

Исследование оползневых процессов методом ВЭЗ береговой зоны водохранилища Тахтакерпю (юго-восточный склон Большого Кавказа)

*А.М. Саламов¹, В.А. Мамедов¹, Х.Х. Халилова², А.Г. Заманова¹,
Э.Э. Гасымов¹, 2021*

¹Институт геологии и геофизики НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

²Институт физики НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

Поступила 14 июля 2021 г.

Методом вертикального электрического зондирования исследованы оползнеопасные участки на береговой зоне нижнего бьефа водохранилища Тахтакерпю, расположенного на аридно-холмистой части юго-восточного склона горной системы Большого Кавказа (Азербайджан). Район исследования в целом геоактивен, осложнен сейсмичностью (с интенсивностью 8—9 баллов по шкале MSK-64), вертикальными (поднятие земной коры около +6 мм/год) и горизонтальными движениями (4 ± 1 мм/год, в целом северо-северо-восточного направления), оползнями (более пяти очагов), а также деятельностью грязевого вулкана Гайнарджа, который имеет вид холма, сложенного брекчией диаметром ≥ 100 м, с грифонами.

В тектоническом отношении грязевой вулкан приурочен к сводовой части одноименной антиклинали, расположен в правобережной зоне, вблизи воды водохранилища Тахтакерпю, вследствие чего изверженные продукты грязевого вулкана соприкасаются с водной средой. В геологическом строении территории доминируют породы верхнего неогена (N₂). В литологическом отношении они состоят в основном из глин и глинистых пород. Грунтовые воды встречаются спорадически, общая минерализация около 7 г/л. Геологические разрезы района исследования изучены до глубины 40 м, описаны мощность и состав отдельных слоев горных пород. Построены 3D модели площади исследования — полные, в произвольном срезе, а также по осям X, Y, Z. Установлено, что слои, слагающие геологический разрез района, в результате геодинамических процессов подвержены действиям пликативных дислокаций. Предполагается, что оползни в изучаемом районе в основном формируются на контакте аллювиально-делювиальных отложений с коренными породами. Одна из основных причин образования оползневых явлений, видимо, связана с крутизной склонов и слагающих их пород, которые, впитывая атмосферные осадки, переувлажняются. Выявлены глубины залегания предполагаемых плоскостей скольжения в отдельных оползневых блоках, определены мощность и направление движения оползневого тела.

Ключевые слова: геофизические исследования, вертикальное электрическое зондирование, 3D модель, удельное сопротивление, водохранилище, порода, оползни.

Введение. В настоящее время наиболее применяемым методом инженерно-геологических исследований (в зависимости от поставленной задачи) является вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) использованием постоянного тока. Нами этот

метод был использован на нижнем бьефе водохранилища Тахтакерпю, расположенном в северо-восточной части Республики Азербайджан в 3,5 км южнее г. Шабран.

Климат района умеренно теплый, аридный. Гидрографическая сеть здесь очень бедна

и представлена р. Тахтакерпю со среднегодовым расходом воды $0,3 \text{ м}^3/\text{с}$ и водохранилищем Тахтакерпю с площадью водной поверхности $8,71 \text{ км}^2$ полным объемом $270 \times 10^6 \text{ м}^3$. Вокруг водохранилища находятся невысокие холмы, платообразные возвышенности, балки и долины с относительной высотой около $60—350 \text{ м}$. На южном окончании водохранилища расположена впадина, именуемая оз. Шорнохур.

Геологическое изучение района было начато в 20-х годах прошлого века и продолжается до настоящего времени.

По заказу Международной инженерной службы «Темелсу» в 2007 г. строительство водохранилища и ГЭС «Тахтакерпю» выполнено компанией «Qrunt Geo». На территории исследования производились инженерно-геологические, геотехнические и гидрогеологические съемки.

Как известно, с оползновыми явлениями приходится встречаться повсеместно как на горных и равнинно-холмистых местах, так и по берегам рек, озер, водохранилищ и морей. Оползневые процессы с использованием метода ВЭЗ изучались и в некоторых других объектах [Mammadov et al., 2019; Salamov et al., 2019, 2020].

Можно сказать, что оползни в данном районе в основном происходят на контакте аллювиально-делювиальных отложений с коренными породами. Одна из основных причин образования этих явлений предположительно связана с крутизной склонов и слагающих их пород, которые в результате впитывания атмосферных осадков переувлажняются.

Изучение геологического строения оползневой массы решает две основные задачи: определение внешних границ оползня и между отдельными его блоками, а также определение глубины залегания поверхности скольжения. Эти задачи тесно связаны друг с другом, и их решение следует рассматривать как единый процесс изучения оползневой массы [Огилви, 1990].

Необходимо отметить, что изучение оползневых процессов является одним из слож-

ных инженерно-геологических исследований. Развитие оползневых процессов на территории городов, а также в береговых зонах водохранилищ, в частности «Тахтакерпю», наносит огромный ущерб экономике, а также создает проблемы для работы ГЭС. Принимая во внимание существующую опасность, исследование оползневых явлений является актуальным.

Цель проведения электроразведочных работ — изучение предполагаемых оползневых явлений и ареал их распространения на береговой зоне водохранилища.

