

УДК 550.83

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26793

## Палеогидрогеологические и геофизические исследования в связи с реконструкцией палеоклимата бассейна озера Севан (Армения)

Р. С. Минасян<sup>1</sup>, д. г.-м. н., проф., Дж. К. Карапетян<sup>1</sup>, к. геол. н., Р. А. Карамян<sup>1</sup>, А. А. Игитян<sup>1</sup>, к. геол. н., А. А. Геворгян<sup>1</sup>, Д. К. Нургалиев<sup>2</sup>, д. г.-м. н., проф., П. С. Крылов<sup>2</sup>, А. Н. Даутов<sup>2</sup>, П. Г. Ясонов<sup>2</sup>, к. г.-м. н., Д. М. Кузина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт геофизики и инженерной сейсмологии им А. Назарова НАН РА, Республика Армения, 3115, г. Гюмри, ул. В. Саргсяна, 5  
e-mail: hydroscope2006@yahoo.com

<sup>2</sup>ФГАОУВО Казанский федеральный университет, Россия, 420008, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, 18  
e-mail: danis.nourgaliev@kpfu.ru

**Аннотация:** В целях определения природных условий для восстановления палеоклимата бассейна оз. Севан (Армения) проанализированы и обобщены материалы, относящиеся к геоморфолого-тектоническому и палеогидрогеологическому строению прибрежной и акваториальной частей озера. Проведены специальные геофизические исследования палеогидрогеологической направленности: выполнено палеогидрогеологическое районирование водосборного бассейна, получены данные о строении его палеорельефа, установлен ряд палеорусел, определены основные пути сосредоточенного движения и места разгрузки подземных вод, в том числе и в пределах акватории озера. По палеомагнитным исследованиям получены данные о датировке разреза терригенных отложений прибрежных частей озера. Выполненные в акваториальной части Малого Севана сейсмоакустические исследования позволили составить геофизические разрезы, характеризующие особенности строения донных отложений озера. В целом полученные данные будут использованы при уточнении возраста лимнологических отложений прибрежных и донных частей озера, для установления палеогидрогеологических, геоэкологических и палеогеографических особенностей его развития в голоцене в связи с попыткой реконструкции палеоклимата изучаемого региона.

**Ключевые слова:** озеро Севан, палеоклимат, Армения, палеогидрогеология, геофизические методы, районирование, водосборный бассейн, палеомагнетизм, сейсмоакустика, голоцен.

**Благодарности:** Представленная работа выполнена при поддержке Государственного комитета по науке МОН РА в рамках научного Проекта N 18RF-033.

**Для цитирования:** 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. Том 9 № 1. С. 122-134. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26793.

### Введение

Данные о палеоклимате отдельных территорий можно получить, в частности, из материалов палеогеологических и палеогидрогеологических исследований. Во многих случаях поверхностные и, в особенности, подземные воды из береговых ча-

стей озёр переносят терригенные отложения в их акваториальные части. Изучение этих пород, а также пород донного залегания позволяет получить объективные данные о климатических условиях времени их образования. Исследования такого характера выполнены, в частности, в пределах водосборного бассейна озера Севан (Армения). Рассматриваемое высокогорное озеро находится в пределах крупной межгорной котловины, расположенной на стыке системы складчато-глыбовых горных сооружений Малого Кавказа и Армянского вулканического нагорья. Котловина с востока ограничена Севанским и Арегунским хребтами, сложенными, главным образом, меловыми туфоконгломератами, туфобрекчиями, порфиритами, известняками и породами неогена – туфами, туфопесчаниками, туфобрекчиями, перемежающимися с покровами порфиритов. Большая часть Севанской котловины входит в зону Центрального вулканического нагорья Армении и ограничивается с запада, юго-запада и юга Гегамским и Варденисским нагорьями.

В связи с проводимыми комплексными исследованиями в пределах прибрежных и акваториальных частей озера Севан в целях палеоклиматических прогнозов, определенный интерес представляют геоморфологические, литолого-тектонические и палеогидрогеологические характеристики изучаемой территории [Геология Армянской ССР, 1962; Геология Севана, 1994; Милановский, 1968].

Важными являются также опубликованные материалы последних лет, связанные с изучением сейсмогенных конволюций в четвертичных отложениях озера Севан [Корженков и др., 2014; Korjenkov, 2000]. Определены палеогеографические условия и возраст сильного землетрясения по данным изучения голоценовых отложений рассматриваемого озера [Варданян и др., 2018]. Исследования аналогичных озерных отложений встречаются также в работах зарубежных специалистов [Bowman et al., 2004; Chunga et al., 2007; Jones, Omoto, 2000; Rossetti, 1999].

Ниже подробно рассмотрены результаты комплексных исследований, которые выполнены для решения задач, связанных с реконструкцией палеоклимата бассейна озера Севан.

