

## 3D ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ЧАСТИ ОЗЕРА МУХАММЕДЛИ АБШЕРОНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

*А.М. Саламов, В.А. Мамедов, О.Ф. Наджафов*

*Институт Геологии и Геофизики НАН Азербайджана*

**Ключевые слова:** экзогенные геологические процессы, геофизические исследования, электроразведка, метод вертикального электрического зондирования, микроэлементы, антропогенная нагрузка, донные отложения

### Введение

В результате исследований методом вертикального электрического зондирования в прибрежной части оз. Мухаммедли были уточнены геологические, гидрогеологические и инженерно-геофизические условия территории. Выявлены разрывные нарушения слоёв, места прогнозируемых экзогенных геологических процессов, а также химический состав водной среды озера и донных отложений.

Озеро Мухаммедли расположено в Абшеронском полуострове, севернее г. Баку у населенного пункта Мухаммедли Сабунчинского района. Абсолютная высота поверхности озера ~ 10 м (рис.1).

техногенезом загрязнённых озёр, а также Джейранбатанского водохранилища, Самур-Дивичинского и Абшеронского магистральных каналов.

Среднегодовая температура воздуха в районе исследования составляет 13,5 °С, на поверхности почвы 16 °С. Количество атмосферных осадков за год составляет 310 мм, возможная испаряемость приблизительно 1000 мм. Снежных дней в году не более 10.

Мощность четвертичных осадочных отложений на площади исследования изменяется в пределах 10 - 80 м. Они представлены породами морского и континентального происхождения и различным литологическим составом, мощности



**Рис.1.** План расположения геофизических профилей (а) и общий вид оз. Мухаммедли (б)



1 – точки измерений и их номера; 2 – линии геофизических профилей; 3 – место отбора пробы воды (1) и донных отложений (2)

Гидрографическая сеть полуострова весьма бедна. Она состоит из нижнего течения р. Сумгаит, протекающей в северо-западной части полуострова и большого количества солёных и

слоев отдельных литологических разностей не превышает 3 - 20 м.

Характерной чертой природы Абшерона, в том числе площади геофизического исследования яв-

ляются озера, измененные в результате техногенеза, одним из которых является оз. Мухаммедли.

В естественном состоянии это озеро было эфемерным – с наибольшей глубиной  $\leq 0,5$  м, рапным – с минерализацией  $\approx 250$  мг/дм<sup>3</sup> и в теплый период года, высыхая, оставляет на дне покрытие из солей (NaCl).

Начиная со второй половины XX века, с ростом населения, отраслей хозяйства, водопотребления и т.д., увеличивается антропогенная нагрузка на оз. Мухаммедли, которая выражается в увеличении площади водной поверхности до 1 км<sup>2</sup> и уменьшении минерализации до 15-20 мг/дм<sup>3</sup>. По гидрохимической классификации О.А. Алекина (1970) они относятся к группе натриума, хлоридного класса [1].

Коммунально-бытовые и остаточные воды сельхозугодий существенно загрязнили водную среду и донные отложения озера. В гранулометрическом составе донных отложений 41,2 % принадлежат фракциям диаметром 0,01-0,5 мм, а 70 % мелких фракций ( $d < 0,01$  мм) составляют пелиты [3].

В минералогическом составе седиментов преобладают кварц (26%), монтмориллонит (20 %) и кальцит (17 %), а среди породообразующих компонентов -  $S_iO_2$ .

В микроэлементном составе донных отложений выше их кларка (в осадочных породах) оказались Cd и Zn, что характерно для многих загрязненных озер Абшерона.

### Методика и интерпретация исследований

Полевые геофизические работы выполнены по четырем профилям (профили II-II, III-III расположены в СЗ-ЮВ, а I-I, IV-IV в СВ-ЮЗ направлениях) с применением четырёхэлектродной симметричной установки АМNB (см. рис. 1).