Геофизические исследования проводились в девяти физических точках по восьми профилям общей длиной 246 пог. м в январе 2020 г. следующим образом (рис. 1):

- расчленение геологического разреза до глубины 40 м ;
- выявление и прослеживание разрывных нарушений;
- определение глубины залегания предполагаемой плоскости скольжения оползней. Необходимо отметить, что раньше на данном участке исследования ВЭЗ не проводились.

Геологическое строение и тектоника. В геологическом строении территории в основном развиты породы нижнего плиоценового (N_2^{1b}) возраста. Территория водохранилища и окаймляющие его водоразделы по периметру расположены на породах продуктивной толщи, местами на нижней части по оси водохранилища встречаются породы верхнего плиоценового возраста. Отложения продуктивной толщи состоят из трех залегающих согласно и чередующихся отделов. В литологическом отношении геологический разрез сложен на поверхности в основном делювиальными отложениями, глинами с прослойками маломощных песков и глинистыми песчаниками. Мощность этих слоев примерно $1—18 \text{ м}$. С тектонической точки зрения район расположен на границе Гусар-Девичинского геосинклинали в северо-восточном крыле Гайнарджинской антиклинали шириной 7 и длиной $70—80 \text{ км}$, которая прослеживается с

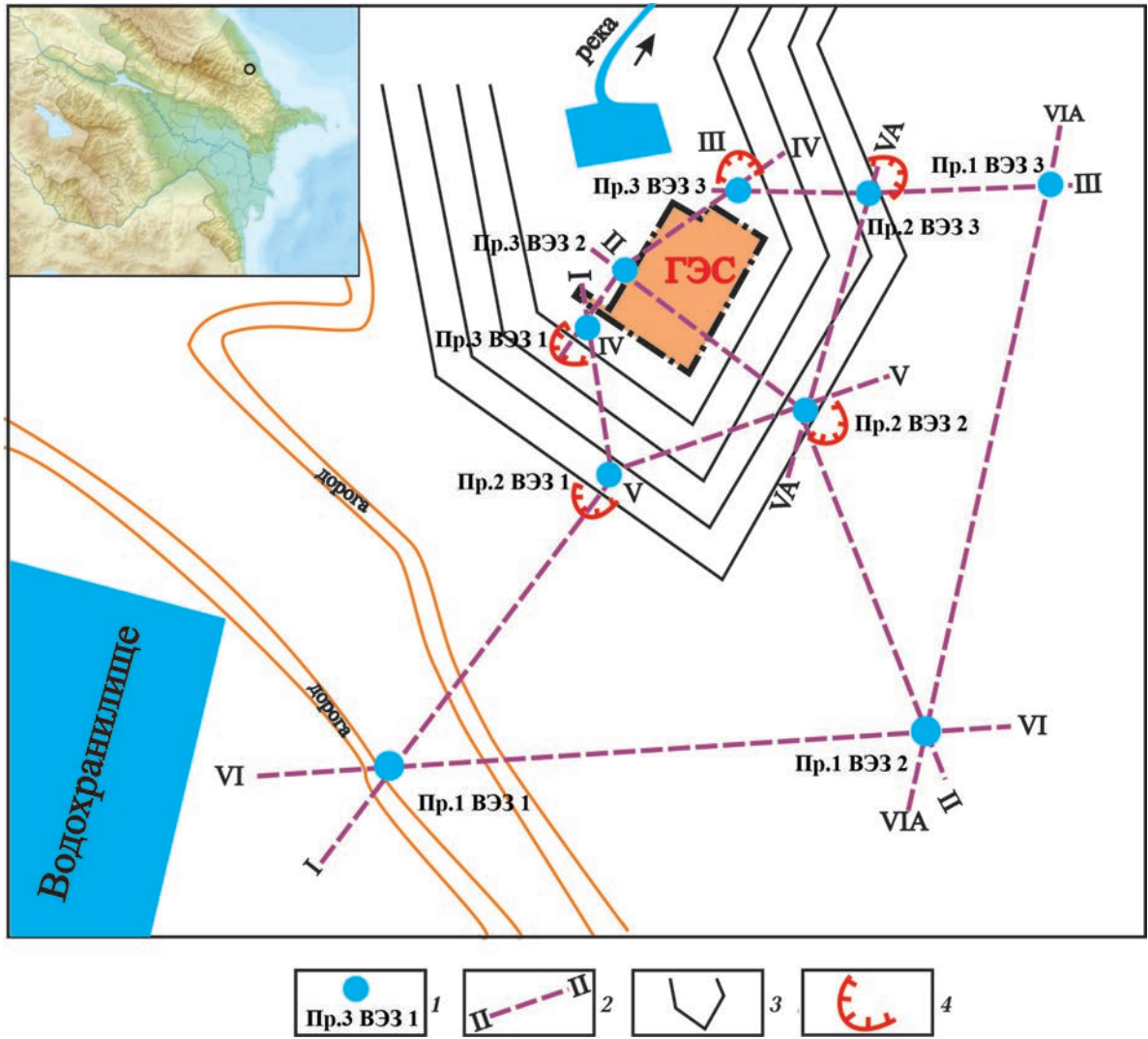


Рис. 1. Район расположения геофизических исследований: 1 — точки ВЭЗ, профилей и их номера; 2 — линии геофизических профилей; 3 — линии ступеней искусственных террас, 4 — предполагаемые участки и направления оползня.