#### Методы исследований и обсуждение полученных данных Геоморфолого-тектонические исследования

**а) Прибрежная территория оз. Севан.** Рассматриваемая территория в начале палеогена представляла крупный прогиб, в который проник сарматский морской бассейн, приводя ее к опреснению и превращая в озерный водоем [Бальян, 1969; Геология Армянской ССР, 1962; Милановский, 1968]. В нижнем и среднем плиоцене тектонически прогибавшийся озерный бассейн Севана заполняется пролювиальным материалом, сносившимся в основном с Гегамского нагорья. В верхнем плиоцене юго-восточная часть впадины заполняется лавами, а на остальной – отлагаются озерно-аллювиально-пролювиальные осадки. В последующем тектонические движения создают здесь ряд синклинальных впадин. После осушения озера по дну Большого Севана, в нижнем плейстоцене, предполагается существование реки, врезающей в Артаниш-Норатузскую перемычку. В среднем-верхнем плейстоцене происходит активизация тектонических движений, сопровождавшихся поднятием Гегамского и Варденисского хребтов. В дальнейшем, в связи с относительным прогибанием прибрежных частей впадины, возникает ряд разломов, в том числе в пределах Малого Севана и в Цовагюхском заливе. Крупные меридиональные разломы образуются также на юго-западном склоне впадины Большого Севана

[Karakhanianetal., 2001, 2002]. В голоценовый и верхнечетвертичный периоды происходит окончательное излияние лав на юго-западных берегах озера и в пределах дна Малого Севана.

**б) Акваториальная территория озера.** В геоморфологическом отношении рельеф поверхности дна озера Севан делится на три части: Большой, Малый Севан и подводный порог между ними – мысы Норатуз – Артаниш.

**Дно Большого Севана** по батиметрическим данным (Киреев И. А.) представляет плоскую равнину с колебаниями глубин в среднем  $40\div 51,5$  м. В юго-западной части территории, к северу от с. Геташен, прослеживаются эрозионные ложбины, которые связываются с древней долиной р. Аргичи. Существование последней подтверждается также данными геофизических исследований. Со сбросами голоценового возраста связываются резкие перепады в строении склона юго-западной части озера. Западный склон дна Большого Севана, между изобатами  $5\div 20$  м, в целом имеет крутой уклон. Здесь предполагаются сбросы, параллельные береговой линии озера. С ними связаны также уступы против Норадузского шлакового конуса. На остальных прибрежных частях Большого Севана рельеф дна, до глубин 40 м, пологий и существующие здесь неровности считаются тектонического происхождения, скрытые под чехлом, скорее всего, плейстоцен-голоценовых прибрежно-озерных отложений.

Строение рельефа **дна Малого Севана**, в частности, крутизна его в северо-восточной части, считается обусловленной тектоническим перемещением сбросового характера. Так, например, близ устья р. Арцатахберг (юго-восточная часть озера) по батиметрическим данным выявлены несколько затопленных озерных террас (на отметках -6, -12 и -22 м), которые считаются более низкими уровнями водоема. Дно Цовагюхского залива, на северо-западе озера, имеет юго-восточную полого наклонную поверхность. Предполагается, что это погружение вдоль сбросов является продолжением древней долины р. Дзкнагет, перекрытой озерными и аллювиальными отложениями голоценового возраста. Юго-западный склон дна Малого Севана, в основном до глубин изобат  $30\div 50$  м, отличается большой сложностью рельефа. В голоцене до указанных глубин дно озера было перекрыто, спустившимися с юго-запада потоками Ератумберских андезитовых лав. Предполагается, что морфология глубокой части дна Малого Севана отражает наличие здесь значительных тектонических опусканий. В то же время на юго-западном и западном склонах в образовании современного рельефа дна озера главную роль сыграли излияния лав голоценового возраста. В северо-восточной береговой части Малого Севана, до глубин  $70\div 99$  м, установлены замкнутые котловины, происхождение которых объясняется локальными тектоническими опусканиями. В целом рельеф дна Малого Севана значительно отличается от Большого, как сложностью строения, так и особенностями образования.

в) В истории формирования и развития оз. Севан определенная роль принадлежит **подводному порогу между мысами Норатуз-Артаниш**. В структурно-геоморфологическом отношении это тектоническая валообразная возвышенность северо-восточного простирания, склоны которой спускаются по дну Большого и Малого Севана. По батиметрическим данным центральная часть рассматриваемого порога, глубиной до 20 м, прорезана узкой долиной эрозионного происхождения. Поскольку она до сих пор не заполнена (или заполнена частично) озерными осадками, то считается, что ее затопление озерными водами происходило относительно недавно.

## Палеогидрогеологические и палеогеофизические исследования водосборного бассейна оз. Севан

При решении задачи по палеогидрогеологическому районированию водосборного бассейна оз. Севан, в связи с изучением его палеоклиматических условий, важным является выяснение источников и условий формирования подземных вод, часть которых по отдельным палеоруслам разгружается в пределах акватории озера. На основании проведенных комплексных исследований установлено, что основными источниками питания подземных вод региона являются атмосферные осадки, а в пределах зоны аэрации, в зависимости от климатических условий, определенную роль играют также процессы конденсации водяных паров воздуха (т. н. конденсационные воды). Считается, что в истории формирования подземных вод региона существовал ряд палеогидролого-гидрогеологических циклов: периоды седиментации, в течение которых формировались седиментационные воды (которые обычно по составу и минерализации близки к водам моря) и периоды инфильтрации, когда происходит опреснение этих вод.