Как известно, в основе современной теории электроразведочного метода ВЭЗ (вертикальное электрическое зондирование) лежит математическая модель Шлюмберже [4, 6]. Она позволяет рассчитывать кажущееся электрическое сопротивление –  $\rho_k$  многослойной среды с горизонтальными границами раздела в зависимости от удельного электрического сопротивления –  $\rho_{y.z.c.}$  и мощности отдельных слоёв, а также размеров измерительной установки ВЭЗ. Однако исполь-

зование данной модели исключает возможность однозначного решения обратной задачи – определения по совокупности значений кажущегося сопротивления –  $\rho_k$ , полученных при измерениях различными установками, глубины залегания горизонтальных границ раздела и удельных электрических сопротивлений отдельных слоев [4].

Данная цель может быть в значительной мере достигнута путем построения новой модели, основанной на введении следующих упрощающих предположений о характере распределения тока в горизонтально-слоистой среде при размещении электродов на дневной поверхности, т.е:

- замеряемая величина  $\rho_k$  характеризует разрез до некоторой глубины  $H$ , целиком определяемой соотношением между размерами приемной (MN) и питающей (AB) линий, причем при  $MN \ll AB$  величина  $H$  составляет  $AB/2$  (MN должен быть практически не более  $0,1 AB$ );

- величина  $\rho_k$  определяется только вертикальной составляющей плотности тока, т.е. представляет собой некоторую осредненную электрическую характеристику среды в вертикальном направлении, зависящую от удельных электрических сопротивлений  $\rho_i$  каждого слоя, причем “вклад” в величину  $\rho_k$  каждого  $\rho_i$  зависит от мощности данного слоя  $h_i$ .

Принятые допущения позволяют сконструировать следующую простую формулу, устанавливающую соответствие между совокупностью значений ( $\rho_i, h_i$ )  $n$  – послойного разреза и величиной  $\rho_k$ :

$$\rho_k = (\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 + \dots + \rho_n h_n) / (h_1 + h_2 + \dots + h_n) =$$

$$\sum_{i=1}^n h_i \rho_i / \sum_{i=1}^n h_i \quad (1),$$

$$\text{где } \sum_{i=1}^n h_i = H_{i,m},$$

$H_{i,m}$  – глубина залегания подошвы  $n$ -ого слоя.

Согласно принятому допущению, величина  $H_i$  полностью определяется соотношением между MN и AB и, следовательно, является известной формулой (1) и может быть использована для решения обратной задачи – определения параметров геоэлектрического разреза по совокупности значений  $\rho_k$ , полученных при различных размерах измерительной установки. Действительно, имея ряд последовательных значений  $\rho_{ki}$  и  $H_i$

( $i=1, 2, \dots, n$ ), можно последовательно определить  $h_i$  и  $\rho_i$ , т. е. мощности и удельные сопротивления каждого слоя [4].

Значит для любого  $i$ -го слоя  $h_i = H_i - H_{i-1}$  или  $h_i = (AB/2)_i - (AB/2)_{i-1}$ . (2)

Для вычисления кажущегося электрического сопротивления  $\rho_k$  использовалась формула

$$\rho_{ki} = \kappa_{вэз.i} \times \Delta U_{i,m} / I_{i,m} A [6]. \quad (3)$$

А для определения удельного электрического сопротивления отдельных слоев применяется формула (4), когда  $\rho_i > \rho_{i-1}$ :

$$\rho_i = [\rho_{ki} \times (AB/2)_i - \rho_{ki-1} \times (AB/2)_{i-1}] / [(AB/2)_i - (AB/2)_{i-1}] [2, 4]; \quad (4)$$

а в случае  $\rho_{i-1} > \rho_i$  формула -

$$\rho_i = [(AB/2)_i - (AB/2)_{i-1}] \times \rho_{ki-1} \times \rho_{ki} / [\rho_{ki-1} \times (AB/2)_i - \rho_{ki} \times (AB/2)_{i-1}] [5]. \quad (5)$$

Выражения (2), (3) и (4) являются основными расчетными формулами в предлагаемом способе определения параметров геоэлектрического разреза по данным ВЭЗ для установок с  $MN \ll AB$ .