Fig. 1. Layout of geophysical profiles: 1 — VES points, profiles and their numbers; 2 — lines of geophysical profiles; 3 — lines of steps of artificial terraces; 4 — prospective landslide areas and directions, identified according to geophysical research data.

северо-запада на юго-восток. К северо-востоку падение пластов миоцен-плиоценового возраста составляет $70-75^\circ$, а дальше уменьшается до $40-45^\circ$. Восточное окончание антиклинальной складки, где расположена ГЭС, подвержено разрывному нарушению [Геология ..., 2005].

Геоактивность района осложнена не только сейсмичностью, но и такими природными явлениями, как вертикальные и

горизонтальные движения земной коры, грязевой вулканизм и т. д. На основе карты сейсмического районирования и каталога землетрясений определены активные тектонические разломы или потенциальные очаговые зоны, а также их сейсмический потенциал. Было установлено, что максимальная магнитуда M_{\max} вблизи территории исследования в достаточно крупных активных разломах или потенциальных очаго-

вых зонах равна 7,4 и 6,7. Такие землетрясения с максимальной магнитудой могут сотрясать территорию водохранилища Тахтакерпю с интенсивностью 8—9 баллов по шкале MSK-64 [Геология ..., 2005; Yetirmishli et al., 2019].

Вертикальное поднятие земной коры в зоне исследования составляет около +6 мм/год [Ахмедбейли и др., 2015]. Горизонтальное движение земной коры несколько слабее (4 ± 1 мм/год) и в целом имеет северо-северо-восточное направление [Геология ..., 2015].

Грязевой вулкан Гайнарджа тектонически приурочен к сводовой части одноименной антиклинали, в настоящее время находится в правобережной зоне водохранилища Тахтакерпю. Он имеет вид холма диаметром около 100—120 м с грифонами высотой 1—3 м и диаметром в основании 1,5—2,5 м, а также сальзы диаметром 3,0—4,0 м. С повышением уровня водохранилища существенная часть кратерного поля была погребена под водой, где продукты грязевого вулкана напрямую контактировали с водной средой [Baloglanov et al., 2018]. За последние 15—20 лет активизации грязевого вулкана Гайнарджа зафиксировано не было. Однако предполагается, что сильное извержение потенциально может активизировать оползневые процессы.

В районе водохранилища Тахтакерпю и ГЭС распространены слабосцементированные аллювиально-делювиальные отложения, покрывающие коренные породы, которые наиболее подвержены воздействиям экзогенных геологических процессов (оползни, эрозии, обвалы и др.). На периферии территории исследования зафиксированы оползни длиной 120—140 м и максимальной шириной ~250 м, а в с. Гарабаглар на левом берегу р. Тахтакерпю на склоне находятся 6—8 оползневых участков длиной более 800—1000 м.

В гидрогеологическом отношении район исследования характеризуется спорадическим распространением подземных вод. Это связано с тем, что геологический

разрез района сложен в основном из глинистых пород. Проявления грунтовых вод прослеживаются на нижних частях аллювиально-делювиальных склонов и на аллювиальных террасах [Геология ..., 2008].

Методика исследования. Полевые электроразведочные работы методом ВЭЗ выполнены на восьми профилях с применением четырехэлектродной симметричной установки АМNB. Для определения глубины залегания горизонтальных границ раздела и удельных электрических сопротивлений отдельных слоев по совокупности значений (ρ_k), полученных при вычислениях с различными установками, построена новая модель расчета. Она основана на введении следующих упрощающих предположений о характере распределения тока в горизонтально-слоистой среде при размещении электродов на земной поверхности:

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

- значение ρ_k определяется только по вертикальной составляющей плотности тока, т. е. представляет собой некоторую осредненную электрическую характеристику среды в вертикальном направлении, зависящую от удельных электрических сопротивлений (ρ_i) каждого слоя, причем «вклад» в величину (ρ_k) каждого (ρ_i) зависит от мощности данного слоя (h_i) [Попов и др., 1990].

Принятые допущения позволяют сконструировать следующую простую формулу, устанавливающую соответствие между совокупностью значений (ρ_i, h_i) — многослойного разреза и значением ρ_k :

$$\rho_k = \frac{\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 + \dots + \rho_i h_i}{h_1 + h_2 + \dots + h_i} =$$

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

где $\sum_{i=1}^n h_i = H_i$ — глубина залегания подошвы n -го слоя (м).

Поскольку согласно принятому допущению значение H_i полностью определяется соотношением между MN и АВ и, следовательно, является известным, формула (1) может быть использована для решения обратной задачи — определения параметров геоэлектрического разреза по совокупности значений ρ_k , полученных при различных размерах измерительной установки. Действительно, имея ряд последовательных значений ρ_{ki} и H_i ($i = 1, 2, \dots, n$), можно последовательно определить h_i и ρ_i , т. е. мощность и удельное сопротивление каждого слоя.