В пределах водосборного бассейна оз. Севан в результате тектонических движений и активной вулканической деятельности неогенового времени (которая широко проявилась, в особенности, в пределах Гегамского и Варденисского нагорий) произошло заложение гидрографической сети региона. В период нижнего плиоцена влияние тектонических движений предопределило существование в регионе континентального режима. В результате этого исследуемая территория, вновь освободившаяся от моря, подверглась процессам замещения седиментационных вод пресными инфильтрационными водами. После кратковременного ослабления вулканических процессов в среднем-верхнем плиоцене они вновь усилились, и мощные потоки лавовых образований бронировали и нивелировали рельеф прилегающих вулканических нагорий. В конце периода интенсивного вулканизма имело место новая инверсия: происходит поднятие Гегамского и Варденисского нагорий в результате чего в их периферийных частях (охватывающих и Севанский бассейн), происходит процесс накопления пресноводных озерных отложений. В конце плиоцена и в нижнем постплиоцене изучаемая территория испытывает окончательное поднятие под влиянием тектонических движений и древние доплиоценовые подземные воды замещаются инфильтрационными.

В последнее время, в связи с исследованием мипалеоклимата Севанского бассейна, достаточно подробно изучены отложения голоцена (Саркисян С. Г., Сатиан М. А., Саядян Ю. В., Саакян Л. Г.). Они расчленены на древний, средний и поздний голоцен и выделены 12 крупных этапов изменений ландшафтно-природной обстановки и климата (климатолиты) со специфическими особенностями развития каждого этапа. Считается, что озеро Севан и Каспийское море расположены в единой аридной зоне. Колебания уровней этих водоемов в голоцене происходили относительно синхронно и зависели, в первую очередь, от изменений климата. Существует прямая зависимость палеогидрогеологических циклов Севанской впадины от изменений главного базиса эрозии-уровня Каспийского моря: трансгрессиям моря во впадине соответствуют эпохи похолоданий и увлажнений, а регрессиям – потеплений и аридизаций.

Для изучения естественных ресурсов и подсчета эксплуатационных запасов подземных вод сотрудниками Армгеологии было выполнено гидрогеологическое районирование водосборного бассейна оз. Севан. Согласно этой схеме территория бассейна была разделена на **9 гидрогеологических участков**. Анализ данных исследований, и в первую очередь, геофизических, показывает, что при такой схе-

ме районирования не всегда правомерно условие совпадения современных и погребенных водоразделов отдельных участков, что естественно, приводит к иному пространственному распределению подземного стока [Минасян, 2014]. Это обстоятельство, а также необходимость уточнения палеогидрогеологических условий и размеров отдельных участков, необходимых и для прогнозных оценок палеоклиматических условий территории, явились основными причинами корректировки схемы. На новой уточненной схеме районирования вновь выделенные гидрогеологические участки, для различия их от ранее принятых, названы **гидрогеологическими районами**. При этом, если границы **районов** (новая схема) совпадают с ранее принятыми гидрогеологическими **участками**, то их наименования оставлены прежними (см. рис. 1). В пределах бассейна оз. Севан, согласно новому районированию выделены следующие гидрогеологические районы (участки): Цовагюхский (I), Лчашенский (II), Саруханский (III), Дзорагюхский (IV), Мартуни-Геташенский (V), Варденик-Арцванистский (VI), Акунк-Карчабюрский (VII), Масрикский (VIII) и Северо-восточное побережье озера (IX). Для выделенных районов составлены специальные палеогидрогеологические карты и гелого-геофизические разрезы, в частности, проходящие по прибрежным частям озера. Пример приведен на рисунке 2. В целом выделенные палеогидрогеологические районы Севанского бассейна охарактеризованы: особенностями палеорельефов, положением региональных и локальных погребенных водоразделов, путями сосредоточенного движения подземного стока и местами их разгрузки, в том числе в пределах акватории озера.

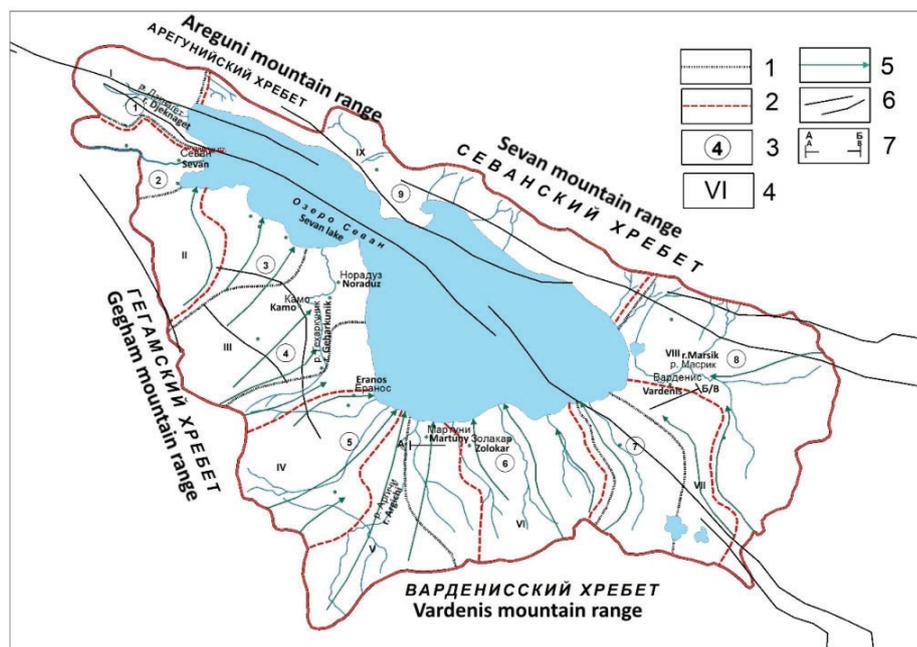


Рис. 1. Схема палеогидрогеологического районирования бассейна оз. Севан. 1 – границы гидрогеологических участков по ранее составленной схеме районирования; 2 – те же по уточненному районированию; 3; 4 – номера территорий по существующей и уточненной схеме районирования, 5 – пути сосредоточенного движения подземных вод, 6 – основные разломы, 7 – профиль А-Б /