Как следует из формул (2), (4) и (5), использование предложенной модели обеспечивает возможность определения мощности и удельного электрического сопротивления любого слоя независимо от параметров вышележащей толщи.

С целью детального расчленения разреза и более точного определения глубины залегания отдельных литологических разновидностей, принимая во внимание вышеизложенное, в результате проведенных опытных измерений методом ВЭЗ, были установлены размеры питающей  $AB/2$  и приемной линии  $MN/2$  соответственно  $AB/2 = 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 10; 12; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 24; 24; 26; 26; 28; 30; 32; 34; 36; 36; 38; 38; 40; 40;$  и  $MN/2 = 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 0,3; 1; 0,3; 1; 1; 1; 1; 1; 1; 1,2; 2,1; 2; 2; 2; 2; 2; 2,3; 2,3; 2,3$  [4].

Увеличение количества измерений в одной точке наблюдения дало возможность выявлять маломощные слои в геологическом разрезе площади исследования.

Для измерения полевых замеров использовалась электроразведочная аппаратура АМС-1 с рабочей частотой 4,88 Гц. Измерительная установка была ориентирована по направлению с северо-запада на юго-восток.

Целями проведения геофизических исследований являлись:

- детальное расчленение геологического раз-

реза до глубины 40 м;

- выявление и прослеживание разрывных нарушений;

- определение предполагаемых площадей развития экзогенных геологических процессов (ЭГП) и некоторых физических параметров геологического разреза;

- построение 3D модели площади исследования.

Необходимо отметить, что раньше на данной площади инженерно-геологические и геофизические исследования не проводились.

Полевые геофизические наблюдения проводились с применением метода вертикального электрического зондирования (ВЭЗ).

### Обсуждения результатов исследований

Как было отмечено ранее, на площади проводились геофизические исследования методом электроразведки – ВЭЗ по четырем профилям – II-II, III-III СЗ-ЮВ и I-I, IV-IV СВ-ЮЗ направления (см. рис. 2).

В результате проведенных работ были составлены предполагаемые литолого-геофизические разрезы, карты мощностей отложений, подверженных экзогенным геологическим процессам (ЭГП), плотность пород и плотность отложений под водой, а также 3D модель площади исследования.

На отдельных участках исследуемой территории прослеживается уменьшение удельного электрического сопротивления пород, а также снижение плотности отложений, что дает возможность выделить потенциальные участки развития экзогенных геологических процессов.

На составленных литолого-геофизических разрезах выделены три слоя разного литологического состава пород. Удельное электрическое сопротивление –  $\rho_{у.э.с.}$  по площади исследования меняется в интервале 0,2 - 25 Ом·м. Мощность первого слоя на поверхности площади исследования (делювий с  $\rho_{у.э.с.}$  5 - 20 Ом·м) составляет 1 - 7,5 м. Этим слоем покрыта вся площадь исследования, мощность которой по территории часто меняется.

В подошве первого слоя прослеживается слой мощностью 2 - 7 м, с  $\rho_{у.э.с.}$  2 - 5 Ом·м, предположительно представленный глинами.