Таким образом, для любого i -го слоя [Попов и др., 1990]

$$h_i = H_i - H_{i-1} \quad \text{или} \\ H_i = (AB/2)_i - (AB/2)_{i-1}. \quad (2)$$

Для вычисления ρ_k использовалась формула [Якубовский, Ренард, 1991]

$$\rho_{ki} = \kappa_{ВЭЗi} \frac{\Delta U_i \text{ (мВ)}}{I_i \text{ (мА)}}. \quad (3)$$

Удельное электрическое сопротивление отдельных слоев определялось с помощью формулы [Галин, 1989; Попов и др., 1990] в случае, если $\rho_i > \rho_{i-1}$:

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

а в случае $\rho_{i-1} > \rho_i$ формула будет иметь вид [Саламов и др., 2020]

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

Выражения (2)—(4) являются основными расчетными формулами в предлагаемом способе определения параметров геоэлект-

рического 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.

Принимая во внимание изложенное, с целью детального расчленения разреза и более точного определения глубины залегания отдельных литологических разновидностей были приняты следующие размеры питающей АВ/2 и приемной линии MN/2 соответственно (м): АВ/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; 42; 44; 46; 48; 50; 50; 52; 52; 54; 56; 58; 60; 63; 66; 69; 72; 72; 75; 75; 78; 81; 84; 87; 90; 90; 93; 93; 96; 99; 102 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; 1,2; 2; 2; 2; 2; 2,3; 2,3; 2,3; 3; 3; 3; 3; 3,5; 3,5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5,7; 5,7; 7; 7; 7; 7; 7,9; 7,9; 9; 9; 9 (10; 10; 0,3; 1 — измерение в точке наблюдения ΔU (мВ) при разных разносах MN/2). В результате увеличение количества измерений на одной точке наблюдения позволяло выявить маломощные слои в геологическом разрезе.

Для полевых измерений использовалась аппаратура АМС-1 с рабочей частотой 4,88 Гц. Измерительная установка ориентирована с северо-запада на юго-восток.

Интерпретация и результаты. Как было отмечено, на территории исследования по восьми профилям проводились полевые измерения методом ВЭЗ. В результате были определены ρ_k отдельных литологических слоев, слагающих геологическую среду, и составлены предполагаемые вертикальные разрезы кажущегося сопротивления. При интерпретации данных ρ_k были построены геоэлектрические разрезы по каждому профилю. Согласно геологическим данным, они переделаны на предполагаемые литолого-геофизические разрезы в масштабе 1 : 500 (рис. 2, см. с. 215).

Необходимо отметить, что в районе ис-

следования значения кажущегося электрического сопротивления пород, слагающих геологическую среду, изменяются в интервале 2—420 Ом · м, а удельного — 0,5—450 Ом · м.

Анализ полученных материалов дает возможность проследить относительную закономерность снижения электрического сопротивления пород от периферийных площадей к береговой части водохранилища. Вероятно, это в основном может быть связано с результатом увлажнения грунтов в береговой зоне (капиллярная водоподъемность), а также накоплением атмосферных осадков на нижних частях рельефа. Это хорошо прослеживается в вертикальных разрезах ρ_k пород, слагающих геологический разрез района исследования.

Кругизна рельефа вокруг водохранилища создает благоприятные условия для развития экзогенных геологических процессов, в том числе оползней.

В подошве делювиальных отложений (Пр. 2 ВЭЗ 1; Пр. 3 ВЭЗ 1; Пр. 3 ВЭЗ 3; Пр. 2 ВЭЗ 3; Пр. 2 ВЭЗ 2) на глубинах 2—6 м выявлен слой мощностью 1—2 м с удельным электрическим сопротивлением 0,5—4 Ом × м. Предполагается, что этот слой является плоскостью скольжения отдельных оползневых блоков. В точках Пр. 3 ВЭЗ 1, Пр. 3 ВЭЗ 3, Пр. 2 ВЭЗ 2, Пр. 2 ВЭЗ 1 и Пр. 2 ВЭЗ 3 плоскости скольжения оползней относительно других точек ВЭЗ имеют наименьшие значения удельного электрического сопротивления — от 0,5 до 1,5 Ом · м. Поэтому они более развиты. На поверхности некоторых из них визуально наблюдаются очаги оползневых явлений.

На основании данных полевых измерений на площади исследования были вычислены значения ρ_k пород, и по этим данным с применением программы ZOND-2 построены 3D модели и по осям x , y , z (рис. 3, 4).

Цель построения 3D модели — проследивание распространения ρ_k пород, слагающих геологический разрез участка по горизонтали и вертикали. Построенные модели показывают, что геологическая сре-

да района подвержена довольно сильному воздействию пликативной дислокации. Вполне вероятно, что здесь наряду с другими причинами развития оползневых явлений также имеет место дислоцированность геологического разреза.

Несмотря на то, что район исследования пликативно дислоцирован (сложен в основном глинистыми породами), не удалось с уверенностью выделить разрывные нарушения.

Следует отметить, что с целью уменьшения развития оползневых явлений вокруг водохранилища предприняты разные противооползневые меры (ступенчатые террасы и др.). Однако данный подход может оказаться малоэффективным, поскольку крутизна склона по периметру водохранилища довольно большая.

Выявленные плоскости скольжения проходят в основном на контакте коренных пород с делювиальными отложениями. В дальнейшем не исключено также и развитие оползней коренных пород на склоне водохранилища. Поскольку размеры и условия развития этих оползней незначительные, отнести их к какому-то типу довольно сложно. Предполагается, что эти оползни являются обвалами.

