

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ КАСПИЯ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Янина Т.А.¹, Сорокин В.М.¹, Хошраван Г.²

¹ *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия, e-mail: paleo@inbox.ru, e-mail: vsorok@geol.msu.ru*

² *Caspian Sea National Research and Study Center, Тегеран, Иран, e-mail: h_khoshravan@yahoo.com*

Статья поступила в редакцию 09.01.2019, одобрена к печати 13.12.2019

Эволюция природной среды Каспия в условиях глобальных изменений климата рассмотрена для двух разномасштабных временных периодов: последнего климатического макроцикла (морские изотопные стадии, МИС, 5–2) и голоцена (МИС 1), характеризующимися значительными климатическими изменениями. На климатические события эпохи МИС 5 Каспий отреагировал развитием двух трансгрессивных бассейнов – тепловодного позднехазарского и умеренно тепловодного гирканского. Ледниковой стадии МИС 4 и начальным фазам межстадиального потепления МИС 3 в Каспии отвечала ательская регрессия. Условия второй половины межстадиального потепления отразились развитием первой стадии хвалынской трансгрессии. Трансгрессивный ход уровня был прерван (регрессия) в эпоху максимального похолодания и иссушения ледниковой стадии МИС 2. В эпоху деградации оледенения развитие хвалынской трансгрессии возобновилось. Климатические события позднеледниковья – фазы потепления бёллинг и аллерёд, нашли отклик в развитии трансгрессивной стадии хвалынского бассейна. Фазы значительного похолодания (древний, средний и поздний дриас) отразились регрессивными стадиями в истории хвалынского бассейна. Наиболее значительная из них отвечала позднему дриасу. Развитие мангышлакской регрессии является откликом Каспия на континентализацию климатических условий бореального периода голоцена. В развитии новокаспийской трансгрессии установлены три трансгрессивные стадии, тесно связанные с региональными изменениями климата. Состав моллюсков Каспийского моря представляет собой результат эволюционных процессов в плейстоценовых фаунах, происходивших в условиях климатических изменений и трансгрессивно-регрессивной ритмики бассейна. Новокаспийские (голоценовые) комплексы отражают смену биотических условий бассейна – вселение черноморских видов. Инвазийные виды и виды-акклиматизанты внесли гораздо более существенные изменения в структуру биоразнообразия, чем это вызвано природными факторами. Естественные экосистемы претерпели антропогенную трансформацию, превращая уникальные экосистемы Каспия, сформированные за его плейстоценовую историю, в подобие азово-черноморских.

Ключевые слова: Каспийское море, поздний плейстоцен, голоцен, разрезы, скважины, палеогеографический анализ, колебания уровня, природная среда, климатические изменения, корреляции

Введение

Эволюция природной среды Каспия в палеовремени зависела от комплекса причин: глобальных климатических изменений, ледниково-межледниковой ритми-

ки Русской равнины и горных территорий, перестройки гидрографической сети, неотектонических процессов, объема поступления подземных и поровых вод, осадконакопления в бассейне и других факторов. На разных этапах геологической истории Каспия уровень влияния этих причин был разным. В позднем плейстоцене (морские изотопные стадии, МИС, 5–2) и голоцене (МИС 1) определяющая роль принадлежала изменениям климата. В представленной работе эволюция природной среды Каспия в условиях глобальных и региональных изменений климата рассмотрена для этих двух разномасштабных временных периодов.

Поздний плейстоцен представляет последний климатический макроцикл (от начала последнего межледниковья до современного). Его начало ознаменовано межледниковьем (земским, микулинским), соответствующим, согласно представлениям большинства исследователей, подстадии МИС 5e (130–115 тыс.л.н.) изотопно-кислородной шкалы, отражающей глобальные изменения климата. Подстадиям МИС 5d–5a отвечает раннеледниковье с похолоданиями (МИС 5d и 5b) и интерстадиями (МИС 5c и 5a). Мы считаем этот период переходным от межледниковья к валдайскому (вислинскому) двухстадийному оледенению (МИС 4–2), максимум которого (26–19 тыс.л.н.) отвечал эпохе глобального похолодания МИС 2. Позднеледниковье характеризовалось короткопериодными колебаниями климата: потеплениями бёллинг (14.7–14.0 тыс.л.н.) и аллерёд (13.6–12.9 тыс.л.н.) и сильным похолоданием поздний дриас (12.9–11.7 тыс.л.н.) (Walker et al., 2009; Величко, 2012).