Мощность третьего слоя меняется в интервале

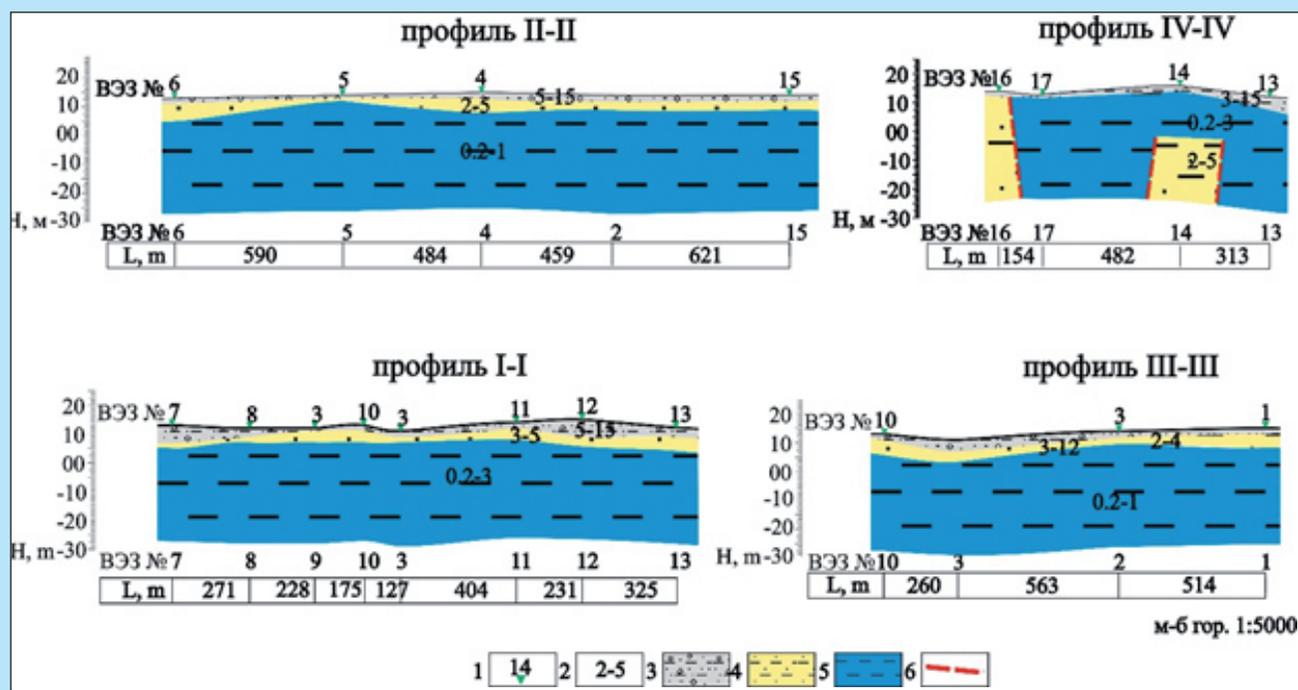


Рис. 2. Предполагаемые литолого-геофизические разрезы, построенные по данным геофизических исследований (методом ВЭЗ)

1 – точки измерения ВЭЗ и их номера; 2 – удельное электрическое сопротивление литологического состава пород; 3 – делювиальные отложения; 4 – глины; 5 – глины с повышенной соленостью; 6 – предполагаемые разрывные нарушения, выявленные по результатам геофизических исследований – ВЭЗ

27 - 35 м, с  $\rho_{у.э.с.}$  0,2 - 2 Ом·м; предполагается, что он составлен из глин с повышенной соленостью (см. рис. 2).

На профиле IV-IV в интервалах ВЭЗ № 13-14 и 16-17 выделены крутопадающие разрывные нарушения. На карте предполагаемых мощностей, характеризующейся площадью развития ЭГП в прибрежной части оз. Мухаммедли, мощность отложений меняется в интервале от 2 до 7,5 м. (рис.3, а).

В основном эти отложения развиты в северо-западной и юго-восточной частях озера. В северо-западной части мощность этих отложений составляет 7,5 м, а к юго-востоку уменьшаются до 2 м.