Как известно, развитие оползней происходит по разным причинам. Однако исследователи почему-то мало уделяют внимания тому факту, что в результате увлажнения происходит набухание глин, которое приводит к образованию тангенциальных сил, ослабляющих цельность вышележащих слоев, образуя трещины — бровки срыва разнотипных оползней [Саламов и др., 2020].

По данным ВЭЗ составлена карта-схема распространения предполагаемых оползневых участков на территории ГЭС (см. рис. 1). Определенную угрозу создают оползни, выявленные (по визуальным наблюдениям) выше указанных точек ВЭЗ, поскольку они направлены в сторону здания ГЭС и водохранилища.

Несмотря на то, что вокруг водохрани-

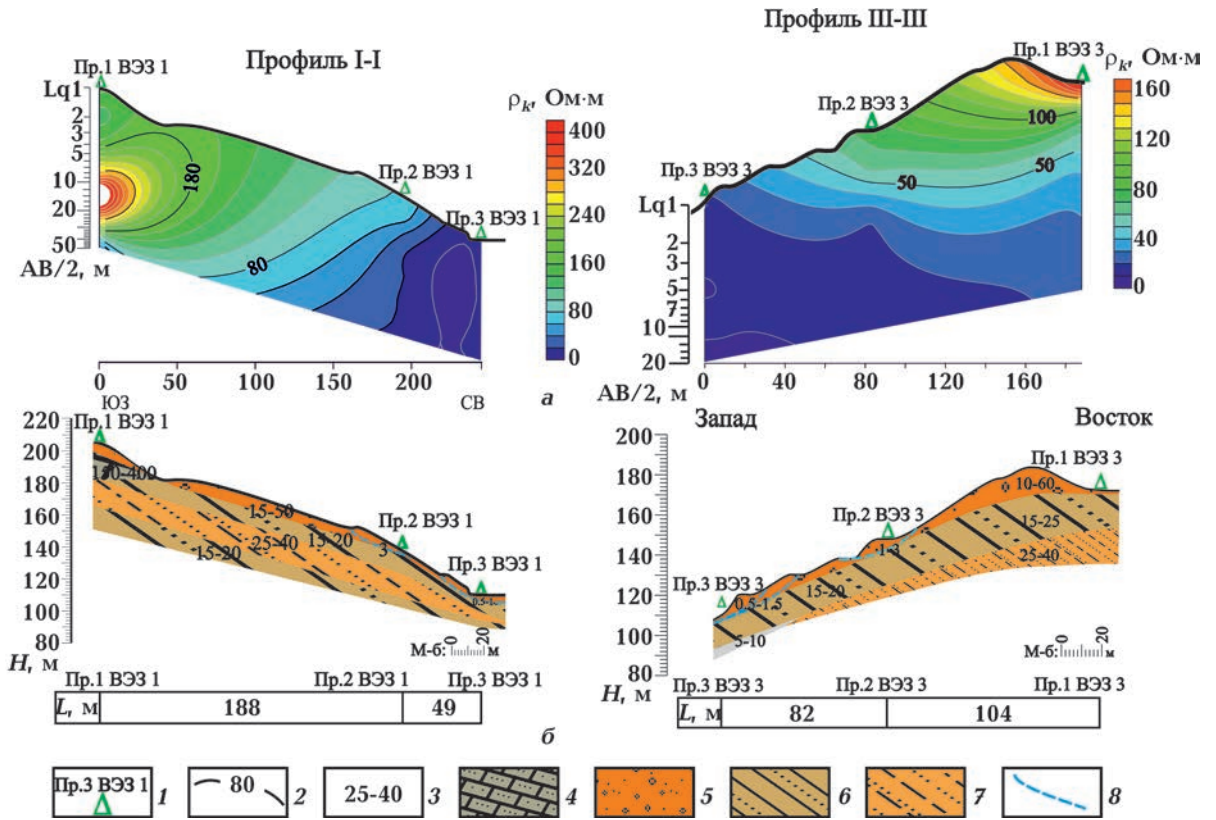


Рис. 2. Разрезы кажущегося вертикального электрического сопротивления (а) и предполагаемые литолого-геофизические разрезы (б) по профилям I—I и III—III, составленным методом ВЭЗ: 1 — номера точек ВЭЗ и профилей; 2 — линии кажущегося электрического сопротивления (Ом · м); 3 — удельные электрические сопротивления слоев (Ом · м); 4 — слабоцементированные песчаники; 5 — аллювиально-делювиальные отложения; 6 — глины с прослойками песков; 7 — глинистые песчаники; 8 — предполагаемая плоскость скольжения, выявленная по результатам геофизических исследований.

Fig. 2. Sections of seeming vertical electrical resistance (а) and assumed lithological and geophysical sections (б) on profiles I—I и III—III compiled by VES method: 1 — numbers of VES points and profiles; 2 — lines of seeming electrical resistance (Ом · м); 3 — specific electric resistance of layers, (Ом · м); 4 — weakly cemented sandstones; 5 — eluvial-deluvial deposits; 6 — clays with sand interlayers; 7 — clayey sandstones; 8 — prospective slip plane, identified by the results of geophysical surveys.

лица построено несколько рядов террас, в результате активизации могут развиваться оползневые процессы в точках Пр. 1 ВЭЗ 1, Пр. 1 ВЭЗ 2 и Пр. 1 ВЭЗ 3, а также по периметру водохранилища.