Fig. 1. Scheme of paleohydrogeological zoning of the lake Sevan basin. 1-borders of hydrogeological sites according to the earlier made scheme of zoning; 2-the same on the specified zoning; 3; 4-numbers of territories according to the existing and specified scheme of zoning, 5-ways of the concentrated movement of underground waters, 6-the main faults, 7-A-B profile



Рис. 2. Геолого-геофизический разрез по профилю А-В. 1 – современные рыхлообломочные и полусвязные образования (супеси, суглинки и т. п.); 2 – вулканические породы плотные, относительно сухие; 3 – те же породы трещиноватые, водоносные; 4 – рельеф регионального водоупора: а) глинистые отложения; б) туфопесчаники, порфириды и их аналоги; 5 – точки электрозондирования; 6 – буровые скважины; 7 – геоэлектрические контакты; 8 – удельное электропроводителение пород (Ом. м)/

Fig. 2. Geological-geophysical section along the profile A-B. 1 – modern coarse-clastic and semi-cohesive formations (sandy loam, loam, etc.); 2 – dense volcanic rock, relatively dry; 3 – those rocks fractured, water-bearing; 4 – the landscape of regional seal: a) clay deposits; b) tufosandstone, porphyrites and their analogs; 5 – electroconducting point; 6 – boreholes; 7 – geo-electrical contacts; 8 – specific electrical resistivity of rocks (Ohm. m)

## Палеомагнитные исследования терригенных отложений озера Севан

В целях реконструкции палеоклиматических условий территории оз. Севан важными являются данные палеомагнитных исследований, выполненных КФУ с участием сотрудников ИГИС для датировки терригенного материала поступающего в озеро [Варданян и др., 1983; Петрова и др., 1995]. Наибольшее количество указанных образований поставляют такие крупные реки бассейна, как Дзкнагет, Гаварагет, Аргичи и Масрик. Ниже в качестве примера рассмотрены результаты исследований терригенных пород рек Дзкнагет, Аргичи и разрез с. Норашен.

**Разрез реки Дзкнагет.** Изученный разрез расположен на левом берегу реки при впадении ее в озеро. Общая мощность разреза около пяти метров. Самая верхняя часть, мощностью ~ 0,5 м, образовалась после спуска воды озера при понижении его уровня в 1958 году. Из интервала  $3,6 \pm 0,5$  м разреза отобраны образцы с 72 уровней, из них 37 – из интервала  $2,0 \pm 0,5$  м, т. е. между слоем, для которого установлено абсолютное определение возраста и границей на глубине 0,5 м, связанной с понижением уровня воды в Севане. Средняя часть разреза, мощностью около 2-х метров, состоит из горизонтально залегающих слоев, сложенных суглинками, песками и супесями с раковинами моллюсков и остатками древесины. Для датировки образцы взяты на глубине около 2 м, где встречается слой песка с большим количеством раковин моллюсков и древесиной хорошей сохранности. По результатам радиоуглеродного метода  $^{14}\text{C}$  для данной глубины получены возрасты  $940 \pm 220$  (по раковинам) и  $1010 \pm 250$  лет (по древесине).

На основании выполненных лабораторных исследований установлено изменение палеомагнитных ( $J$ ,  $D$ ,  $I_n$ ,  $Q$ ,  $R_{ns} = I_n/I_{rs}$ ) и магнитных ( $c$ ,  $I_{rs}$ ) параметров вдоль разреза. В частности для  $J$  нижней части разреза получено  $\sim 75^\circ$ ; по мировым археомагнитным данным для первого тысячелетия до н. э. наклонение геомагнитного поля на широте  $40^\circ \div 50^\circ \text{N}$  было иным. В начале первого тысячелетия до н. э. в

ряде районов, в том числе и на Кавказе, зарегистрировано резкое понижение наклонения вплоть до отрицательных значений. Среднее значение  $J$  для остальной части разреза равно  $\sim 50^\circ$ . По археомагнитным данным оно на Кавказе для этого времени  $\sim 56^\circ$ . Среднее значение  $D$  меняется от  $\sim 60W$  до  $\sim 40E$ . В верхней части разреза  $D$  после чистки колеблется в пределах  $30^\circ$  при среднем значении монотонно меняющемся от  $\sim 10^\circ$  до  $0^\circ$ . В нижней части разреза наблюдаются также высокие  $s$  и  $I_d$  примерно в 3 раза превышающие значения этих параметров для остальной части разреза. При этом  $Q$  для всего разреза остается равным  $0,4 \pm 0,1$ . Поведение магнитных параметров позволяет считать, что ферромагнитная фракция в осадках всего разреза не меняется – об этом свидетельствует сходство кривых  $I_{rs}(T^\circ)$ ,  $I_s(T^\circ)$ . Предполагается, что резкое отличие средних значений  $J$  и  $D$  для нижней части разреза связано с тектонической историей территории. В конце первого тысячелетия до н. э. в прилегающих к озеру Севан районах происходили вертикальные перемещения, вызванные изменениями оледенения и достигающие по амплитуде 1000 м [Саядян, 2009]. Установленная величина средних значений  $J$  для низа разреза и небольшая амплитуда вариаций ( $\sim 5^\circ$ ) позволяют предположить, что эта часть разреза сместилась как единое целое и, соответственно, при приведении уровня средних значений в соответствие с остальным разрезом, ее можно использовать для изучения вековых вариаций. Сделано заключение о возможном наличии компоненты с  $T_c$ -150÷220°. О ее реальности свидетельствуют максимумы на дифференциальных кривых. О том, что эта компонента присутствует по всему разрезу свидетельствует, в частности, совпадение положения максимумов для верхней, средней и нижней частей разреза. Для компоненты  $T_c$  получено значение  $180^\circ \pm 30^\circ C$ .