На карте предполагаемой плотности отложений, под-

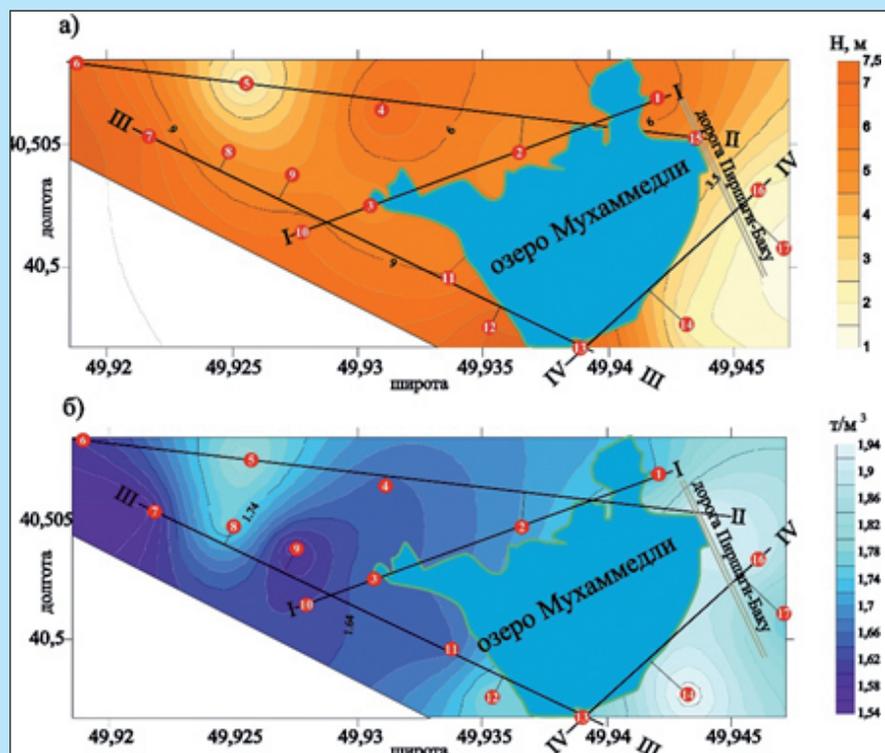


Рис.3. Карты предполагаемых мощностей осадочных отложений (а) и плотности пород (б), подверженных ЭГП на площади геофизических исследований

верженной ЭГП, плотность этих пород носит мозаичный характер и меняется в интервале 1,54 – 1,94 т/м<sup>3</sup> (рис. 3, б). В южных и восточных частях плотность этих отложений меняется в интервале 1,78 - 1,94, а к северо-западу – 1,54 – 1,74 т/м<sup>3</sup>.

Карты осадочных отложений предполагаемых плотностей пород под водой (рис. 4, а), подверженной ЭГП, означает, что площадь исследования виртуально погружена под воду.

По карте предполагаемой плотности пород под водой намечается развитие ЭГП на площади исследования, где плотность пород под водой меняется в интервале от 0,5 до 1,4 т/м<sup>3</sup> (рис. 4, а).

дования, что показано на карте результатов геофизических исследований (рис. 4, б).

По данным построенных на основе кажущегося электрического сопротивления 3D моделей отложений геологической среды можно сказать, что в основном слои имеют горизонтальное простирание. Они мало деформированы и можно сказать прослеживаются по всей площади исследования (рис. 5).

В районе ВЭЗ № 16 прослеживается разрывное нарушение с крутым падением. С увеличением глубины кажущиеся сопротивления пород, которыми сложен геологический разрез, уменьшаются.

**Выводы**

1. Установлено, что геологический разрез площади исследования на поверхности в основном сложен из делювиальных отложений, глин и глин с повышенной соленостью.

2. С увеличением глубины геологического разреза прослеживается снижение удельного электрического сопротивления пород площади исследования, а также увеличение естественной влажности и солонатовости отложений.

3. Прогнозируется развитие ЭГП в основном в северо-западной и юго-восточной частях оз. Мухаммедли и в интервалах ВЭЗ № 13-14 и 16-17 выделены крутопадающие разрывные нарушения.

4. По построенным на основе данных кажущегося электрического сопротивления 3D моделей отложений геологической среды можно сказать, что в основном слои имеют горизонтальное направление.

Принимая во внимание то, что рельеф площади исследования носит спокойный характер, а также то, что слои, слагающие геологический разрез, слабо деформированы, на участке проведенных геофизических работ прогнозируется в основном развитие псевдо-карстов и оседаний.

