

ДИНАМИКА ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 551.332.21 (479.25)

Д.В. Севастьянов¹, Т.В. Сапелко², М.А. Науменко³, В.Р. Бойнагрян⁴

РИТМИКА ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В РАЙОНЕ МАССИВА АРАГАЦ (АРМЕНИЯ) ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ОЗЕРА УМРОЙ

Обсуждаются новые результаты исследования озер и ледниковых отложений на склонах самого высокого на территории Армении вулканического массива Арагац. На основе геоморфологических и палеолимнологических методов исследований выявлены следы ритмического формирования послеледникового рельефа, стадийного заложения конечных морен и высокогорных озер на склонах этого массива. Впервые проведено эхолотирование озерной котловины и бурение донных отложений оз. Умрой, получены радиоуглеродные датировки озерных отложений и данные о стратиграфии осадков. На основе эхолотирования уточнены морфометрические характеристики озера. Обсуждается хронология стадийной регрессии последнего горного оледенения. С помощью радиоуглеродного (AMS) датирования определен возраст образования оз. Умрой в массиве Арагац – около 7000 кал. л. н., что соответствует периоду отступления ледника от конечной морены стадии Бюль (по альпийской терминологии). Анализируются литературные материалы гляциоморфологических исследований, выполненных на Малом Кавказе и на массиве Арагац в прошлом. В основу гипотезы стадийного формирования моренного рельефа на склонах массива Арагац в голоцене положена теоретическая схема Петтерссона-Шнитникова, которая была разработана для гор Евразии. Показаны возможности определения относительного возраста формирования моренного рельефа и озерных котловин на основе методов палеолимнологических исследований. Формы ледникового рельефа, содержащие несколько генераций стадийных конечных морен и связанных с ними озерных котловин, являются отражением циклической динамики отступления последнего оледенения на массиве Арагац в соответствии с многовековыми климатическими ритмами голоцена. Утверждается, что использование радиоуглеродного (AMS) датирования озерных осадков в горных озерах, дополненное изучением палинологии и стратиграфии донных отложений, можно считать наиболее репрезентативным подходом для косвенного выявления возраста прилегающих моренных отложений и для изучения ритмической изменчивости природных процессов в голоцене.

Ключевые слова: Армянское нагорье, ледниковые отложения, донные отложения, AMS-датирование, индикаторы

Введение. Географы, гляциологи и гидрологи всегда проявляли интерес к изучению динамики высокогорных ландшафтов и взаимодействию горных ледников и озер. В результате наблюдений за состоянием современных горных ледников и озер, изучения форм гляциогенного рельефа (каров, морен и др.), сформированных в период последнего (вюрмского) оледенения на Кавказе, в Альпах и других горных странах, были выявлены следы стадийного отступления ледников и основные индикаторные свойства лимно-гляциального рельефа по отношению к изменениям климата [Серебрянный и др., 1984, 1989; Севастьянов, 1979, 1986; Соломина, 1992; Kasser, 1981; Hormes et al., 2001].

Результаты проведения комплексных палеолимнологических исследований в разных горных системах на основе изучения донных отложений озер показывают, что озера являются чувствительными индикаторами изменений климата и ледникового стока,

представляя собой природные накопительные информационные геосистемы. Именно в озерных отложениях накапливается (аккумулируется) информация об изменениях окружающей среды в прошлом. Она фиксируется в стратиграфии отложений, в составе и строении донных осадков (седиментов), в перерывах в осадконакоплении, в изменениях состава диатомовых комплексов, спорово-пыльцевых спектров и других индикаторах природной среды. Расшифровка этой информации на основе палеолимнологических методов позволяет выявить особенности процессов осадконакопления, обусловленные изменениями климата и стока, проводить палеореконструкции, моделировать динамику развития природных процессов в прошлом и выявлять тенденции их развития в равнинных и горных ландшафтах [Connor, Kvavadze, 2008; Соломина и др., 2013; Sevastyanov et al., 2014; Субетто и др., 2017; Sapelko et al., 2018].

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, кафедра страноведения и международного туризма, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: ecolim@mail.ru

² Институт озераведения Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, ст. науч.с., канд. геогр. н.; e-mail: tsapelko@mail.ru

³ Институт озераведения Российской академии наук, г. Санкт-Петербург, вед. науч. с., докт. геогр. н.; e-mail: m.naumenko@limno.org.ru

⁴ Ереванский государственный университет, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: vboynagryan@ysu.am

Специальные исследования континентальных отложений и озер Армении стали осуществляться в начале XX в. с целью изучения природных ресурсов, необходимых для развития хозяйства региона. Новый этап комплексных исследований территории Армении и крупные научные обобщения прошлых результатов были сделаны в бассейне оз. Севан и на массиве Арагац в конце XX – начале XXI вв. сотрудниками Ереванского университета, Академии наук Армянской ССР и АН СССР в связи с Программами рационального использования природных ресурсов региона, реализованными в разные годы [Бальян, 1969; История озер ..., 1991; Бойнагрян, 2007, 2016; Саядян, 2009; Бойнагрян и др., 2018].

Основная задача нашего исследования – рассмотреть возможности определения возраста гляциогенного рельефа и выявления особенностей эволюции высокогорного оз. Умрой в послеледниковое время на основе результатов изучения донных осадков озера и стадийности ледниковых отложений на склонах массива Арагац в Армении.

Материалы и методы исследований. Летом 2018 г. авторы проводили исследования высокогорных озер Армянского нагорья в рамках реализации совместного международного Российско-Армянского проекта РФФИ – «Палеолимнологический аспект

изучения эволюции экосистем высокогорных озер России и Армении».

Один из объектов наших исследований – высокогорное озеро Умрой, расположенное на северо-восточном склоне вулканического массива Арагац. Этот массив, как наиболее возвышенный район Армении, представляет существенный интерес для изучения следов последнего оледенения и эволюции связанных с ними озер. Поэтому реперным районом для изучения был выбран бассейн высокогорного оз. Умрой (рис. 1).

Вулканический массив Арагац, достигающий высоты 4090 м, на котором проводилось изучение озерных котловин и форм послеледникового рельефа, представлен четырьмя вулканогенными вершинами. Склоны этого горного массива несут следы древнего оледенения в виде обширных каров, моренных образований и связанных с ними озерных котловин. На склонах массива Арагац имеется много небольших озер, лежащих на разных высотных уровнях. Анализ картографических материалов показывает, что большинство из них расположено в пределах высот 2900–3600 м, занимают понижения моренного рельефа в карах и представляют собой каровые, моренно-запрудные и внутриморенные гляциогенные котловины. Несколько озер, расположен-

