика инженерных изысканий для строительства газопромыслового комплекса на Камчатке. // Инженерные изыскания, 2014. – №3. –

11 (4) 2021

C. 11–15.

10. Чилингарян А.З., Акопян Л.В. Характер поля блуждающих токов при наличии высокоомных пластообразных тел. // В сборнике науч. трудов конф., посв. 50-летию основания ИГИС НАН РА. – Ереван: Гитутюн, 2011. – С. 288–294.

11. Чотчаев Х.О., Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. Влияние геодинамических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №4. – С. 70–100. DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005

12. Boadu F.K., Ampadu S. Assessing Relations Between Electrical and Geotechnical Properties of Sand-clay Mixtures Using Jonscher Fractal Power Law Model. // Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 2019. – Vol. 24. No.1. – pp. 77–85. doi:https://doi.org/10.2113/JEEG24.1.77

13. Dzeboev B.A., Karapetyan J.K., Aronov G.A., Dzeranov B.V., Kudin D.V., Karapetyan R.K., Vavilin E.V. FCAZ-recognition based on declustered earthquake catalogs. // Russian Journal of Earth Sciences. – 2020. – Vol. 20. No.6. ES6010. DOI: 10.2205/2020ES000754.

14. Ismail-Zadeh A., Adamia S., Chabukiani A., Chelidze T., Cloetingh S., et al. Geodynamics, seismicity and seismic hazards of the Caucasus. // Earth Sci. Rev. – 2020. – Vol. 10. Article 103222. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103222

15. Karapetyan J.K., Li L. Comprehensive Studies of Seismic Forecast and Seismic Hazard Assessment in Armenia, Current State and Prospects. // Acta Geologica Sinica (English Edition). – 2021. – Vol. 95. – pp. 55–58. https://doi.org/10.1111/1755-6724.14831.

16. Saribudak M., Rucker D.F., Haas A. Electrical Resistivity Imaging near Abandoned Steel Oil Wells: Five Case Studies, USA. // Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 2020. – Vol. 25. No.4. – pp. 545–556. https://doi.org/10.32389/JEEG20-048

17. Parsekian A.D., Claes N., Singha K., Minsley B.J., Carr B., Voytek E., Harmon R., Kass A., Carey A., Thayer D., Flinchum B.. Comparing Measurement Response and Inverted Results of Electrical Resistivity Tomography Instruments. // Journal of Environmental and Engineering Geophysics. – 2017. – Vol. 22(3). – pp. 249–266.

18. Redman J.D., Annan A.P., Diamanti N. Measurement of Bulk Electrical Properties Using GPR with a Variable Reflector. // Journal of Environmental and Engineering Geophysics. – 2018. – Vol. 23. – pp. 489–496.

19. Rucker D.F., Noonan G.E., Greenwood W.J. Electrical resistivity in support of geologic mapping along the Panama Canal. // Engineering Geology, 2011. – Vol. 117(1-2). – pp. 121–133.

20. Soupios P., Georgakopoulos P., Papadopoulos N., Vallianatos F. Use of Engineering Geophysics to Investigate a Site for a Building Foundation. // Journal of Geophysics and Engineering. -2007. - Vol. 4. No.1. - pp. 94-103.

21. Zaalishvili V.B., Pinar A., Erdik M., Burdzieva O.G, Melkov D.A. Issues of seismic risk assessment of Vladikavkaz city. // Geology and Geophysics of Russian South. – 2020. – Vol. 10. No.3. – pp. 94–113. DOI: 10.46698/VNC.2020.47.51.006.

References

1. Babayan T.O., Karapetyan S.S. Development of a methodology for seismic microzonation on the example of the territories of objects in Armenia. In: Proceedings of the conference "Modern problems of geophysics and engineering seismology". Yerevan, Gitutyun, 2011. pp. 299–310. (In Russ.)

2. Voskresensky Yu.N. Field geophysics. Moscow. Nedra, 2010. 479 p. (In Russ.)

3. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Makiev V.D. Macroseismic evidence of seismic events caused by influence of ground conditions and formation of maps of seismic microzonation. Geology and Geophysics of Russian South. 2018. Vol. 8. No. 1. pp. 48–55. DOI: 10.23671/ VNC.2018.1.11247. (In Russ.)

4. Instructions for electrical exploration. Moscow. Nedra, 1984. 351 p. (In Russ.)

5. Kiselev V.E. The influence of alternating stray currents on the rate of corrosion processes. Scientific and technical journal of SPbSPU. Nauka i obrazovanie. 2011. No. 1. pp. 69–74. (In Russ.)