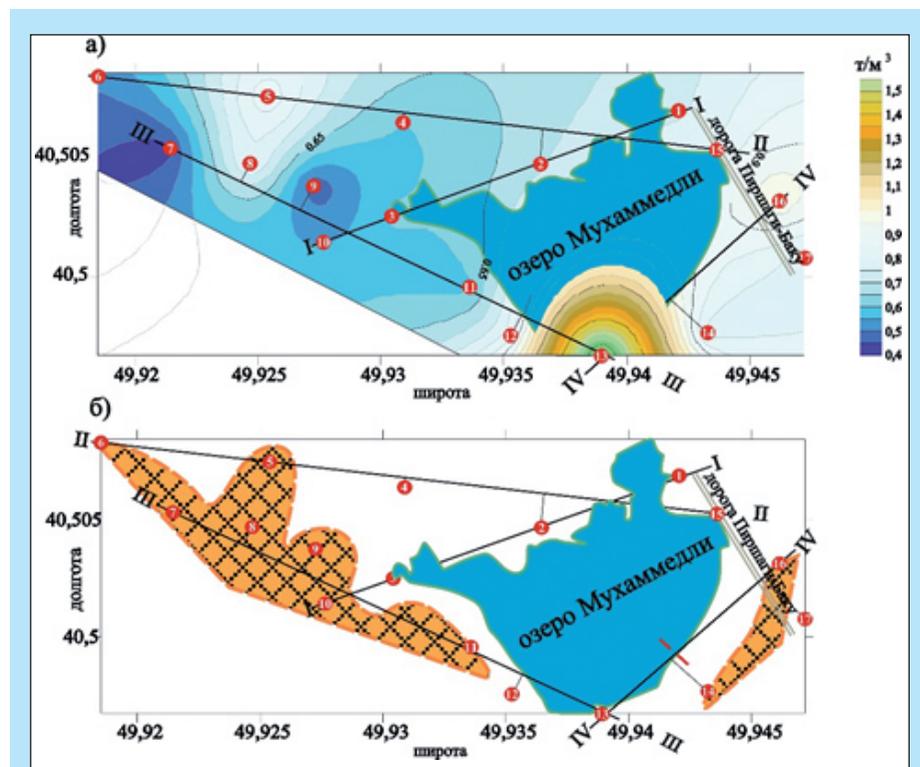


Рис. 4. Карты осадочных отложений предполагаемых плотностей пород под водой (а), подверженных ЭГП, и результаты геофизических исследований (б)



1 – номера точек ВЭЗ; 2 – линии геофизических профилей; 3 – предполагаемые разрывные нарушения; 4 – площади предполагаемого развития ЭГП

А в северо-западной части площади работ наблюдается снижение значения показателей плотности пород под водой (в интервале 0,65 - 0,9 т/м<sup>3</sup>). Снижение показателей плотности отложений, слагающих площадь исследования, дает основание предполагать, что ЭГП в основном будет развиваться в северо-западной части площади исследова-