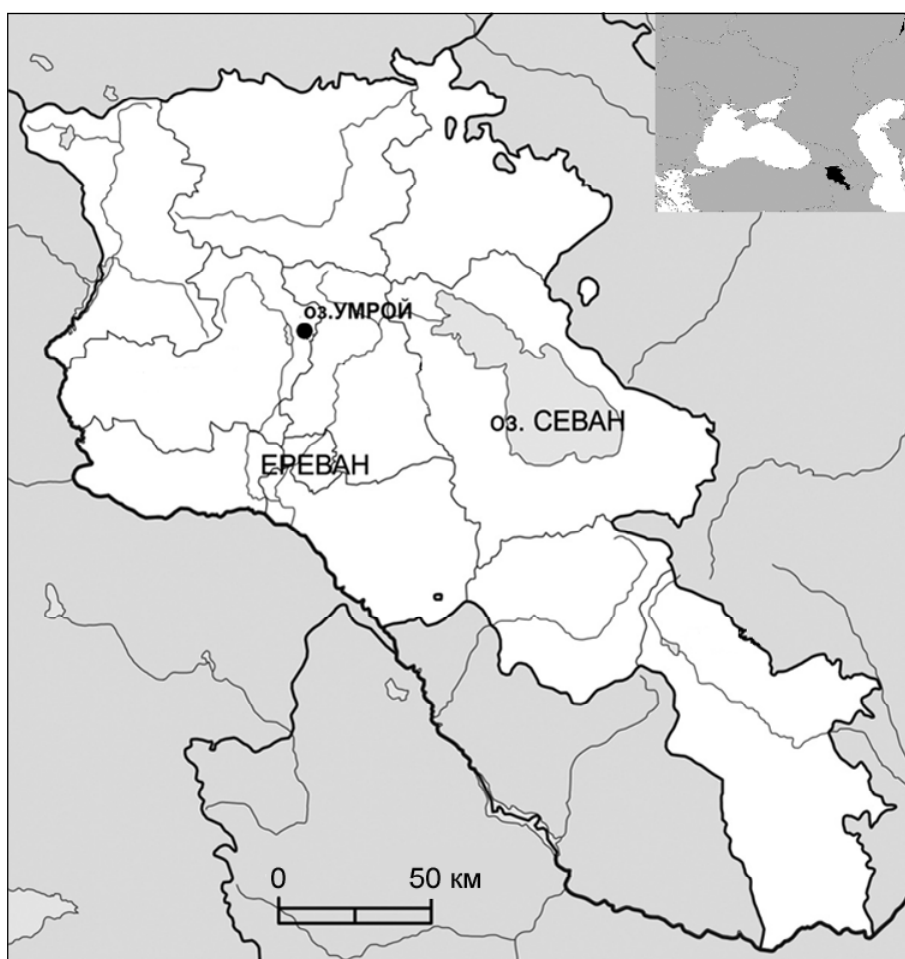


Рис. 1. Район исследований – Армянское нагорье, массив Арагац, оз. Умрой

Fig. 1. Study Area – Armenian Plateau, Aragats Massif, Umroi Lake

ных у северо-восточного подножия массива Арагац среди лавового рельефа на отметках ниже 2500 м, например, в окрестностях с. Нигаван, по мнению ряда исследователей, имеют вулканогенное происхождение [Бойнагрян, 2007, 2016; Саядян, 2009].

На основе детального анализа аэрофотоснимков и топографических карт масштабов 1:25 000 и 1:100 000, прокладки продольных профилей по моренным накоплениям вюрмского возраста на северо-восточной и восточной частях макросклонов массива Арагац, впервые для рассматриваемого региона удалось выявить минимум четыре генерации моренных отложений, проследить максимальное продвижение вюрмских ледников и выявить стадильность их отступания. Выше оз. Умрой на топографических картах и аэроснимках разных лет установлено еще два небольших озера, подпруженных моренами, располагающихся на гипсометрических уровнях 3207 и 3380 м. Особый интерес вызвало крупное гляциогенное озеро Умрой. Изучение особенностей распространения моренных отложений в его бассейне, позволило выявить следы стадильности в формировании моренного рельефа. Исследование глубин озера посредством эхолотирования и отбор колонок донных отложений подтвердили наши предположения о ледниковом происхождении озера. Последующее изучение состава и строения озерных отложений будет положено в основу палеолимнологических реконструкций голоцена [Бойнагрян и др., 2018; Sapelko et al., 2019].

Результаты и обсуждение. Озеро Умрой – предмет нашего специального изучения, расположено во внешней части обширного кара на высоте 3058 м над уровнем моря, имеет овальную форму и ориентировано своей длинной стороной в направлении СЗ–ЮВ. Северная часть озерной котловины углублена почти до 11 м, вероятно под воздействием конца древнего ледника в период его стационарного положения, а противоположная – юго-восточ-

ная – часть котловины выположена, сток подпруживается мореной. Большая часть берегов озера представлена крутыми осыпными склонами, покрытыми крупноглыбовым материалом. Озеро имеет преимущественно снеговое питание за счет таяния снежников на водосборе и дождевых осадков. Ледника в верховьях кара не наблюдается, но на аэроснимках и топографических картах в верхней части кара выше оз. Умрой можно видеть ещё два небольших гляциогенных озера на высотах 3207 м и около 3380 м. С северо-запада озерная котловина оз. Умрой обрамлена крутыми склонами горной коренной складки, изгибающейся в форме цирка северо-восточной экспозиции и достигающей высотных отметок гребня 3283–3372 м. Максимальные высоты отдельных вершин гребня в обрамлении водосбора озера достигают 3585,5 м над уровнем моря. Коренные породы склонов массива сложены преимущественно вулканогенными породами верхнего–среднего олигоцена [Бальян, 1969; Бойнагрян, 2016].

В период полевых исследований 2018 г. впервые нами выполнены подробные промеры глубин оз. Умрой на основе эхолотирования (табл. 1).

В частности, существенно уточнены основные морфометрические параметры высокогорного оз. Умрой и разработана 3D-модель его котловины [Сапелко и др., 2019]. Отбор проб донных отложений оз. Умрой был выполнен с помощью русского бура (модифицированного торфяного) в точке (40°31,285' с. ш. 44°15,594' в. д.), с глубины 3,35 м. Получены первые результаты изучения колонки донных отложений, состоящей из двух кернов, взятых с перекрытием. Общая мощность отобранной колонки составила 1,17 м. Выделены границы и описаны литологические горизонты. Корреляция кернов проведена по литологическим границам. Из этой колонки получено пять радиоуглеродных AMS-датировок (табл. 2) [Sapelko et al., 2019]. Датирование выполнено в радиоуглеродной лаборатории Института гео-

Таблица 1

Основные морфометрические характеристики оз. Умрой

Площадь, км ²	Средняя глубина, м	Наибольшая глубина, м	Объем, м ³	Коэффициент развития береговой линии
0,117	3,2	10,9	365,1×10 ³	1,28

Таблица 2

Радиоуглеродные AMS-датировки по органическому веществу отложений оз. Умрой*

Глубина, см	Лабораторный номер	Материал датирования	Радиоуглеродный возраст (¹⁴ C), л. н.	Калиброванный возраст, кал. л. н.
4,42–4,44	IGAN-6545	ТОС	6285±40	7156–7313 (7216)
4,15–4,17	IGAN-6546	ТОС	2915±40	2945–3179 (3057)
4,03–4,05	IGAN-6547	ТОС	2925±30	2973–3163 (3072)
3,84–3,86	IGAN-6548	ТОС	2415±20	2348–2700 (2455)
3,40–3,42	IGAN-6549	ТОС	650±20	560–666 (591)

Примечание. *Результаты радиоуглеродного датирования образцов получены в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН и в Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (США). ТОС – общий органический углерод.

графии РАН, калибровка дат выполнены в соответствии с Radiocarbon Calibration Program Calib. Ver. 7.1.0 [Reimer et al., 2013].

Анализ стратиграфии донных отложений и полученные датировки показали определенную ритмичность в осадконакоплении. В отобранной колонке из нижнего (базального) слоя относительно более плотных и минерализованных слоистых суглинков получена калиброванная дата около 7000 л. н. Другая датировка верхнего слоя осадков (3) составила около 600 л. н. (рис. 2, см. табл. 2).