Выводы. На основании проведенных исследований сделаны следующие заключения:

- район исследований сейсмически активен, геологическое строение очень сложное, осложнено вертикальными и горизонтальными движениями, оползнями и временами активизирующимися грязевыми вулканами;

- в геологическом разрезе в основном прослеживаются три слоя с разным удельным электрическим сопротивлением и мощностью;

- мощность делювиальных отложений изменяется в интервале 2—6 м;

- набухание глин приводит к образованию тангенциальных сил, которые ослабляют цельность вышележащих слоев, образуя трещины — бровки срыва разнотипных оползней;

- направление движения оползневых масс создает определенную угрозу для сооружения ГЭС и водохранилища;

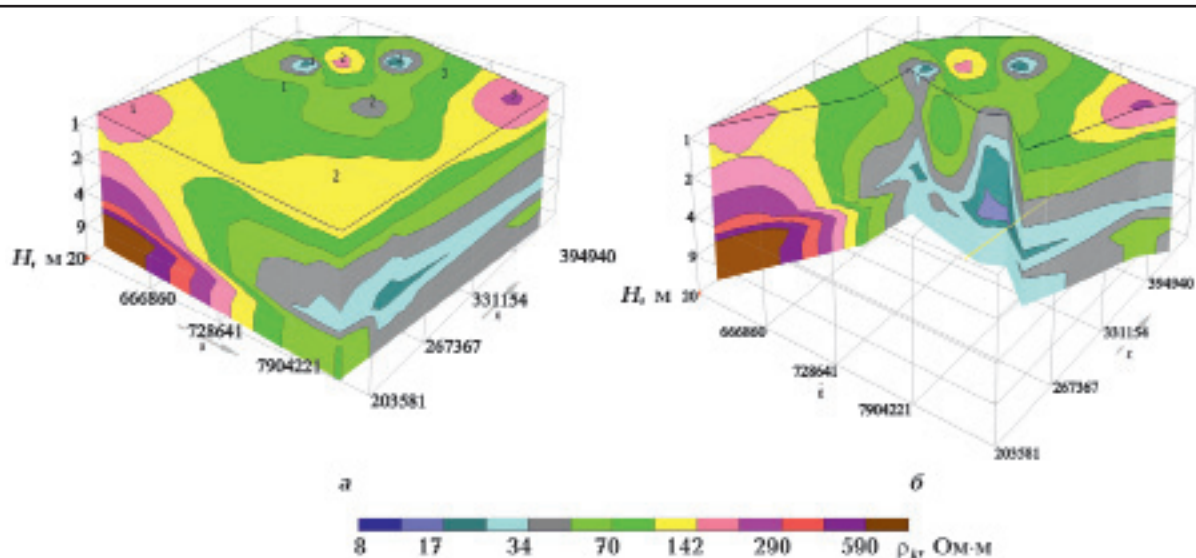


Рис. 3. 3D модели площади исследования: *а* — целый; *б* — произвольный срез.

Fig. 3. 3D models of the study area: *a* — whole; *b* — arbitrary cut.

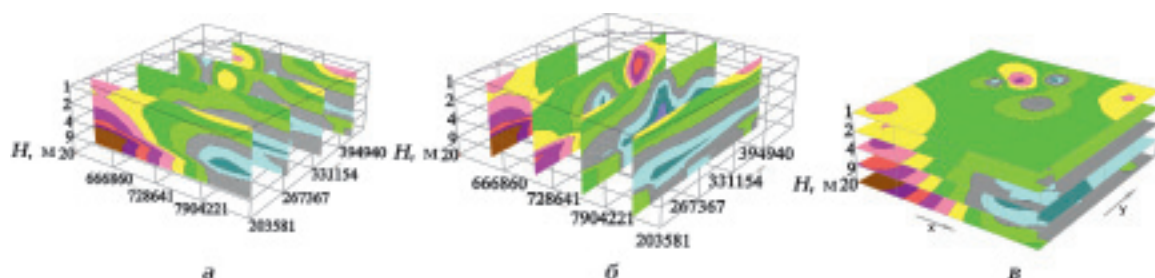


Рис. 4. Модели площади исследования по осям *x* (*а*); *y* (*б*), *z* (*в*).

Fig. 4. Models of the study area along axes *x* (*a*); *y* (*b*), *z* (*b*).

– активизация выявленных оползневых участков может провоцировать развитие новых экзогенных геологических процессов на склоне водохранилища;
– на береговых зонах подобных сооруже-

ний необходимо периодически проводить комплексные инженерно-геологические и геофизические мониторинговые исследования для слежения за развитием экзогенных геологических процессов.