Голоцен, несмотря на свою относительно небольшую продолжительность (~11.5 тыс. лет), также характеризовался значительными изменениями климата. Согласно схеме Блитта-Сернандера, он включает 5 климатических периодов: пребореальный (11.7–10.5), бореальный (10.3–8.8), атлантический (8.8–5.3), суббореальный (5.3–2.6) и субатлантический (с 2.6) тыс. лет назад (Борисова, 2014). Н.А. Хотинским (1977) для территории Северной Евразии выделены 3 термических максимума голоцена: бореальный (9.9–9.2), атлантический (6.8–5.8) и суббореальный (4.7–3.6) тыс. лет назад. Наиболее ярко в Европе проявился атлантический максимум. Заметные периоды похолодания относятся к концу пребореального, к рубежу бореального и атлантического периодов (Хотинский, 1977; Борисова, 2014). Короткопериодное похолодание зафиксировано около 8.2 тыс. лет назад («8.2 kyr event») (Alley et al., 1997; Thomas et al., 2007). В постоптимальном периоде голоцена похолодание и увлажнение климата, часто называемое «неогляциал», зафиксировано в начале суббореального периода (Хотинский, 1977; Wanner et al., 2008). В течение последнего тысячелетия имели место две ярко выраженные климатических фазы: «средневековый климатический оптимум» (950–1250 гг.) и «малый ледниковый период» (1400–1700 гг.) (Mann et al., 2009; Борисова, 2014).

Событийная схема позднего плейстоцена Каспия включает позднехазарскую и хвалынскую трансгрессивные эпохи, разделенные ательской регрессией; голоцена – мангышлакскую регрессивную и новокаспийскую трансгрессивную эпохи. Различные вопросы развития этих бассейнов рассматриваются в многочисленных публикациях (Безродных и др., 2014, 2015, 2017, 2018; Болиховская и др., 2017;

Курбанов и др., 2018; Маев, 2009; Попов, 1983; Рычагов, 1993, 1997; Свиточ, Янина, 1997; Федоров, 1978; Янина, 2012; Янина и др., 2014, 2017; Kroonenberg et al., 2007; Leroy et al., 2013 и др.). Выявление динамики уровня Каспийского моря, состояния его природной среды (солености, температуры, биоразнообразия) в условиях разномасштабных и разнонаправленных изменений климата в позднем плейстоцене и голоцене – основная задача нашей работы.

Результаты исследований

Начало позднего плейстоцена (МИС 5) в Каспии ознаменовалось позднехазарским этапом, в развитии которого установлены две трансгрессивные стадии – позднехазарская и гирканская, разделенные регрессией. Уровень позднехазарского трансгрессивного бассейна не превышал –10 м абс. Малакофауна представлена в основном крассоидными дидакнами с характерными видами *D. nalivekini* и *D. surachanica*. Ее отличительная черта – большие размеры и массивность раковин. Наряду с развитием тепловодного вида *Corbicula fluminalis* в Северном Каспии и высокой карбонатностью осадков это позволяет сделать вывод о теплом климате в позднем хазаре. Соленость бассейна была выше солености современного Каспия и составляла от 10–12‰ в Северном Каспии до 14–15‰ в Южном. По пыльцевым спектрам (Абрамова, 1974) реконструирована теплая климатическая фаза. Бассейн представлял собой изолированное озеро-море, не имеющее связи с Понтом (Азово-Черноморским бассейном).

Существование гирканского трансгрессивного бассейна является остро дискуссионным вопросом палеогеографии Каспия (Попов, 1983; Свиточ, Янина, 1997; Янина и др., 2014; Sorokin et al., 2018). В последние годы на основе анализа керн на морских скважин, пробуренных в Северном Каспии, предложено решение этого спорного вопроса (Янина и др., 2014). Материалы сейсмоакустического профилирования толщи четвертичных отложений Северного Каспия, а также комплексный анализ керн скважин глубиной до 100 м, позволили в сложно построенной толще каспийских отложений установить осадочные комплексы позднехазарского и гирканского трансгрессивных бассейнов, охарактеризованные разным фаунистическим составом. Позднехазарский комплекс включает характерные для него виды (указаны выше); в составе дидакн гирканского комплекса преобладают *Didacna subcatillus*, встречаются *D. cristata*, *D. parallella*, а также редкие позднехазарские виды. Радиоуглеродные датировки раковин показали запредельный для метода возраст > 55 тыс. лет (Sorokin et al., 2018). Датировка гирканских отложений в Манычской депрессии, полученная методом оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ), показала возраст 107 ± 7 тыс. лет назад (Курбанов и др., 2018).