Колонка длиной 117 см вскрывает отложения оз. Умрой, накопившиеся почти за 7000 лет, с учетом калиброванного возраста нижнего слоя отложений (см. рис. 2). Средняя расчетная скорость осадконакопления по всей колонке (на основе верхней и нижней полученных датировок) составляет около 0,15 мм/год. Средняя скорость накопления коричневой гомогенной гиттии в горизонте с глубин 405–385 см (от поверхности воды) достигает 0,4 мм/год. Значительная разница в расчетных скоростях осадконакопления и слоистое строение колонки осадков в интервале глубин 405–430 см с присутствием песчаного горизонта могут отражать резкие колебания природных условий и возможные перерывы в озерном осадконакоплении (между слоями 1, 2 и прослой песка 4, см. рис. 2). Об этом свидетельствуют наши предварительные результаты изучения колонки [Севастьянов и др., 2019; Sapelko et al., 2019].

По предварительным результатам палинологического изучения колонки донных отложений оз. Умрой мы можем говорить о теплом и влажном климате во время формирования слоистого суглинка. В это время содержание пыльцы древесных пород было минимальным по разрезу. Возможно, в это время происходило таяние ледников. Атлантический период формирования суглинка подтверждает и полученная радиоуглеродная датировка 6285 ± 40 ^{14}C лет назад (7216 кал. л. н.) (IGAN-6545) [Sapelko et al., 2019]. Полученные заключения о влажном климате и распространении лесов на Малом Кавказе подтверждают также палинологические данные по горным территориям Армении и Грузии [Серебрянный и др., 1984; Connor, Kvavadze, 2008; Ollivier et al., 2011; Joannin et al., 2014; Leroyer et al., 2016]. Изменение климатических условий произошло в суббореальный период, для которого получены даты 2915 ± 40 ^{14}C лет назад (3057 кал. л. н.) (IGAN-6546) и 2925 ± 30 ^{14}C лет назад (3072 кал. л. н.) (IGAN-6547). В это время в озере формировалась темная глинистая гиттия (см. рис. 2). Граница леса опускалась ниже современной, о чем может свидетельствовать сокращение древесных пород в спорово-пыльцевых спектрах. Полученные палинологические данные для этого периода фиксируют похолодание и иссушение климата, что возможно связано с увеличением ледникового покрова. О сокращении ледников в голоцене около 10 500 лет назад свидетель-

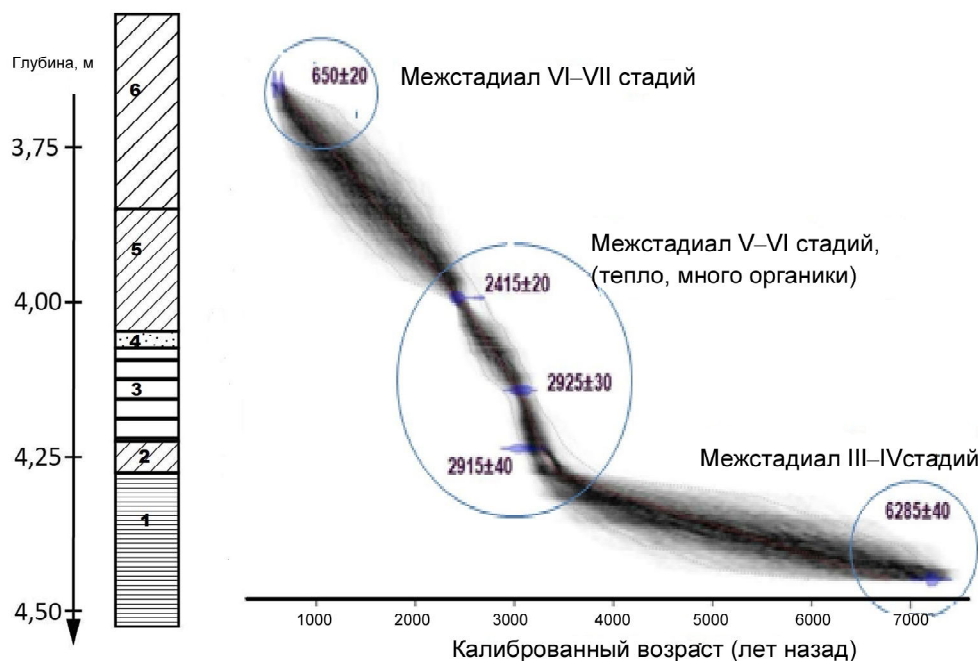


Рис. 2. Модель «возраст–глубина» по керну озерных отложений оз. Умрой (даты по ^{14}C). Глубины даны от поверхности воды. Условные обозначения: Слева на литологической колонке: 1 – слоистый суглинок; 2 – однородная глинистая гиттия; 3 – слоистая глинистая гиттия; 4 – песок; 5 – темно-коричневая глинистая однородная гиттия; 6 – светло-коричневая однородная гиттия.

Цифрами на кривой даны некалиброванные даты, на горизонтальной оси – калиброванные

Fig. 2. «Age-depth» model according to the core of the Umroi Lake sediments (^{14}C dating). Depths are given downward from the water surface. Legend: Left on the lithological column: 1 – layered loam; 2 – homogeneous clay gittia; 3 – layered clay gittia; 4 – sand; 5 – dark brown clay homogeneous gittia; 6 – light brown homogeneous gittia. The numbers on the curve are uncalibrated dates, those on the graph are calibrated dates

ствуют исследования как на Кавказе [Соломина и др., 2013], так и в Альпах [Ivy-Ochs et al., 2009]. При этом отмечается сокращение ледников до периода около 3000 лет назад, что показывают и наши результаты, полученные по донным отложениям оз. Умрой. С началом субатлантического периода, которое фиксируется датировкой 2415 ± 20 ^{14}C лет назад (2455 кал. л. н.) (IGAN-6548) увеличивается содержание древесных пород в спорово-пыльцевых спектрах, что свидетельствует об увлажнении климата и возможном подъеме границы леса до современного уровня.

На отступление (сокращение) горных ледников в голоцене около 3000 л. н., которое сменилось похолоданием и наступлением оледенения около 2000 л. н., указывали многие авторы. Эту историческую фазу исследователи фиксировали на основе разных индикаторов как на Кавказе [Тушинский и др., 1979; Серебрянный и др., 1984; Соломина, 1992; Serebryanny, Solomina, 1996; Joannin et al., 2014], так и в Альпах [Hormes et al., 2001; Haeberli et al., 2003]. Последнее наступление ледников и увеличение снежности на Кавказе и Армянском нагорье («Малый ледниковый период») – 200–300 л. н., отмечено в работах ряда исследователей [Тушинский, 1960; Шнитников, 1969; Тушинский, Турманина, 1979; Kotlyakov et al., 1991; Joannin et al., 2014].