6. Kocheshkova L.G., Kocheva E.A. Palashov V.V. Calculation of electrical parameters in soil and water environments. Successes of modern natural science. 2012. No. 6. pp. 170–172. (In Russ.)

7. Minasyan R.S., Karapetyan J.K., Karamyan R.A., Igityan A.A., Gevorgyan A.A., Nurgaliev D.K., Krilov P.S., Dautov A.N., Yasonov P.G., Kuzina D.M. Paleohydrogeological and geophysicalresearch aimed at reconstruction of paleoclimate in lake Sevan basin, Armenia. Geology and Geophysics of Russian South. 2019. Vol. 9. No. 1. pp. 122–134. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26793. (In Russ.)

8. Ogilvi A.A. Fundamentals of engineering geophysics. Moscow. Nedra, 1990. 501 p. (In Russ.)

9. Tarakanov A.I. Specificity of engineering surveys for the construction of a gas production complex in Kamchatka. Engineering surveys, 2014. No. 3. pp. 11–15. (In Russ.)

10. Chilingaryan A.Z., Akopyan L.V. The nature of the field of stray currents in the presence of high-resistance sheet-like bodies. In: Proceedings of the Conference dedicated to the 50th anniversary of the foundation of ISIS NAS RA. Yerevan, Gitutyun, 2011. pp. 288–294. (In Russ.)

11. Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Influence of geodynamic processes on the geoecological state of high mountain areas. Geology and Geophysics of Russian South. 2020. Vol. 10. No.4. pp. 70-100. DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005 (In Russ.)

12. Boadu F.K., Ampadu S. Assessing Relations Between Electrical and Geotechnical Properties of Sand-clay Mixtures Using Jonscher Fractal Power Law Model. Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 2019. – Vol. 24. No.1. – pp. 77–85. DOI: 10.2113/ JEEG24.1.77

13. Dzeboev B.A., Karapetyan J.K., Aronov G.A., Dzeranov B.V., Kudin D.V., Karapetyan R.K., Vavilin E.V. FCAZ-recognition based on declustered earthquake catalogs. Russian Journal of Earth Sciences. 2020. Vol. 20. No.6. ES6010. DOI: 10.2205/2020ES000754.

14. Ismail-Zadeh A., Adamia S., Chabukiani A., Chelidze T., Cloetingh S., et al. Geodynamics, seismicity and seismic hazards of the Caucasus. Earth Sci. Rev. 2020. Vol. 10. Article 103222. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103222

15. Karapetyan J.K., Li L. Comprehensive Studies of Seismic Forecast and Seismic Hazard Assessment in Armenia, Current State and Prospects. Acta Geologica Sinica (English Edition). 2021. Vol. 95. pp. 55–58. DOI: 10.1111/1755-6724.14831.

16. Saribudak M., Rucker D.F., Haas A. Electrical Resistivity Imaging near Abandoned Steel Oil Wells: Five Case Studies, USA. Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 2020. Vol. 25. No.4. pp. 545–556. DOI: 10.32389/JEEG20-048

17. Parsekian A.D., Claes N., Singha K., Minsley B.J., Carr B., Voytek E., Harmon R., Kass A., Carey A., Thayer D., Flinchum B.. Comparing Measurement Response and Inverted Results of Electrical Resistivity Tomography Instruments. Journal of Environmental and Engineering Geophysics. 2017. Vol. 22(3). pp. 249–266.

18. Redman J.D., Annan A.P., Diamanti N. Measurement of Bulk Electrical Properties Using GPR with a Variable Reflector. // Journal of Environmental and Engineering Geophysics. 2018. Vol. 23. pp. 489–496.

19. Rucker D.F., Noonan G.E., Greenwood W.J. Electrical resistivity in support of geologic mapping along the Panama Canal. Engineering Geology, 2011. Vol. 117(1-2). pp. 121–133.

20. Soupios P., Georgakopoulos P., Papadopoulos N., Vallianatos F. Use of Engineering Geophysics to Investigate a Site for a Building Foundation. Journal of Geophysics and Engineering. 2007. Vol. 4. No.1. pp. 94–103.

21. Zaalishvili V.B., Pinar A., Erdik M., Burdzieva O.G, Melkov D.A. Issues of seismic risk assessment of Vladikavkaz city. Geology and Geophysics of Russian South. 2020. Vol. 10. No.3. pp. 94–113. DOI: 10.46698/VNC.2020.47.51.006.