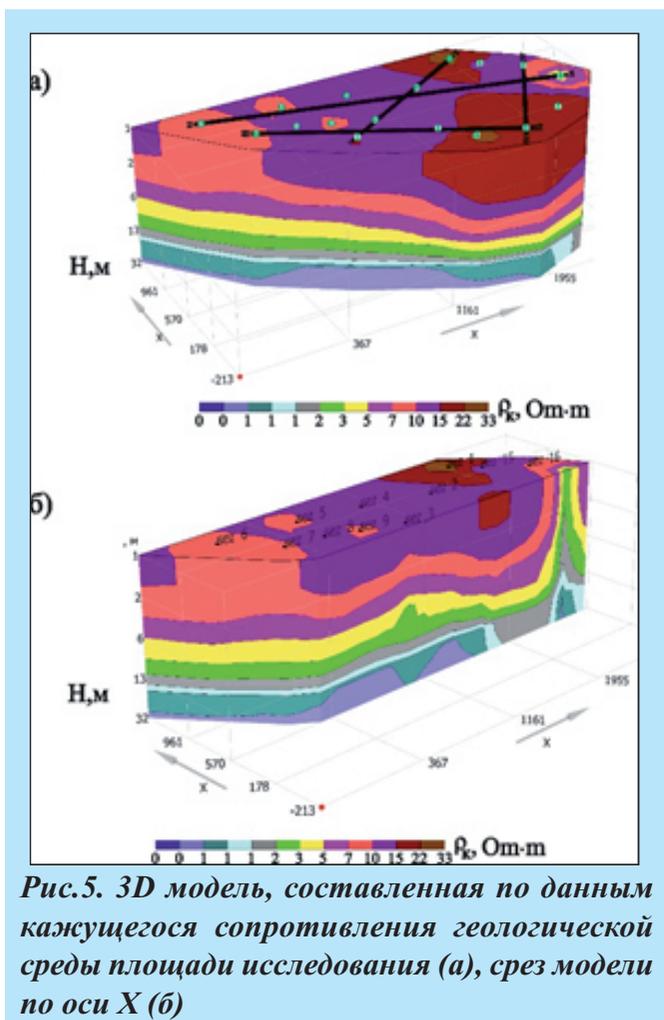


Рис.5. 3D модель, составленная по данным кажущегося сопротивления геологической среды площади исследования (а), срез модели по оси X (б)

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Алекин О.А., 1970. Основы гидрохимии. - Л.: «Гидрометеиздат», 444 с.
2. Галин Д.Л., 1989. Интерпретация данных инженерной геофизики. - М.: «Недра», 114 с.
3. Мамедов В.А., 2003. Гранулометрические, минералогические и химические особенности донных отложений озер Абшерон-Гобустана. // Известия НАНА, серия Науки о Земле, № 2, с.58 - 68.
4. Попов Е.А., Тен К.М., Фунтиков Г.Н., Селяков В.И., Глушко С.П., 1990. Методические рекомендации по использованию ВЭЗ для детального расчленения разреза при решении геологических и инженерно-геологических задач. - М.: Рота-принт, 52 с.
5. Саламов А.М., Кадыров А.Г., Саламов Ф.А., Пашаев Т.Р., 2015. Исследование оползня в Хызынском районе Азербайджана методом вертикального электрического зондирования. // Инженерные изыскания, N 5-6, с.50 - 56.
6. Якубовский Ю.В., Ренард И.В., 1991. Электроразведка. - М.: «Недра», 359 с.

A.M.Salamov, V.A.Məmmədov, O.F.Nəcəfov

### ABŞERON YARIMADASINDA MƏHƏMMƏDLİ GÖLÜNÜN SAHİLƏYAXIN HİSSƏSİNDƏ EKZOGEN GEOLOJİ PROSESLƏRİN İNKİŞAFININ PROQNOZLAŞDIRILMASI VƏ 3D GEOFİZİKİ MODELİ

#### XÜLASƏ

Məhəmmədli gölünün sahiləyaxın hissəsində şaquli elektrik zondlama üsulu ilə aparılmış tədqiqatlar nəticəsində ərazinin geoloji, hidrogeoloji və mühəndisi-geofiziki şəraiti dəqiqləşdirilmişdir. Layların qırılmaları pozulması, ekzogen geoloji proseslərin proqnozlaşdırıldığı yerlər, həm də gölün kütləsi və dib çöküntülərinin kimyəvi tərkibi müəyyənləşdirilib.

A.M.Salamov, V.A.Mammadov, O.F.Najafov

### 3D GEOPHYSICAL MODEL AND PREDICTION OF EXOGENIC GEOLOGICAL PROCESSES DEVELOPMENT IN LIMNETIC ZONE OF MUKHAMMADLI LAKE OF ABSHERON PENINSULA

#### ABSTRACT

As a result of research carried out in limnetic zone of Mukhammadli lake by method of vertical electro sounding all geological, hydrogeological and engineering site conditions of the territory were defined. Disjunctive breaks in layers, areas with predicted exogenic geological processes and also chemical composition of water medium in lake and in bottom sediments were revealed.