На вулканическом массиве Арагац следы вюрмских ледников наиболее четко прослеживаются на его северных и восточных макросклонах и в прорезающих их троговых долинах. В западной части северного макросклона в глубокой (до 300–350 м) троговой долине р. Гехадзор имеется целый набор следов вюрмского оледенения: лестница каров в интервале высот от 3300 до 2950 м; ригели с относительной высотой 100–150 м; каровые и моренные озера, гряды моренных холмов, образующих полосу длиной до 10 км (нижняя граница морен здесь проходит на высоте около 2250 м) и мощностью более 80 м. В троговой долине р. Дузкенд, прорезающей почти посередине северный макросклон Арагаца, в верховьях расположен глубокий висячий кар, из которого тянется полоса моренных холмов с высоты 3150 м до высоты 2250 м и общей длиной 7 км [Бойнагрн, 2016]. Моренный покров Арагаца имеет сложное строение в связи с тем, что в период максимума последнего оледенения вершина вулкана покрывалась «ледниковой шапкой», а по склонам стекали долинные и карово-долинные ледники, сформировавшие конечные морены. Отмечалось, что вулканический массив неоднократно подвергался землетрясениям, которые оставили систему разломов, осложняющих интерпретацию следов оледенения и выявление стадильности в деградации оледенения. В основном, исследователи выделяли следы максимального рисского и последнего вюрмского оледенений [Бальян, 1969; Саядян, 2009 и др.]. Однако, некоторые авторы, изучавшие следы последнего оледенения на склонах Арагаца, выделяли серии разномасштабных стадильных конечных морен [Личков, 1931; Максимов, 1970; Бойнагрн,

2016 и др.]. В частности, Е.В. Максимов [1970] подразделял моренные поля и отдельные морены на склонах Арагаца по их мощности и выраженности в рельефе на разные генерации: а) стадильные (многовековые), б) промежуточные, в) внутривековые. *Стадильные* – это самые мощные конечные морены, соответствующие многовековому ритму Петтерссона-Шнитникова (1800–1900 лет) [Pettersson, 1930; Шнитников, 1957, 1985]. Таких морен Е.В. Максимовым в разных долинах было выделено по четыре–пять, а внутривековых – три–пять и рассчитана стадильная депрессия концов ледников, составляющая в среднем 80–100 м [Максимов, 1970]. При рекогносцировке рельефа в бассейне оз. Умрой нами также было выделено четыре–пять стадильных конечных морен голоценового возраста. Их ориентировочное расположение отмечено на топографической карте (рис. 3).

Механизм образования стадильных конечных морен и озер в процессе многовекового ритма распада последнего горного оледенения и стадильная хронология этого процесса были детально описаны и обоснованы в ряде работ [Шнитников, 1957, 1985; Максимов, 1983; Севастьянов, 1979; Серебрянный и др., 1989; Соломина, 2014 и др.].

Как было показано в работах О. Pettersson [1930] и А.В. Шнитникова [1957, 1985], основной причиной изменения глобального климата и последующего баланса массы ледников, приводящей их в состояние наступания или деградации, на протяжении голоцена являлся ритм неравенства приливообразующей силы (ПС). По расчетам О. Петтерссона, циклические изменения этой силы обусловлены орбитальным расположением Земли и Луны относительно Солнца. Ритмично изменяясь, на максимуме своего проявления ПС способствует поднятию холодных глубинных вод к поверхности Мирового океана. Это приводит к охлаждению тропосферы и перераспределению осадков на материках, вызывая относительное увеличение увлажненности горных территорий. При этом в горах происходит накопление снега и льда, горные ледники переходят в наступление. Когда фаза максимального наступления ледников сменяется равновесным положением их концов, формируются стадильные конечные морены. Фаза отступления ледников следует за снижением импульса ПС, потеплением поверхности океана и всей тропосферы, что сопровождается сокращением снежности и ледовитости горных территорий. Хронологическая схема стадильной деградации вюрмского оледенения приведена в таблице 3.

Теоретически, ритм Петтерссона-Шнитникова имеет среднюю продолжительность около 1850 лет. В горно-ледниковых областях в конце многовековой фазы максимального похолодания, когда наступает равновесие баланса массы ледников и положение их концов стабилизируется, формируются фронтальные стадильные конечные морены. В начальной фазе потепления у концов ледников происходит об-

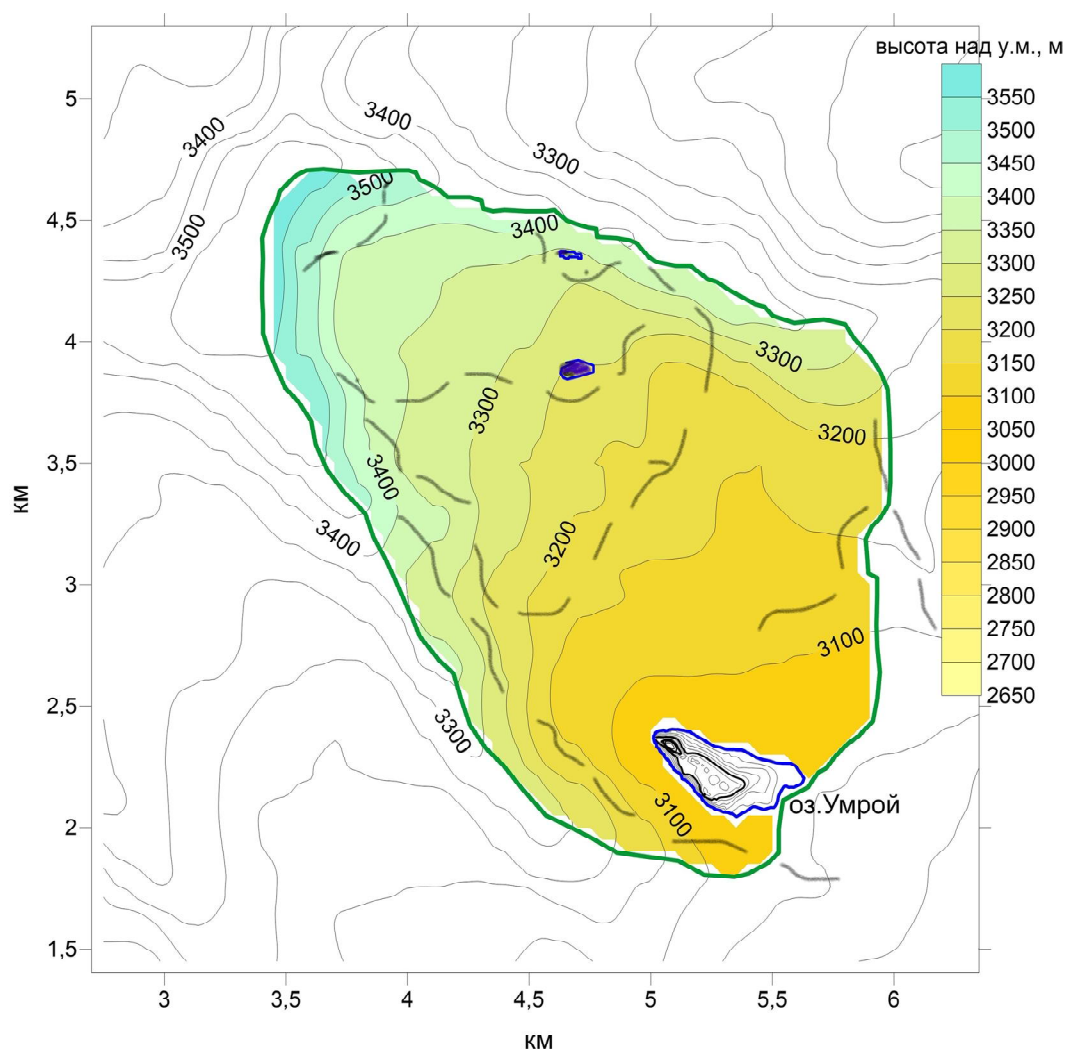


Рис. 3. Карта бассейна оз. Умрой и рубежи распространения стадияльных вюрмских морен (прерывистые линии)

Fig. 3. Map of the Umroi Lake basin and the boundaries of the stadial Wurm moraines (broken lines)

разование стадияльных озер, запруженных этими конечными моренами, от которых отступают концы ледников. Такие озера имеют возраст, близкий к возрасту подпруживающей их конечной морены [Шнитников, 1985; Максимов, 1983; Севастьянов, 1986; Соломина, 1992, 2014; Hormes et al., 2001].