Графики Зийдервельда, снятые с 2/3 образцов коллекции, показали присутствие трех компонент, которые выделяются при температурах 1-250°C, 2-350°C, 3-500°C. Они связываются с титаномагнетитом, титаномаггемитом и магнетитом. Установлено что, намагниченность титаномагнетита не природного, а лабораторного происхождения.

Титаномаггемитовая компонента имеет среднее направление  $D=340^\circ \pm 20^\circ$ ,  $J=55^\circ \pm 10^\circ$ , а магнетитовая  $D=360^\circ \pm 40^\circ$ ,  $J=50^\circ \pm 10^\circ$ . Естественно, что только эти компоненты могут быть использованы при изучении вековых вариаций.

При скорости осадконакопления с точностью 26 лет/уровень выделенные вариации имеют периоды  $169 \pm 26$ ,  $230 \pm 26$ ,  $380 \pm 26$ ,  $660 \pm 26$ ,  $910 \pm 26$  лет.

**Разрез реки Аргичи.** Данный разрез, мощностью 4 метра, расположен в устье р. Аргичи, близ юго-западного берега оз. Севан. Здесь озерные отложения представлены наиболее тонкими разностями терригенного и пирокластического материала. Отобраны по два образца из 92 прослоев, а из нескольких горизонтов – органические остатки, возраст которых был определен радиоуглеродным методом. Получены следующие значения сверху вниз –  $1313 \pm 200$ ,  $4940 \pm 100$ ,  $5080 \pm 80$  и  $8010 \pm 100$  лет. Величина естественной остаточной намагниченности изученных пород составляла  $14 \times 10^{-3} СИ$  с интервалом от  $7 \div 25 \times 10^{-3} СИ$ , магнитная восприимчивость варьирует в пределах от 12 до  $100 \times 10^{-3} СИ$ . Средняя величина  $I_n = 31 \times 10^{-3} СИ$ , а величины  $Q$  варьируют в пределах  $0,5 \div 1,6$ . Для верхней части разреза получены следующие значения –  $D=347^\circ$ ,  $J=54^\circ$ , а для нижней части –  $D=20^\circ$ ,  $J=68^\circ$ . Минералогический и термомагнитный анализы показали, что основными носителями намагниченности пород данного разреза являются ферромагнетики магнетитового ряда, содержащиеся, главным образом, в обломочных частицах вулканогенных пород, из которых и

образовались осадки. В целом изменения направления намагниченности осадков разреза Аргичи отражают изменения направления геомагнитного поля в период образования этих осадков.

**Разрез с. Норашен.** Комплексные магнитостратиграфические и магнитохронологические исследования голоценовых отложений проведены также в устье р. Аргичи близ юго-западного берега оз. Севан – у с. Норашен. Озерные осадки здесь прислонены к молодым андезито-базальтам. Видимая их мощность – 4,5 м.

Строение разреза этих отложений свидетельствует о двукратном подъеме уровня озера Севан [Саядян, 2009]. Первая, наиболее древняя, трансгрессия зафиксирована в отложениях интервала 4,50÷3,00 м. Она была разделена очень кратковременной регрессией или временным отступлением вод озера, выраженная болотной почвой интервала 3,60÷3,70 м. Время завершения этой трансгрессии было определено по раковинам моллюсков с глубины 3 м и по радиоуглеродному методу получена величина  $6270 \pm 110$  (МГУ-215). Вторая трансгрессия отражена в осадках интервала 0,50÷1,50. По раковинам моллюсков с глубины ~ 1 м по  $^{14}\text{C}$  получен возраст  $2090 \pm 70$  лет (МГУ-244).

В исследованном разрезе выделены два участка с повышенными значениями  $I_n$ : верхний и нижний. В верхней части разреза изменения  $I_n$  носят циклический характер, со средними значениями 50 и  $80 \times 10^{-3}$  А/м. В нижней части разреза  $I_n$  находится в пределах от 15 до  $55 \times 10^{-3}$  А/м. Величина  $Q$  колеблется от 0,02 до 0,05. Минералогический и термомагнитный анализы показали, что основным носителем намагниченности пород этого разреза являются ферромагнетики магнетитового ряда, содержащиеся главным образом в обломочных частицах вулканогенных пород, из которых и образовались осадки.

Анализ кривых ДТМА позволил заключить, что изначально в породах всего разреза присутствовали два ферромагнетика: с  $T_c \sim 300 \div 400^\circ$  и магнетит, но в разных отношениях. После магнитных чисток температурой  $100 \div 200^\circ\text{C}$  и переменным полем  $100 \div 300^\circ\text{C}$  образцы пригодны для выделения палеогеомагнитных вариаций геомагнитного поля.