Позднехазарский комплекс осадков характеризует условия мелководного и умеренно глубоководного трансгрессивного бассейна. Развитие в Прикаспии травянистых ассоциаций полупустынного типа и почти полное отсутствие лесных сообществ свидетельствуют об аридном климате эпохи. Гирканские отложения отвечают

трансгрессии с более высоким уровнем. Увеличение в растительном покрове доли древесных пород, а также заметное присутствие наряду с ксерофитами разнотравья, указывают на похолодание и увлажнение климата (Янина и др., 2014). Судя по строению плейстоценовых отложений Маныча, гирканский бассейн образовывал глубокий залив в Манычской долине, куда со стороны Азово-Черноморского бассейна ингрессировала межледниковая карангатская трансгрессия. Похолодание в переходный этап к валдайской ледниковой эпохе «поддержало» трансгрессивное развитие Каспия и сток его вод в регрессирующий карангатский бассейн (Янина, 2014; Курбанов и др., 2018).

В холодных и сухих условиях эпохи максимального развития ранневалдайской стадии оледенения (МИС 4) Каспий регрессировал. Ательская регрессия, согласно материалам сейсмоакустического профилирования, достигала уровня –140 м (Маев, 2009; Безродных и др., 2017). Каспий отступил в среднюю и южную котловины. В Нижнем Поволжье в основании регрессивной толщи многочисленны сингенетичные ей клинья и морозобойные трещины – яркие свидетельства суровых климатических условий времени их отложения. В Северном Каспии ательский регрессивный горизонт выражен палеоврезами. Толща имеет неоднородный литологический состав: чередуясь, в ней залегают суглинки, супеси, глины, содержащие закисное железо в виде гидротроилита, включения и послойные скопления растительного детрита, раковины пресноводных и наземных моллюсков (Безродных и др., 2017). Результаты палинологического анализа свидетельствуют о перигляциальных условиях накопления ательских осадков (Болиховская и др., 2017). Радиоуглеродные даты, полученные по гуминовым кислотам, выделенным из верхней части ательских отложений, заполняющих палеоврезы, показали время завершения регрессии 41,0–44,5 тыс. кал. л.н., в первую половину межстадиального потепления (МИС 3) (Безродных и др., 2017). Близкая датировка ($48,7 \pm 3,1$ тыс.л.н.) получена методом оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) для верхней части ательских осадков в разрезе Средняя Ахтуба в Нижнем Поволжье (Янина и др., 2017).

В скважинах ательские образования перекрыты сложно построенной толщей хвалыньских осадков (Безродных и др., 2015; Yanina et al., 2018). В ее основании залегают слой ракушечно-песчаных отложений до 5 м мощностью. В составе фауны *Didacna subcatillus*, *D. zhukovi*, *D. parallela*. Радиоуглеродные даты лежат в интервале от 27.0 до 32.0 тыс.л.н. (календарный возраст 32.4–36.9 тыс.л.н.). Отложения характеризуют мелководный умеренно тепловодный бассейн, начальную стадию хвалыньской трансгрессии. Над ними залегают 8–10-метровая толща морских глин с прослоями песка разной мощности, свидетельствующая о развитии трансгрессии. Она включает нижнехвалыньские раковины *Didacna protracta*, *D. subcatillus*, *Dreissena rostriformis compressa*, свидетельствующие о ее глубоководной стадии. Эта стадия, отложения которой пока не выявлены на каспийских побережьях, развивалась во второй половине межстадиального потепления (МИС 3).