Согласно новым данным, импульс послеледникового значительного потепления фиксируется исследователями, начиная от 12 000–11 700 лет назад, и определяется как начало направленного потепления голоцена, что следует из расчетной модели хода палеотемператур после начала дегляциации до XX в. [Marcott et al., 2015]. В течение этого времени, как показано в ряде исследований, в Альпах горное оледенение прошло через восемь стадий отступления [Kasser, 1981; Hormes et al., 2001], что в определенной мере подтверждает теоретическую схему Петтерссона-Шнитникова для гор Евразии.

Безусловно, приведенная схема на протяжении голоцена усложнялась наложением других климатообразующих факторов (солнечная активность, вулканическая деятельность, региональная тектони-

ка горных стран, внутривековые климатические ритмы и др.), и это отмечалось многими авторами. Следовательно, мы можем фиксировать в рельефе и озерных отложениях лишь результирующие следы некой «интерференции волн цикличности» разной силы и направленности. Поэтому интерпретация палеогеографических условий формирования морен и озер весьма сложна, нередко противоречива и вызывает множество дискуссий [Серебрянный и др., 1984, 1989; Kotlyakov et al., 1991; Hormes et al., 2001; Соломина, 2014 и др.].

Развивая творческую дискуссию о ритмике природных процессов, мы применили рассмотренную схему многовековой динамики увлажнения климата и стадияльности распада горного оледенения в голоцене (см. табл. 3) для интерпретации результатов изучения моренных отложений в бассейне оз. Умрой и донных осадков озера. Следует отметить, что выделенные нами на топографической карте (см. рис. 3) фронтальные зоны морен лежат (сверху вниз) на высотах: первая – 3400–3350 м, вторая – 3300–3200 м, третья – 3200–3120 м, чет-

Таблица 3

Схема распада вюрмского оледенения в горах Евразии [Шнитников, 1985]

№ морен на карте	Название стадийных моренных комплексов по альпийской терминологии	Внешний вид материала морен, высотный ландшафтный пояс	Теоретический возраст стадийных конечных морен л. н. (не калиброван)
1	Фернау (VII стадия) («Малая ледниковая эпоха»)	Незадернованный моренный материал (гольцы)	200–400
2	Эгезен (VI стадия) («Историческая»)	Задернованные морены, травянистый покров альпийского пояса	Около 2 000
3	Даун (V стадия)	Задернованные морены альпийского и субальпийского пояса	3 800–4 000
4	Гшнитц (IV стадия)	Задернованные морены, травяно-кустарниковый покров субальпийского пояса	5 700–6 000
5	Бюль (III стадия)	Задернованные морены лесного пояса	7 600–8 000
6	Аммерзее (II стадия)	Задернованные морены лесного пояса	9 400–10 000
7	Шлирен (I стадия)	Задернованные морены кустарникового и лесного пояса	11 200–11 500
8	Максимум оледенения горных стран	Предгорья	Около 13 000

вертая – 3100–3000 м (2970 м), примерно соответствуя межстадиальной депрессии конца формировавшегося их ледника. Эти стадии предположительно можно соотнести с хронологическими рубежами отступления последнего горного оледенения по схеме А.В. Шнитникова: *Фернау, Эгезен, Даун и Гшнитц* (см. табл. 3).

Радиоуглеродное датирование осадков озера в определенной мере подтверждает наше предположение о вюрмском возрасте и стадийном образовании моренных отложений на склонах массива Арагац в бассейне оз. Умрой. Отмеченная нами четвертая (сверху) конечная морена, лежащая ниже оз. Умрой, представляет собой трудно-расчленимое моренное поле. Предполагалось, что это конечная морена стадии Гшнитц. Однако полученная нами датировка по самому нижнему слою осадков оз. Умрой (около 7000 л. н.) показывает, что возникновение озера было связано с более ранней стадией распада оледенения, возможно стадией Бюль по приведенной нами схеме (см. табл. 3). Дальнейшие подробные палеолимнологические исследования донных отложений оз. Умрой и уточнение геоморфологических данных о расположении конечных морен позволят прояснить наши представления о ритмике природных процессов голоцена в высокогорных условиях на массиве Арагац.

Выводы.

Таким образом, на основании проведенных исследований в бассейне оз. Умрой, расположенном на склоне массива Арагац, можно сделать следующие выводы:

– впервые полученный ряд радиоуглеродных датировок из колонки донных отложений высокогорного озера Умрой, лежащего в межморенной котловине, позволяет установить время его возникновения;

– датировка из базального слоя осадков – 6285±40 л. н. (7156–7313 кал. л. н.) – отражает время начала функционирования озерной экосистемы. Окружающие озеро вмещающие его моренные отложения, вероятно, имеют близкий голоценовый возраст, несколько больший, чем возраст осадков озера;

– использование схемы стадийного отступления последнего горного оледенения [Шнитников, 1957, 1985] для интерпретации полученных нами результатов палеолимнологических исследований дает основание предполагать, что озеро образовалось около 7000 л. н. в период отступления ледника от конечной морены стадии Бюль;

– предварительные палинологические данные подтверждают, что накопление донных осадков озера Умрой также началось в относительно теплое, межстадиальное время отступления древнего ледника;

– формы ледникового рельефа, содержащие несколько генераций стадийных конечных морен и связанных с ними озерных котловин, являются отражением ритмики отступления последнего оледенения на массиве Арагац в соответствии с многовековыми колебаниями климата в голоцене;

– высокогорное озеро Умрой и стадийные морены массива Арагац могут рассматриваться как индикаторы ритмической изменчивости природных процессов, как аккумуляторы информации о колебаниях природной среды прошлого;

– определение возраста озерных осадков в горно-ледниковых районах можно считать наиболее репрезентативным методом косвенного выявления возраста прилегающих конечно-моренных отложений;