Сделано заключение, что радиоуглеродные данные предоставляют возможность определить возраст Норашенского разреза, что дает право считать его вполне благоприятным для изучения палеогеомагнитных вариаций на голоценовых осадках.

В целом сопоставление результатов, полученных при изучении осадков рек Дзкнагет, Аргичи и разрез с. Норашен с результатами археомагнитных исследований показало, что палеомагнитная запись дает более обоснованное представление об изменении геомагнитного поля района и, следовательно, при изучении вековых вариаций палеомагнитные исследования имеют определенное преимущество по сравнению с археомагнитными, в частности, в отношении непрерывности изучаемого ряда.

### Исследование донных отложений озера

Для восстановления палеоклимата бассейна озера Севан особый интерес представляют результаты исследований его донных отложений, возраст которых относят к голоцену. Согласно данным ранее выполненным работам в донных отложениях озера зафиксированы и вулканические извержения, и землетрясения, и климатические вариации [Корженков и др., 2014; Саядян и др., 1991; Leroyer et al., 2016]. Исследование этих событий, их возраст и интенсивность представляют практические

скую важность, так как это позволяет оценить разрушительные процессы, которые происходили в прошлом и могут произойти в будущем. К настоящему времени сведения о донных отложениях озера в основном относятся к береговым обнаженным осадкам. Для оценки мощности и характера залегания донных отложений сотрудниками КФУ с участием специалистов ИГИС проведены сейсмоакустические исследования в северо-западной части акватории Малого Севана [Крылов, 2018]. На полученных сейсмоакустических разрезах наблюдается сложная морфология дна озера: неравномерное распределение осадков, выходы коренных пород в водную толщу, зоны локальных размывов. Сделаны выводы, что установленные сейсмогеологические границы свидетельствуют об изменении условий осадконакопления в озере, они могут быть обусловлены, как долговременными и постепенными изменениями климата, так и быстрыми процессами активной тектоники и вулканизма. Установленные небольшие мощности отложений отражают короткий период формирования осадков, и скорее всего, они связаны с образованиями голоцена. Отобранные образцы керн донных отложений озера и их всесторонний лабораторный анализ позволит получить необходимые данные о палеоклимате исследуемой территории.

### Заключение

В работе рассмотрены результаты комплексных исследований, выполненных в пределах бассейна озера Севан – геоморфологических, тектонических, палеогидрогеологических, и в особенности палеогеофизических, в том числе сейсмоакустических, относящихся к вопросам палеоклиматологии исследований территории:

- Охарактеризованы геоморфолого-тектонические условия прибрежных и акваториальных частей озера.
- Прогнозировано существование в пределах водосборного бассейна озера ряда палеогидрогеологических циклов, связанных с ранее существующими седиментационными и инфильтрационными водами.
- По результатам геофизических исследований уточнено палеогидрогеологическое районирование бассейна озера, выделены палеодолины, установлены основные пути движения подземных вод, часть которых разгружается в пределах его акватории.
  - По палеомагнитным исследованиям установлено, что:
    - основными носителями намагниченности голоценовых пород бассейна являются ферромагнетики магнетитового ряда;
    - первичную намагниченность изученных пород представляет сформировавшаяся во время осадконакопления ориентационная намагниченность;
    - сделан вывод, что установленные по геомагнитным и археомагнитным данным вариации, скорее всего, связаны с климатическими изменениями территории.
  - По сейсмоакустическим исследованиям, выполненным в пределах северо-западной части акватории озера, получены данные о строении его донных отложений (их мощности, последовательности залегания и изменений по площади), которые по возрасту относятся, скорее всего, к голоцену.

Всесторонний анализ отобранных длинных кернов донных отложений, с учётом результатов выполненных комплексных исследований, позволит решить задачу по реконструкции истории развития палеоклимата озера за последние десятки тысяч лет.