Глины перекрываются слоем преимущественно песчаных осадков мощностью до 8 м, свидетельствующих о снижении уровня хвалыньского бассейна. Ради-

углеродные датировки лежат в интервале от 22.2 до 19.2 тыс.л.н. Слой указывает на снижение уровня Каспия, отвечающего временному интервалу последнего ледникового максимума. Этот период характеризовался очень холодными и сухими условиями даже в южной части Восточно-Европейской равнины, широким развитием здесь многолетней мерзлоты (Vandenberghe et al., 2014; Величко, 2012), что привело к отрицательному водному балансу Каспия. Палеоклиматическое моделирование показало низкий уровень Каспия в эпоху последнего ледникового максимума (Кислов, Торопов, 2006). В разрезах прибрежной зоны наблюдается перерыв в морском осадконакоплении, отвечающий этой эпохе.

Выше залегает комплекс хвалыньских осадков, строение которого свидетельствует о неустойчивом уровненом режиме бассейна, а радиоуглеродные даты – о его следовании за изменениями климата в условиях деградации ледниковой эпохи (Yanina et al., 2018). Выявлено, что фазам похолодания (древний, средний и поздний дриас) отвечало снижение уровня Каспия. Эти же эпохи характеризовались пониженным стоком с водосборной площади Волги, являющейся основным поставщиком пресных вод в Каспий (Thom, 2010). Напротив, теплым климатическим фазам бёллинг и аллерёд отвечал повышенный сток в Каспий с Восточно-Европейской равнины (Sidorchuk et al., 2009; Thom, 2010; Panin, Matlakhova, 2015), что вызвало трансгрессивный подъем уровня моря. Толща так называемых «шоколадных глин», широко распространенных в разрезах Прикаспия, накапливалась в эстуарной зоне хвалыньской Волги и в депрессиях дохвалыньского рельефа. Ее накопление, очевидно, было вызвано таянием обширных площадей многолетней мерзлоты и обильным поступлением тонкого материала в Северный Каспий. Высокая мутность бассейна подавляла развитие в нем малакофауны в эпоху накопления глин. Многочисленные «абсолютные» датировки толщи шоколадных глин, полученные разными методами (Свиточ, Янина, 1997; Tudryn et al., 2016; Arslanov et al., 2016; Янина и др., 2017; Makshaev, Svitoch, 2016), подтверждают ее образование в эпоху активной деградации как наземного, так и подземного оледенения. Завершился хвалыньский этап развития Каспия в фазу резкого потепления климата, наступившего после позднего дриаса (Yanina et al., 2018).

Мангышлакская регрессия на сейсмоакустических профилях отражена палеодепрессиями, заполненными слабо консолидированными глинами, торфом, сапропелем, алевроитово-песчаными осадками. Анализ мангышлакских отложений, включающий особенности их распространения, состав, включенный растительный детрит, раковины пресноводных и наземных моллюсков, привели к заключению об их накоплении в речных врезках и многочисленных палеопонижениях субширотного направления, преимущественно в пресноводных водоемах (Безродных и др., 2014). Радиоуглеродный возраст осадков, заполняющих палеопонижения, находится в интервале ^{14}C 9.86–6.35 тыс. (~11.40–7.30 тыс. календарных) лет назад (Bezrodnykh, Sorokin, 2016). Положение палеоавандельты на современных глубинах 45–60 м может служить свидетельством снижения уровня Каспия до этих отме-

ток. Мангышлакская регрессия имела место в бореальную эпоху раннего голоцена, характеризовавшуюся сравнительно высокой теплообеспеченностью и сухостью (Mangerud et al., 1973; Хотинский, 1977; Борисова, 2014; Новенко, 2016). Результаты палинологического анализа свидетельствуют о ксерофитизации растительного покрова в Каспийском регионе в эпоху мангышлакской регрессии (Абрамова, 1974; Вронский, 1987; Букреева, Вронский, 1995; Leroy et al., 2013). Среднегодовое количество осадков меньше современных в бассейне Волги (реконструировано Е.Ю. Новенко, 2016). Резкое кратковременное похолодание «8200 event» (Alley et al., 1997) с одновременным усилением аридности (Новенко, 2016), очевидно, вызвало максимальное снижение уровня бассейна в завершающую фазу регрессивной эпохи (Маев, 2009; Безродных и др., 2018).