– нерешенным остался вопрос определения возраста озер и соответствующих генераций морен, расположенных выше оз. Умрой. Это может стать одним из направлений будущих исследований массива Арагац.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-55-05008 и при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки РА в рамках научного проекта № 18RF-045.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бальян С.П. Структурная геоморфология Армянского нагорья и окаймляющих областей. Ереван: изд-во ЕГУ, 1969. 392 с.
- Бойнагрян В.Р. Геоморфология Армянского нагорья. Ереван: Асогик, 2016. 650 с.
- Бойнагрян В.Р. Озера Армянского нагорья. Ереван: изд-во ЕГУ, 2007. 144 с.
- Бойнагрян В.Р., Сапелко Т.В., Габриелян И.Г., Севастьянов Д.В. Современная изученность истории высокогорных озер Армении // Известия РГО. 2018. Т. 150. Вып. 6. С. 88–102.
- История озер Севан, Иссык-Куль, Балхаш, Зайсан и Арал // История озер СССР. Л.: Наука, 1991. 304 с.
- Личков Б.Л. К характеристике геоморфологии и стратиграфии Алагёза. Ч. 1. Алагёз. Т. 1. Изд. М.: АН СССР и УВХ Арм. ССР, 1931. 62 с.
- Максимов Е.В. Дегляциация массива Арагац в Армении // МГИ. 1970. № 16. С. 184–191.
- Максимов Е.В. Ритмические составляющие в режиме высокогорных озер Средней Азии // Вестн. Ленингр. ун-та. 1983. № 6. С. 52–65.
- Сапелко Т.В., Бойнагрян В.Р., Габриелян И.Г., Науменко М.А., Севастьянов Д.В., Пилюн А.С., Маргарян Л.А. Голоцен Армении по предварительным результатам первых комплексных исследований высокогорных озер // Морфологическая эволюция и стратиграфические проблемы. Материалы LXV сессии Палеонтологического общества при РАН. СПб.: ВСЕГЕИ, 2019. С. 181–183.
- Саядян Ю.В. Новейшая геологическая история Армении. Ереван: изд-во «Гитутюн» НАН РА, 2009. 357 с.
- Севастьянов Д.В. Горные озера Средней Азии – индикаторы изменчивости природных процессов // Озеро Иссык-Куль и тенденции его природного развития. Л.: Наука, 1986. С. 200–219.
- Севастьянов Д.В. О некоторых закономерностях развития высокогорных озер Тянь-Шаня и их палеогеографическом значении // Известия РГО. 1979. Т. 111. № 6. С. 495–500.
- Севастьянов Д.В., Сапелко Т.В., Науменко М.А., Бойнагрян В.Р. Высокогорные озера как индикаторы ритмики природных процессов // География: развитие науки и образования. СПб., 2019. С. 491–497.
- Серебрянный Л.Р., Голодковская Н.А., Орлов А.В., Малясова Е.С., Ильвес Э.О. Колебания ледников и процессы моренонакопления на Центральном Кавказе. М.: Наука, 1984. 216 с.
- Серебрянный Л.Р., Орлов А.В., Соломина О.Н. Морены – источник гляциологической информации. М.: Наука, 1989. 240 с.
- Соломина О.Н. Колебания ледников в голоцене и возможное влияние на них орбитального сигнала, солнечной и вулканической активности и антропогенного воздействия // Лед и Снег. 2014. № 3(127). С. 81–90.
- Соломина О.Н. Стадиальная деградация горных ледников в голоцене // Известия АН СССР. 1992. № 5. С. 13–24.
- Соломина О.Н., Калугин И.А., Александрин М.Ю., Бушueva И.С., Дарин А.В., Долгова Е.А., Жомелли В., Иванов М.Н., Мацковский В.В., Овчинников Д.В., Павлова И.О., Разумовский Л.В., Чепурная А.А. Бурение осадков оз. Каракель (долина р. Теберда) и перспективы реконструкции истории оледенения и климата голоцена на Кавказе // Лед и Снег. 2013. № 2(122). С. 102–111.
- Субетто Д.А., Севастьянов Д.В., Сапелко Т.В., Бойнагрян В.З., Греков И.М. Озера как накопительные информационные системы и индикаторы климата // Астраханский вестник экологического образования. 2017. № 4(42). С. 4–14.
- Тушинский Г.К. Ритмы в динамике оледенения и снежности Кавказа // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1960. № 1. С. 1–36.
- Тушинский Г.К., Турманина В.И. Ритмы гляциальных процессов последнего тысячелетия. М.: изд-во МГУ, 1979. С. 154–160.
- Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость общей увлажненности. Л., 1969. 246 с.
- Шнитников А.В. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария // Зап. Геогр. о-ва СССР. Новая серия. Т. 16. М.-Л., 1957. 337 с.
- Шнитников А.В. Теоретические основы многовековой изменчивости общей увлажненности и состояние озер – современное и вероятное будущее // Проблемы исследования крупных озер. Л.: Наука, 1985. С. 5–22.
- Connor S.E., Kvavadze E.V. Modelling late Quaternary changes in plant distribution, vegetation and climate using pollen data from Georgia, Caucasus. *Journal of Biogeography*, 2008, vol. 36, p. 529–545.
- Haeblerli W., Holzhauser H. Alpin Glaciers Mass Changes During the Past Two Millennia. *Pages News*, 2003, vol. 11, no. 1, p. 13–15.
- Hormes A., Muller B.U. The Alps with little ice: evidence for eight Holocene phases of reduced glacier extent in the Central Swiss Alps. *The Holocene*, 2001, vol. 11, no. 3, p. 255–265.
- Ivy-Ochs S., Kerschner H., Maisch M., Christl M., Kubik P.W., Schluchter C. Latest Pleistocene and Holocene glacier variations in the European Alps. *Quaternary Science Reviews*, 2009, vol. 28, p. 2137–2149.
- Joannin S., Ali A.A., Ollivier V., Roiron P., Peyron O., Chevaux S., Nahapetyan S., Ozalakyanyan P., Karakhanyan A., Chataigner C. Vegetation, fire and climate history of the Lesser Caucasus: a new Holocene record from Zarishat fen (Armenia). *Journal of Quaternary Science*, 2014, vol. 29, p. 70–82.
- Kasser P. Switzerland and her Glaciers. From the Ice Age to the Present. Peter Kasser & Wilfried Haeblerli (Ed.). Swiss NTO Publ. Geographical Publishers, Berne, 1981. 192 p.
- Kotlyakov V.M., Serebryanny L.R., Solomina O.N. Climate change and glacier fluctuations of the last millennium in the south mountains of USSR. *Mountain Research and Development*, 1991, vol. 11, no. 1, p. 1–12.
- Leroyer C., Joannin S., Aoustin D., Ali A., Peyron O., Ollivier V., Tozalakyanyan P., Karakhanyan A., Jude F. Mid Holocene vegetation reconstruction from Vanevan peat (south-eastern shore of Lake Sevan, Armenia). *Quaternary International*, 2016, vol. 395, p. 5–18.

Marcott S.A., Shakun J.D. Holocene climate change and its context for the future. *Past Global Changes Magazine*, 2015, vol. 23, no. 1, p. 28. DOI: 10.22498/pages.23.1.28.

Ollivier V., Joannin S., Roiron P., Nahapetyan S., Chataigner C. Travertinization and Holocene morphogenesis in Armenia: a reading grid of rapid climatic changes impact on the landscape and societies between 9500–4000 cal. BP in the Circumcaspien regions. *European Archaeologist*, 2011, vol. 36, p. 26–31.

Pettersson O. The tidal force. *Geograf. Annal. Arg.* XII, 1930, 21 p.

Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Ramsey C.B., Grootes P.M. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 2013, vol. 55(4), p. 1869–1887.

Sapelko T.V., Boynagryan V.R., Naumenko M.A., Sevastyanov D.V., Gabrielyan I.G., Piloyan A.S., Margaryan L.A., Aleksandrin M.Y., Terekhov A.V. First Multy-Proxy Studies of High-Mountain Lakes in Armenia: Preliminary Results. *Geography, Environment, Sustainability*, 2019, vol. 12, no. 4, p. 272–284. DOI: 10.24057/2071-9388-2019-87.