## Литература

1. Бальян С.П. Структурная геоморфология Армянского нагорья и окаймляющих областей. – Ереван: Изд-во ЕГУ, 1969. – С. 390.
2. Варданян А. А., Нечаева Т. Б., Минасян Дж. О. Опыт изучения палеооценовых вариаций по голоценовым озерным осадкам озера Севан // Изв. Науки о Земле АН Арм. ССР. – 1983. – №4. – С. 66-69.
3. Варданян А. А., Корженков А. М., Сорокин А. А., Стаховская Р. Ю. Палеогеографические условия и возраст сильного землетрясения по данным изучения голоценовых отложений оз. Севан, Армения // Геофизические процессы и биосфера. – 2018. – Т. 17. №1. – С. 125-136.
4. Геология Армянской ССР. Том I. Геоморфология. – Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1962. – С. 431.
5. Геология Севана // Под ред. Сатиана М. А. и Чилингаряна Г. В. – Ереван: Изд-во НАН РА, 1994. – С. 181.
6. Корженков А. М., Аванесян М. А., Вирджино А., Караханян А. С. Сейсмогенные конволюции в четвертичных отложениях озера Севан (Армения) // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55. №1. – С. 56-65.
7. Крылов П. С. Сейсмоакустика донных отложений современных озер, как основа палеогеофизических и палеоклиматических реконструкций // Дис. канд. геол.-мин. наук. Казань. – 2018. – 155 с.
8. Милановский Е. Е. Новейшая тектоника Кавказа. – М.: Недра, 1968. – С. 483.
9. Минасян Р. С. Гидрогеофизические исследования подземных вод вулканических регионов. – Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2014. – С. 70.
10. Петрова Г. Н., Диденко Е. Ю., Варданян А. А. Вариации геомагнитного поля, записанные в осадках разреза Дзкнагет // Физика Земли. – 1995. – №5. – С. 80-87.
11. Саядян Ю. В., Милановский Е. Е., Асланян А. Т. и др. История озер Севан, Иссык-Куль, Балхаш, Зайсан и Арал. – Л.: Наука. Ленингр. отделение, 1991. – С. 301.
12. Саядян Ю. В. Новейшая геологическая история Армении. – Ереван: Изд-во «Гитутюн», 2009. – С. 375.
13. Bowman D., Korjenkov A. M., Porat N. Late-Pleistocene seismites from Lake Issyk-kul, the Tien Shan range, Kyrgyzstan // Sedimentary Geology. – 2004. – Vol. 163. – Pp. 211-228.
14. Chunga K., Livio F. et al. Synsedimentary deformation of Pleistocene glaciolacustrine deposits in the Albese con Cassano area (Southern Alps, Northern Italy), and possible implications for paleoseismicity // Sedimentary Geology. – 2007. – Vol. 196. – Pp. 59-80.
15. Karakhanian A., Tozalakyan P., Grillot J.-C., Philip H., Melkonyan D., Paronyan R., Arakelyan S. Tectonica impact on the Lake Sevan environment (Armenia) // Environmental Geology. – January 2001. – Vol. 40 (3). – Pp. 279-288.
16. Karakhanian A., Djr bashian R., Trifonov V. et al. Holocene-historical volcanism and active faults as natural risk factors for Armenia and adjacent countries // J. Volcanol. Geotherm. Res. – 2002. – Vol. 113. – Pp. 319-344.
17. Korjenkov A. M. Seismogenic convolutions in the lacustrine deposits of the Issyk-Kul Lake, the Tien Shan // J. Earthq. Pred. Res. – 2000. – Vol. 8 – Pp. 514-519.
18. Leroyer C. et al. Mid Holocene vegetation reconstruction from Vanevan peat (south-eastern shore of Lake Sevan, Armenia), Quaternary International. – 2016. – No. 395. – Pp. 5-18.

19. Rossetti D. F. Soft sediment deformation structures in late Albian to Cenomanian deposits, São Luis Basin, Northern Brazil: Evidence for palaeoseismicity // *Sedimentology*. – 1999. – Vol. 46. – Pp. 1065-1081.

20. Jones A., Omoto K. Towards establishing criteria for identifying trigger mechanisms for soft-sediment deformation: a case study of Late Pleistocene lacustrine sands and clays, Onikobe and Nakayamadaira Basins, northeastern Japan // *Sedimentology*. – 2000. – Vol. 47. – Pp. 1211-1226.

---

---

## GEOPHYSICAL METHODS

---

---

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26793

# Paleohydrogeological and geophysical research aimed at reconstruction of paleoclimate in lake Sevan basin, Armenia

R. S. Minasyan<sup>1</sup>, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., J. K. Karapetyan<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Geol.), R. A. Karamyan<sup>1</sup>, A. A. Igityan<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Geol.), A. A. Gevorgyan<sup>1</sup>, D. K. Nurgaliev<sup>2</sup>, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., P. S. Krilov<sup>2</sup>, A. N. Dautov<sup>2</sup>, P. G. Yasonov<sup>2</sup>, Cand. Sci. (Geol.-Min.), D. M. Kuzina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Geophysics and Engineering Seismology after A. Nazarov of NAS RA, 5V. Sarksyon Str., Gyumri 3115, Republic of Armenia  
e-mail: hydroscope2006@yahoo.com

<sup>2</sup>Kazan Federal University, 18 Kremlevskaya Str., Kazan 420008, Russia  
e-mail: danis.nourgaliev@kpfu.ru

**Abstract.** In order to determine the natural conditions for the restoration of the paleoclimate of the lake Sevan basin (Armenia) the materials related to the geomorphological-tectonic and paleohydrogeological structure of the inshore and aquatic parts of the lake were analyzed and summarized. Special geophysical studies of the paleohydrogeological orientation have been carried out: the paleohydrogeological zoning of the catchment area has been carried out, data on the structure of its paleorelief have been obtained, a number of paleochannels have been identified, the main routes of concentrated movement and the groundwater discharge area have been determined, including within the lake waters. Data on the section of terrigenous deposits dating of the lake coastal parts were obtained according to paleomagnetic studies. The seismic-acoustic wave studies carried out in the water area of the Small Sevan made it possible to draw up geophysical sections characterizing the structural features of the lake's bottom sediments. In general, the obtained data will be used to determine the age of the limnological deposits of the inshore and bottom parts of the lake, to establish the paleohydrogeological, geocological, and paleogeographic features of its development in the Holocene in connection with an attempt to reconstruct the paleoclimate of the studied region. According to the bathymetric data, the bottom of the Greater Sevan represents a flat plain with fluctuations of depths on average  $40 \div 51.5$  m. In the south-western part of the territory, north of the village of Getashen, erosion troughs that are associated with the ancient valley of the river of Argichi are traced. The existence of the latter is also confirmed by geophysical data. It is assumed that the morphology of the deep part of the Small Sevan bottom reflects the presence of significant tectonic subsidence here. At the same time, on the south-western and western slopes, in the formation of the present-day relief of the bottom of the lake, the main role was played by outpourings of Holocene-age lavas. In the northeastern coastal

part of the Small Sevan, to a depth of 70 ÷ 99 m, closed depressions have been established, the origin of which is explained by local tectonic subsidence. In general, the bottom relief of the Small Sevan differs significantly from the Greater Sevan, both in terms of complexity and origin.