Список литературы

- Ахмедбейли Ф.С., Кенгерли Т.Н., Халилов Г.А. Неотектоника, масштаб карты 1 : 1 500 000. Национальный атлас Азербайджанской Республики. Баку: Бакинская картографическая фабрика, 2015. 91 с. <https://doi.org/10.33677/ggianas20200100039>.
- Галин Д.Л. Интерпретация данных инженерной геофизики. Москва: Недра, 1989. 114 с.
- Геология Азербайджана. Т. VIII. Гидрогеология и инженерная геология. Под ред. А. Ализаде. Баку: Nafta-Press, 2008. 380 с.
- Геология Азербайджана. Т. IV. Тектоника. Под ред. А. Ализаде. Баку: Nafta-Press, 2005. 506 с.
- Геология Азербайджана. Т. II. Физика Земли. Под ред. А. Ализаде. Баку: Nafta-Press, 2015. 372 с.
- Огилви А.А. Основы инженерной геофизики. Москва: Недра, 1990. 501 с.
- Попов Е.А., Тен К.М., Фунтиков Г.Н., Селяков В.И., Глушко С.П. Методические рекомендации по использованию ВЭЗ для детального расчленения разреза при решении геологических и инженерно-геологических задач. Москва: Ротапринт, 1990. 52 с.
- Саламов А.М., Кадиров А.Г., Мухтаров А.Ш., Заманова А.Г., Гасымов Э.Э. Исследование развития оползневых процессов на восточном крыле Бибиэйбатской брахиантклинали методом электроразведки. *ANAS Transactions, Earth Sciences*. 2020. № 1. С. 19—27.
- Якубовский Ю.В., Ренард И.В. Электроразведка. Москва: Недра, 1991. 359 с.
- Baloglanov, E.E., Abbasov, O.R., Akhundov, R.V. (2018). Mud volcanoes of the world: Classifications, activities and environmental hazard (informational-analytical review). *European Journal of Natural History*, (5), 12—26.
- Mammadov, V.A., Salamov, A.M., Khalilova, H.Kh. (2019). Study of the Anthropogenic Impact on the Change of Geoecological Conditions of the Khojahasan Lake, Azerbaijan. *Journal of Mining Institute*, 239, 603—610. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.5.603>.
- Salamov, A., Mammadov, V., & Khalilova, H. (2020). Formation of sliding processes in the territory of the republic of Azerbaijan and their threats (case study: the Absheron peninsula). *Polish Journal of Science*, 1(25), 31—39.
- Salamov, A.M., Mammadov, V.A., & Najafov, O.F. (2019). 3D geophysical model and prediction of exogenic geological processes development in limnetic zone of Mukhammadli lake of Absheron peninsula. *Geophysics news in Azerbaijan*, (1), 41—46.
- Yetirmishli, G.J., Mammadli, T.Y., Muradov, R.B., & Jafarov, T.I. (2019). Assessment of seismic hazard in the territory of «Takhtakorpu» reservoir of Azerbaijan. *Seismoprognois observations in the territory of Azerbaijan*, 16(2), 3—7.

Research into landslide processes in the coastal zone of the Takhtakorpureservoir using vertical electrical sounding method (the southeastern slope of the Great Caucasus)

A.M. Salamov¹, V.A. Mammadov¹, H.Kh. Khalilova², A.G. Zamanova¹,
E.E. Gasimov¹, 2021

¹Institute of Geology and Geophysics of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

²Institute of Physics of Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Landslide-prone areas on the coastal zone of the downstream of the Takhtakorpu reservoir located on the arid-hilly part of the southeastern slope of the Great Caucasus mountain system (Azerbaijan) were investigated using vertical electrical sounding (VES) method. The entire research area is geologically active. It is complicated by seismicity (with an intensity of 8—9 points on the MSK-64 scale), vertical (uplift of the Earth's crust about +6 mm/year) and horizontal (4 ± 1 mm/year, generally north-north-east) movements, landslides (in more than 5 centers) as well as the Gaynarja mud volcano, in the form of hill ≥ 100 m in diameter with griffins. Tectonically, the mud volcano is timed to the consolidated part of the anticline of the same name, which currently is located in the right-bank zone, closer to the water of the Takhtakorpu reservoir. Therefore, the erupted products of the mud volcano come into contact with the aquatic environment. The geological structure of the territory is dominated by rocks of the Pliocene Productive Stratum (N₂). With respect to lithology, they consist of clays and argillaceous rocks. Groundwater occurs sporadically, with a total salinity of 7 g/l and a filtration coefficient of 4 m/day. Geological sections of the area were studied to a depth of 40 m, the thickness and composition of individual layers of rocks were described. 3D models of the study area were developed completely in an arbitrary cut and also along the X, Y and Z axes. It was revealed that the layers composing the geological section of the region are subject to the impact of plicative dislocations due to the geodynamic processes. It is assumed that landslides in the study area are mainly formed at the contact of eluvial-deluvial deposits with bedrocks. One of the main reasons for the formation of landslide phenomena, apparently, is also associated with the steepness of the slopes and their constituent rocks, which absorbing atmospheric precipitation become waterlogged. The depths of the assumed slip planes in individual landslide blocks were revealed and the thickness and direction of the landslide body were determined.

Key words: geophysical surveys, vertical electrical sounding, 3D model, specific resistance, reservoir, rocks, landslide.

References

- Akhmedbeyli, F.S., Kengerli, T.N., & Khalilov, G.A. (2015). *Neotectonics, map scale 1 : 1 500 000. National Atlas of the Republic of Azerbaijan*. Baku: Baku Cartographic Factory, p. 91 (in Russian).
- Galim, D.L. (1989). *Interpretation of engineering geophysics data*. Moscow: Nedra, 114 p. (in Russian).
- Alizade, A. (Ed.). (2008). *Geology of Azerbaijan*. Vol. VIII. *Hydrogeology and Engineering Geology*. Baku: Nafta-Press, 380 p. (in Russian).
- Alizade, A. (Ed.). (2005). *Geology of Azerbaijan*. Vol. IV. *Tectonics*. Baku: Nafta-Press, 506 p. (in Russian).
- Alizade, A. (Ed.). (2015). *Geology of Azerbaijan*. Vol. II. *Physics of the Earth*. Baku: Nafta-Press, 372 p. (in Russian).