Serebryanny L.R., Solomina O.N. Glaciers and climate of the mountains of the former USSR during the neoglacal. *Mountain Research and Development*, 1996, vol. 16, no. 2, p. 157–166.

Sevastyanov D., Sapelko T., Subetto D., Boynagryan V.R. Alpine lakes – cumulative information systems and indicators of climate changes Paleolimnology of Northern Eurasia. *Proceeding of the International conference «Paleolimnology of Northern Eurasia», 2–25 Sept.*, Karelian Researcher Centre RAS, Petrozavodsk, 2014, p. 24–26.

Поступила в редакцию 07.08.2019

После доработки 16.04.2020

Принята к публикации 25.08.2020

D.V. Sevastyanov¹, T.V. Sapelko²,
M.A. Naumenko³, V.R. Boynagryan⁴

THE RHYTHM OF NATURAL PROCESSES IN THE AREA OF THE ARAGATS MASSIF (ARMENIA) ACCORDING TO THE UMROI LAKE STUDY DATA

New results of studying the lakes and glacial deposits on slopes of the highest Aragats volcanic massif in Armenia are analyzed. On the basis of geomorphologic and paleolimnological methods the signs of rhythmic formation of post-glacial relief, and stadial development of moraines and high mountain lakes have been revealed. For the first time echolocation of the lake depression and drilling of the Lake Umroi sediments were carried out, and the radiocarbon dating and data on stratigraphy of the lake sediments were obtained. The morphometric characteristics of the lake were specified based on echolocation. The chronology of stage regression of the recent mountain glaciation is discussed. The age of the Umroi Lake formation in the Aragats massif – about 7000 cal. BP – was determined using the radiocarbon (AMS) dating; it corresponds to the period of the glacier retreat from the terminal moraine of the Bühl stage (in Alpine terminology). The article analyzes published materials of preceding glaciomorphological studies in the Lesser Caucasus and the Aragats Massif. The hypothesis of stadial moraine relief formation on the slopes of the Aragats Massif during the Holocene is based on the Pettersson-Shnitnikov theoretical scheme, which was elaborated for Eurasian mountains. The possibilities of determining the relative age of the formation of moraine relief and lakes on the basis of paleolimnological research are shown. Forms of glacial relief include several generations of stadial terminal moraines and associated lacustrine basins, and reflect the cyclic dynamics of the recent glaciation retreat in the Aragats Massif in line with the centuries-long climatic rhythms of the Holocene. The radiocarbon (AMS) dating of lake sediments in mountain lakes combined with pollen and stratigraphic analysis of bottom sediments could be taken as the most representative approach for indirect identification of the age of adjacent moraine deposits and for studying the rhythmic variability of natural processes during the Holocene.

Key words: Armenian Plateau, Aragats Massif, glacial deposits, bottom sediments, AMS-dating, indicators

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-55-05008) and the Committee for Science of the RF Ministry of Education and Science (scientific project no. 18RF-045).

¹ St. Petersburg State University, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: ecolim@mail.ru

² Institute of Limnology RAS, St. Petersburg, Senior Scientific Researcher, PhD. in Geography; e-mail: tsapelko@mail.ru

³ Institute of Limnology RAS, St. Petersburg, Leading Scientific Researcher, D.Sc. In Geography; e-mail: m.naumenko@limno.org.ru

⁴ Yerevan State University, Yerevan, Republic of Armenia, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: vboynagryan@ysu.am