В развитии голоценовой новокаспийской трансгрессии выражены 3 трансгрессивные стадии. Первая из них, датируемая интервалом 8.20–5.60 тыс. лет назад, развивалась большей частью в эпоху теплого и влажного климата атлантического оптимума голоцена (Хотинский, 1977; Новенко, 2016). Существование продолжительного этапа (8.50–7.60 тыс. л.н.) потепления и увлажнения климата в Нижнем Поволжье реконструировано Болиховской (2011). Ею же позднеатлантический интервал 6.10–5.00 тыс. л.н. охарактеризован как главный климатический оптимум голоцена для этой территории. Вторая стадия, охватывающая временной интервал 3.60–3.40 тыс. л.н, явилась откликом на эпоху позднесуббореального похолодания и высокой увлажненности на Восточно-Европейской равнине (Хотинский, 1977; Болиховская, 2011), флювиальной активности малых и средних рек на территории водосборного бассейна Волги (Panin, Matlakhova, 2015). В развитии третьей стадии, охарактеризованной двумя группами дат 1700–1100 и 700–360 л.н., hiatus между ними дает основание к предположению о снижении уровня Каспия в теплый сухой период средневековья, а вторая группа дат отвечает трансгрессивному подъему Каспия в прохладный и влажный климатический эпизод (малый ледниковый период) (Безродных и др., 2018). Первая регрессивная стадия, имеющая возрастные рамки 5.60–3.70 тыс. л.н., в климатическом отношении отвечающая периоду суббореального термического максимума голоцена для Восточно-Европейской части России (Хотинский, 1977), фазе иссушения в Нижнем Поволжье (Болиховская, 2011), периоду низкой флювиальной активности на территории бассейна Волги (Panin, Matlakhova, 2015). Вторая регрессивная стадия, датируемая периодом 3.08–2.30 тыс. л.н., явилась откликом Каспия на этап потепления и сокращения количества осадков в бассейне Волги (Новенко, 2016).

Трансгрессивные стадии охарактеризованы разными малакофаунистическими сообществами: в раннем новокаспийском бассейне господствовали слабо солонатоводные виды при незначительном участии моллюсков рода *Didacna*; средняя стадия отличалась широким развитием моллюсков рода *Didacna* и появлением *Cerastoderma glaucum*; видовой состав поздней стадии аналогичен современному, на последних этапах ее развития появились черноморские виды *Mytilaster lineatus* (случайно занесен с судами в начале XX века) и *Abra ovata* (акклиматизирован в

середине XX века для питания осетровых). В регрессивные стадии усиливалось влияние пресных вод, следствием чего отмечалось широкое распространение слабо солоноватоводных и пресноводных видов.

Состав моллюсков Каспийского моря представляет собой результат эволюционных процессов в плейстоценовых фаунах, происходивших в условиях климатических изменений и трансгрессивно-регрессивной ритмики бассейна. В позднем плейстоцене – голоцене в истории моря реконструировано развитие позднехазарского, хвалынского и новокаспийского трансгрессивных бассейнов, осложненных, в свою очередь, стадиями, фазами и осцилляциями. Все они были разделены разномасштабными регрессивными эпохами. Каждый водоем был охарактеризован своей неповторимой природной средой. Отмечается закономерность: обширные трансгрессивные бассейны отличались несколько пониженной соленостью в целом для водоемов (с разным ее ходом внутри них), «малые трансгрессии» характеризовались самой высокой среди каспийских трансгрессий соленостью. В температурном отношении в Каспии выделялись «холодные» (обширные) и «теплые» (малые) трансгрессии. Каспийские бассейны в плейстоцене были заселены солоноватоводной фауной немногочисленных родов, из них кардииды (четыре рода) являются каспийскими автохтонами. Малакофаунистический анализ показал, что, несмотря на трансгрессивно-регрессивную ритмику Каспия значительной амплитуды, родовой состав моллюсков оставался неизменным. В основном происходили эволюционные изменения на видовом и подвидовом уровне в составе рода *Didacna* – каждому каспийскому бассейну отвечал уникальный состав дидакн. И лишь в голоценовом новокаспийском бассейне отмечается широкое расселение морского вида *Cerastoderma glaucum*.