- Ogilvi, A.A. (1990). *Fundamentals of Engineering Geophysics*. Moscow: Nedra, 501 p. (in Russian).
- Popov, E.A., Ten, K.M., Funtikov, G.N., Selyakov, V.I., & Glushko, S.P. (1990). *Methodical recommendations on the use of VES for detailed dissection of the section in solving geological and engineering-geological problems*. Moscow: Rotaprint, 52 p. (in Russian).
- Salamov, A.M., Gadirov, A.H., Mukhtarov, A.Sh., Zamanova, A.H., & Gasimov, E.E. (2020). Development of landslide processes on the eastern wing of the Bibiheybat brachianticline using the electrical survey. *ANAS Transactions, Earth Sciences*, (1), 19—27. <https://doi.org/10.33677/ggianas20200100039> (in Russian).
- Yakubovskiy, Yu.V., & Renard, I.V. (1991). *Electrical prospecting*. Moscow: Nedra, 359 p. (in Russian).
- Baloglanov, E.E., Abbasov, O.R., Akhundov, R.V. (2018). Mud volcanoes of the world: Classifications, activities and environmental hazard (informational-analytical review). *European Journal of Natural History*, (5), 12—26.
- Mammadov, V.A., Salamov, A.M., Khalilova, H.Kh. (2019). Study of the Anthropogenic Impact on the Change of Geoecological Conditions of the Khojahasan Lake, Azerbaijan. *Journal of Mining Institute*, 239, 603—610. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.5.603>.
- Salamov, A., Mammadov, V., & Khalilova, H. (2020). Formation of sliding processes in the territory of the republic of Azerbaijan and their threats (case study: the Absheron peninsula). *Polish Journal of Science*, 1(25), 31—39.
- Salamov, A.M., Mammadov, V.A., & Najafov, O.F. (2019). 3D geophysical model and prediction of exogenic geological processes development in limnetic zone of Mukhammadli lake of Absheron peninsula. *Geophysics news in Azerbaijan*, (1), 41—46.
- Yetirmishli, G.J., Mammadli, T.Y., Muradov, R.B., & Jafarov, T.I. (2019). Assessment of seismic hazard in the territory of «Takhtakorpu» reservoir of Azerbaijan. *Seismoprognozis observations in the territory of Azerbaijan*, 16(2), 3—7.

Дослідження зсувних процесів методом ВЕЗ берегової зони водосховища Тахтакерпю (південно-східний схил Великого Кавказу)

**А.М. Саламов¹, В.А. Мамедов¹, Х.Х. Халілова², А.Г. Заманова¹,
Е.Е. Гасімов¹, 2021**

¹Інститут геології та геофізики НАН Азербайджану, Баку, Азербайджан

²Інститут фізики НАН Азербайджану, Баку, Азербайджан

Методом вертикального електричного зондування досліджено зсувні ділянки на береговій зоні нижнього б'єфа водосховища Тахтакерпю, розташованого на аридно-горбистій частині південно-східного схилу гірської системи Великого Кавказу (Азербайджан). Район дослідження в цілому геоактивний, ускладнений сейсмічністю (з інтенсивністю 89 балів за шкалою MSK-64), вертикальними (підняття земної кори близько +6 мм/рік) і горизонтальними рухами (4 ± 1 мм/рік, у цілому північно-північно-східного напрямку), зсувами (понад п'ять вогнищ), а також дією грязьового вулкана Гайнарджа, у вигляді пагорба, складеного брекчією діаметром ≥ 100 м, із грифонами.

У тектонічному аспекті грязьовий вулкан приурочений до склепінної частини одноїменної антикліналі, яка розміщується у правобережній зоні, поблизу водосхови-

ща Тахтакерпю. Тому вивержені продукти грязьового вулкана стикаються з водним середовищем. У геологічній будові території домінують породи верхнього неогену (N_2). У літологічному відношенні вони складаються переважно з глин і глинистих порід. Грунтові води трапляються спорадично, загальна мінералізація близько 7 г/л. Геологічні розрізи району дослідження вивчені до глибини 40 м, описано товщину й склад окремих шарів гірських порід. Побудовано 3D моделі площі дослідження — повні, у довільному зрізі, а також за осями X , Y , Z . Установлено, що шари, які складають геологічний розріз району, в результаті геодинамічних процесів зазнають дій плікативних дислокацій. Передбачається, що зсуви у досліджуваному районі насамперед формуються на контакті алювіально-делювіальних відкладів і корінних порід. Одна з основних причин утворення зсувних явищ, імовірно, пов'язана з крутістю схилів і порід, що їх складають, які, вбираючи атмосферні опади, перезвожуються. Виявлено глибини залягання передбачуваних площин ковзання в окремих зсувних блоках, визначено товщину та напрямок руху зсувного тіла.

Ключові слова: геофізичні дослідження, вертикальне електричне зондування, 3D модель, питомий опір, водосховище, порода, зсуви ґрунту.