REFERENCES

- Bal'yan S.P. *Strukturnaya geomorfologiya Armyanskogo nagor'ya i okaimlyayushchikh oblastej* [Structural geomorphology of the Armenian Plateau and surrounding territories]. Erevan, ESU Publ., 1969, 392 p. (In Russian)
- Boynagryan V.R. *Ozera Armyanskogo nagor'ya* [Lakes of the Armenian Plateau]. Erevan, ESU Publ., 2007, 144 p. (In Russian)
- Boynagryan V.R. *Geomorfologiya Armyanskogo nagor'ya* [Geomorphology of the Armenian Plateau]. Erevan, Asogik Publ., 2016, 650 p. (In Russian)
- Boynagryan V.R., Sapelko T.V., Gabrielyan I.G., Sevast'yanov D.V. *Sovremennaya izuchennost' istorii vysokogornykh ozer Armenii* [Modern study of the Armenia high-mountain lakes history] *Izvestiya RGO*, 2018, vol. 150, iss. 6, p. 89–103. (In Russian)
- Connor S.E., Kvavadze E.V. Modelling late Quaternary changes in plant distribution, vegetation and climate using pollen data from Georgia, Caucasus. *Journal of Biogeography*, 2008, no. 36, p. 529–545.
- Haeblerli W. & Holzhauser H. Alpin Glaciers Mass Changes During the Past Two Millennia. *Pages News*, 2003, vol. 11, no. 1, p. 13–15.
- Hormes A., Muller B.U. The Alps with little ice: evidence for eight Holocene phases of reduced glacier extent in the Central Swiss Alps. *The Holocene*, 2001, vol. 11, no. 3, p. 255–265.
- Istoriya ozer Sevan, Issyk-Kul', Balkhash, Zaisan i Aral [History of Sevan, Issyk-Kul', Balkhash, Zaisan and Aral lakes]. (Seriya Istoriya ozer SSSR). Leningrad, Nauka Publ., 1991, 304 p. (In Russian)
- Ivy-Ochs S., Kerschner H., Maisch M., Christl M., Kubik P.W., Schluchter C. Latest Pleistocene and Holocene glacier variations in the European Alps. *Quaternary Science Reviews*, 2009, vol. 28, p. 2137–2149.
- Joannin S., Ali A.A., Ollivier V., Roiron P., Peyron O., Chevaux S., Nahapetyan S., Ozalakyanyan P., Karakhanyan A., Chataigner C. Vegetation, fire and climate history of the Lesser Caucasus: a new Holocene record from Zarishat fen (Armenia) *Journal of Quaternary Science*, 2014, vol. 29, p. 70–82.
- Kasser P. *Switzerland and her Glaciers. From the Ice Age to the Present*. Publ. by the Swiss NTO/ Edit. by Peter Kasser & Wilfried Haeblerly. Geographical Publishers, Berne, 1981, 192 p.
- Kotlyakov V.M., Serebryanny L.R., Solomina O.N. Climate change and glacier fluctuations of the last millennium in the south mountains of USSR. *Mountain Research and Development*, 1991, vol. 11, no. 1, p. 1–12.
- Leroyer C., Joannin S., Aoustin D., Ali A., Peyron O., Ollivier V., Tozalakyanyan P., Karakhanyan A., Jude F. Mid Holocene vegetation reconstruction from Vanevan peat (south-eastern shore of Lake Sevan, Armenia). *Quaternary International*, 2016, vol. 395, p. 5–18.
- Lichkov B.L. *K kharakteristike geomorfologii i stratigrafii Alageza*. Ch. 1. Alagez [Description of geomorphology and stratigraphy of the Alagez (Aragats)], vol. 1, AN SSSR i UVKh Arm. SSR Publ., Moscow, 1931, 62 p. (In Russian)
- Maksimov E.V. Deglyatsiatsiya massiva Aragats v Armenii [Deglaciation of the Aragats Massif, Armenia]. *MGI*, 1970, no. 16, p. 184–191. (In Russian)
- Maksimov E.V. Ritmicheskie sostavlyayushchie v rezhime vysokogornykh ozer Srednei Azii [Rhythmic components of the regime of high-mountain lakes of Middle Asia]. *Vestn. Leningr. un-ta*, 1983, no. 6, p. 52–65. (In Russian)
- Marcott A., Shaun & Shacun Jeremy. Holocene climate change and its context for the future. *Past Global Changes Pages Magazine*, 2015, vol. 23, no. 1, 28 p.
- Ollivier V., Joannin S., Roiron P., Nahapetyan S., Chataigner C. Travertinization and Holocene morphogenesis in Armenia: a reading grid of rapid climatic changes impact on the landscape and societies between 9500–4000 cal. BP in the Circumcasian regions. *European Archaeologist*, 2011, vol. 36, p. 26–31.
- Pettersson O. *The tidal force*. Geograf. Annal., Arg. XII, 1930, 21 p.
- Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Ramsey C.B., Grootes P.M., IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 2013, p. 1869–1887.
- Sapelko T.V., Boynagryan V.R., Gabrielyan I.G., Naumenko M.A., Sevast'yanov D.V., Piloyan A.S., Margaryan L.A. [The Holocene in Armenia according to preliminary results of the complex investigations of high-mountain lakes]. *Morfologicheskaya evolyutsiya i stratigraficheskie problemy. Materialy LXV sessii Paleontologicheskogo obshchestva pri RAN* [Morphological evolution and stratigraphical issues. Proceedings of the 65th Session of the RAS Paleontological Society]. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2019, p. 181–183. (In Russian)
- Sapelko T.V., Boynagryan V.R., Naumenko M.A., Sevast'yanov D.V., Gabrielyan I.G., Piloyan A.S., Margaryan L.A., Aleksandrin M.Y., Terekhov A.V. First Multy-Proxy Studies of High-Mountain Lakes in Armenia: Preliminary Results. *Geography, Environment, Sustainability*, 2019, vol. 12, no. 4, p. 272–284. DOI: 10.24057/2071-9388-2019-87.
- Sayadyan Yu.V. *Noveishaya geologicheskaya istoriya Armenii* [Recent geological history of Armenia]. Erevan, Gitutyun Publ. NAN RA, 2009, 357 p. (In Russian)
- Serebryanny L.R., Solomina O.N. Glaciers and climate of the mountains of the former USSR during the neoglacal. *Mountain Research and Development*, 1996, vol. 16, no. 2, p. 157–166.
- Serebryanny L.R., Golodkovskaya N.A., Orlov A.V., Malyasova E.S., Il'ves E.O. *Kolebaniya lednikov i protsessy morenonakopleniya na Tsentral'nom Kavkaze* [Oscillation of glaciers and moraine accumulation processes in the Central Caucasus]. Moscow, Nauka Publ., 1984, 216 p. (In Russian)
- Serebryanny L.R., Orlov A.V., Solomina O.N. *Moreny – istochnik glytsiologicheskoi informatsii* [Moraines as a source of glaciological information]. Moscow, Nauka Publ., 1989, 240 p. (In Russian)
- Sevast'yanov D., Sapelko T., Subetto D., Boynagryan V.R. Alpine lakes – cumulative information systems and indicators of climate changes Paleolimnology of Northern Eurasia, *Proceeding of the International conference «Paleolimnology of Northern Eurasia»*, 21–25 Sept., Karelian Researcher Centre RAS, Petrozavodsk, 2014, p. 24–26.
- Sevast'yanov D.V. [Mountain lakes of Middle Asia as indicators of variability of natural processes] *Ozero Issyk-Kul' i tendentsii ego prirodnogo razvitiya* [The Issyk Kul Lake and the trends of its natural evolution]. Leningrad, Nauka Publ., 1986, p. 200–219. (In Russian)
- Sevast'yanov D.V. O nekotorykh zakonomernostyakh razvitiya vysokogornykh ozer Tyan'-Shanya i ikh paleogeograficheskoy znachenii [Some regularities of the evolution of high-mountain lakes in Tien Shan Mountains and their paleogeographical importance] *Izvestiya RGO*, 1979, vol. 111, no. 6, p. 495–500. (In Russian)
- Sevast'yanov D.V., Sapelko T.V., Naumenko M.A., Boynagryan V.R. [High-mountain lakes as indicators of the rhythms of natural processes] *Geografiya: razvitie nauki i obrazovaniya* [Geography: evolution and science and education]. Sankt-Petersburg, 2019, p. 491–497. (In Russian)
- Shnitnikov A.V. [Theoretical bases of the centuries-long variability of the general moisture conditions and the state of lakes – at present and in the future] *Problemy issledovaniya krupnykh ozer* [Investigation of large lakes]. Leningrad, Nauka Publ., 1985, p. 5–22. (In Russian)
- Shnitnikov A.V. *Izmenchivost' obshchei uvlazhnennosti materikov Severnogo polushariya* [Variability of the general moisture conditions for the continents of the Northern hemisphere]. Zap. Geogr. o-va SSSR. Novaya seriya. T. 16. Moscow-Leningrad, 1957, 337 p. (In Russian)
- Shnitnikov A.V. *Vnutrivenkovaya izmenchivost' obshchei uvlazhnennosti* [Interdecadal variability of the general moisture conditions]. Leningrad, 1969, 246 p. (In Russian)

Solomina O.N. Kolebaniya lednikov v golotsene i vozmozhnoe vliyaniye na nikh orbital'nogo signala, solnechnoi i vulkanicheskoi aktivnosti i antropogennogo vozdeistviya [Holocene glacier variations and their potential orbital, solar, volcanic and anthropogenic forcing] *Led i Sneg*, 2014, vol. 3(127), p. 81–90. (In Russian)

Solomina O.N. Stadial'naya degradatsiya gornyykh lednikov v golotsene [Stadial degradation of mountain glaciers during the Holocene] *Izvestiya AN SSSR*, 1992, vol. 5, p. 13–24. (In Russian)

Solomina O.N., Kalugin I.A., Aleksandrin M.Yu., Bushueva I.S., Darin A.V., Dolgova E.A., Zhomelli V., Ivanov M.N., Matskovskii V.V., Ovchinnikov D.V., Pavlova I.O., Razumovskii L.V., Chepurnaya A.A. Burenie osadkov oz. Karakel' (dolina r. Teberda) i perspektivy rekonstruktsii istorii oledeneniya i klimata golotsena na Kavkaze [Coring of Karakel' Lake sediments (Teberda River valley) and prospects for reconstruction of glaciation and Holocene

climate history in the Caucasus]. *Led i Sneg*, 2013, vol. 2(122), p. 102–111. (In Russian)

Subetto D.A., Sevast'yanov D.V., Sapelko T.V., Boynagryan V.Z., Grekov I.M. Ozero kak nakopitel'nye informatsionnye sistemy i indikatory klimata [Lakes as accumulative information systems and climate indicators] *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*, 2017, no. 4(42), p. 4–14. (In Russian)

Tushinskii G.K. Ritmy v dinamike oledeneniya i snezhnosti Kavkaza [Rhythms of glaciation and snow amount dynamics], *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geogr.*, 1960, no. 1, p. 1–36. (In Russian)

Tushinskii G.K., Turmanina V.I. Ritmy glyatsial'nykh protsessov poslednego tysyacheletiya [Rhythms of glacial processes during the recent millennium]. Moscow, MSU Publ., 1979, p. 154–160. (In Russian)

Received 07.08.2019

Revised 16.04.2020

Accepted 25.08.2020