**Keywords:** the lake Sevan, paleoclimate, Armenia, paleohydrogeology, geophysical methods, zoning, catchment area, paleomagnetism, seismoacoustics, Holocene.

**Acknowledgements:** The presented work was supported by the State Committee on Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Armenia within the framework of the scientific Project N 18RF-033.

**For citation:** 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 geophysical research aimed at reconstruction of paleoclimate in lake Sevan basin, Armenia. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019;9 (1): 122-134. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26793.

## References

1. Bal'yan S. P. Structural geomorphology of the Armenian highlands and bordering areas. Erevan: EGU, 1969. pp. 390. (in Russ.)
2. Vardanyan A. A., Nechaeva T. B., Minasyan Dzh. O. Experience in the study of paleo-variations on the Holocene lacustrine sediments of Lake Sevan. *News of Earth Sciences of the Academy of Sciences of the Armenian SSR*. 1983. No. 4. pp. 66-69. (in Russ.)
3. Vardanyan A. A., Korzhenkov A. M., Sorokin A. A., Stakhovskaya R. Yu. Paleogeographic conditions and age of a strong earthquake according to a study of the Holocene sediments of Lake Sevan, Armenia. *Geophysical processes and Biosphere*. 2018. Vol. 17. No. 1. pp. 125-136. (in Russ.)
4. *Geology of the Armenian SSR. Vol I. Geomorphology*. Erevan: Academy of Sciences of the Armenian SSR, 1962. 431 p. (in Russ.)
5. *Geology of Sevan*. Ed. Satiana M. A. and Chilingaryan G. V. Erevan: National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, 1994. 181 p. (in Russ.)
6. Korzhenkov A. M., Avanesyan M. A., Virdzhino A., Karakhanyan A. S. Seismogenic convolutions in the Quaternary sediments of Lake Sevan (Armenia). *Geology and Geophysics*. 2014. Vol. 55. No. 1. pp. 56-65. (in Russ.)
7. Krylov P. S. Seismic acoustics of bottom sediments of modern lakes, as the basis of paleogeophysical and paleoclimatic reconstructions. Dissertation of the candidate of geological-mineralogical sciences. Kazan. 2018. 155 p. (in Russ.)
8. Milanovskii E. E. The newest tectonics of the Caucasus. *M. Nedra*, 1968. pp. 483. (in Russ.)
9. Minasyan R. S. Hydro-geophysical studies of groundwater in volcanic regions. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2014. pp. 70. (in Russ.)
10. Petrova G. N., Didenko E. Yu., Vardanyan A. A. Variations of the geomagnetic field recorded in the sediments of the Dzknaget section. *Physics of the Earth*. 1995. No. 5. pp. 80-87. (in Russ.)
11. Sayadyan Yu. V., Milanovskii E. E., Aslanyan A. T. et al. History of lakes Sevan, Issyk-Kul, Balkhash, Zaisan and Aral. *Nauka*. 1991. pp. 301. (in Russ.)
12. Sayadyan Yu. V. Latest geological history of Armenia. Erevan, publisher "Gitutyun", 2009. pp. 375. (in Russ.)
13. Bowman D., Korzhenkov A. M., Porat N. Late-Pleistocene seismites from Lake Issyk-kul, the Tien Shan range, Kyrgyzstan. *Sedimentary Geology*. – 2004. – Vol. 163. – pp. 211-228.
14. Chunga K., Livio F. et al. Synsedimentary deformation of Pleistocene glaciolacustrine deposits in the Albese con Cassano area (Southern Alps, Northern Italy), and possible implications for paleoseismicity. *Sedimentary Geology*. – 2007. – Vol. 196. – pp. 59-80.
15. Karakhanian A., Tozalakyan P., Grillot J.-C., Philip H., Melkonyan D., Paronyan R., Arakelyan S. Tectonic impact on the Lake Sevan environment (Armenia). *Environmental Geology*. – January 2001. – Vol. 40 (3). – pp. 279-288.

16. Karakhanian A., Djrbashian R., Trifonov V. et al. Holocene-historical volcanism and active faults as natural risk factors for Armenia and adjacent countries. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2002. Vol. 113. pp. 319-344.

17. Korjenkov A.M. Seismogenic convolutions in the lacustrine deposits of the Issyk-Kul Lake, the Tien Shan. *J. Earthq. Pred. Res.* 2000. Vol. 8 pp. 514-519.

18. Leroyer C. et al. Mid Holocene vegetation reconstruction from Vanevan peat (southeastern shore of Lake Sevan, Armenia), *Quaternary International.* 2016. No. 395. pp. 5-18.

19. Rossetti D.F. Soft sediment deformation structures in late Albian to Cenomanian deposits, São Luis Basin, Northern Brazil: Evidence for palaeoseismicity. *Sedimentology.* 1999. Vol. 46. pp. 1065-1081.

20. Jones A., Omoto K. Towards establishing criteria for identifying trigger mechanisms for soft-sediment deformation: a case study of Late Pleistocene lacustrine sands and clays, Onikobe and Nakayamadaira Basins, northeastern Japan. *Sedimentology.* 2000. Vol. 47. pp. 1211-1226.