Малакофаунистические исследования голоценовых отложений разных районов Каспийского региона показали первое появление этого вида в осадках второй стадии новокаспийской трансгрессии и его постепенное распространение и увеличение численности (Янина и др., 2011; Svitoch et al., 2016; Yanina et al., 2018). Авторы считают проникновение *Cerastoderma glaucum* в Каспий из новочерноморского бассейна Понта обязанным человеку. В современную эпоху в Каспии распространились *Mytilaster lineatus* и *Abra ovata*. Первый занесен в Каспийское море случайно при переброске судов из Азово-Черноморского бассейна в начале XX в., впервые зафиксирован в Каспии в 1928 г. Второй акклиматизирован в Каспии в 1947 г. с целью улучшения кормовой базы осетровых рыб (Абдурахманов и др., 2002). В настоящее время в донных биоценозах Каспия часто доминируют *Abra ovata*, *Mytilaster lineatus*, *Cerastoderma glaucum*, все они имеют средиземноморское происхождение.

Заключение

Трансгрессивно-регрессивные события Каспия в позднем плейстоцене – голоцене тесно связаны с глобальными и региональными изменениями климата. На климатические события первой половины позднего плейстоцена, МИС 5, Каспий от-

реагировал развитием двух (тепловодным и умеренно тепловодным) трансгрессивных бассейнов – позднехазарского и гирканского. По мере приближения к максимуму ледниковой (калининской) стадии MIS 4 в условиях холодного сухого климата гирканский бассейн регрессировал. Стадии MIS 4 и начальным фазам межстадиального потепления MIS 3 в Каспии отвечала ательская регрессия. Условия второй половины межстадиального потепления, приведшие к увеличению приходной составляющей водного баланса Каспия за счет значительного усиления стока с водосборного бассейна, отразились поднятием уровня ательского озера и развитием первой стадии хвалынской трансгрессии. Трансгрессивный ход уровня был прерван (регрессия) в эпоху максимального похолодания и иссушения ледниковой (осташковской) стадии MIS 2. В эпоху деградации оледенения развитие хвалынской трансгрессии возобновилось. Яркие климатические события позднеледниковья – фазы потепления бёллинг и аллерёд, – вызвавшие активное таяние покровного оледенения и широко развитой в Волжском бассейне многолетней мерзлоты, нашли отклик в развитии трансгрессивной стадии хвалынского бассейна. Фазы значительного похолодания – древний, средний и поздний дриас, – характеризовавшиеся уменьшением объема стока с водосборной территории Каспия, отразились регрессивными стадиями в истории хвалынского бассейна. Наиболее значительная из них отвечала эпохе Younger Dryas. Свое завершение хвалынская трансгрессия получила в фазу первого резкого потепления климата, по которому проводится граница плейстоцен/голоцен.

Развитие мангышлакской регрессии является откликом Каспия на континентализацию климатических условий его бореального периода. В развитии новокаспийской трансгрессии установлены три трансгрессивные стадии: первая развивалась в эпоху теплого и влажного климата атлантического оптимума голоцена; вторая явилась откликом на эпоху позднесуббореального похолодания и высокой увлажненности на Восточно-Европейской равнине; в развитии третьей стадии, охарактеризованной двумя группами дат 1700–1100 и 700–360 л. н., hiatus между ними дает основание к предположению о снижении уровня Каспия в теплый сухой период средневековья, а вторая группа дат отвечает трансгрессивному подъему Каспия в «малый ледниковый период». Регрессивные фазы голоцена отвечали суббореальному термическому максимуму голоцена и этапу потепления и сокращения количества осадков в бассейне Волги.

Состав моллюсков Каспийского моря представляет собой результат эволюционных процессов в плейстоценовых фаунах, происходивших в условиях климатических изменений и трансгрессивно-регрессивной ритмики бассейна. Новокаспийские (голоценовые) комплексы, в отличие от плейстоценовых, отражают смену биотических условий бассейна – вселение черноморских видов. Инвазийные виды и виды-акклиматизанты внесли гораздо более существенные изменения в структуру биоразнообразия (уничтожая, вытесняя либо подавляя аборигенные виды), чем это вызвано природными факторами. Естественные экосистемы претерпели антропогенную трансформацию, превращая уникальные экосистемы Каспия, сформированные за его плейстоценовую историю, в подобие азово-черноморских.

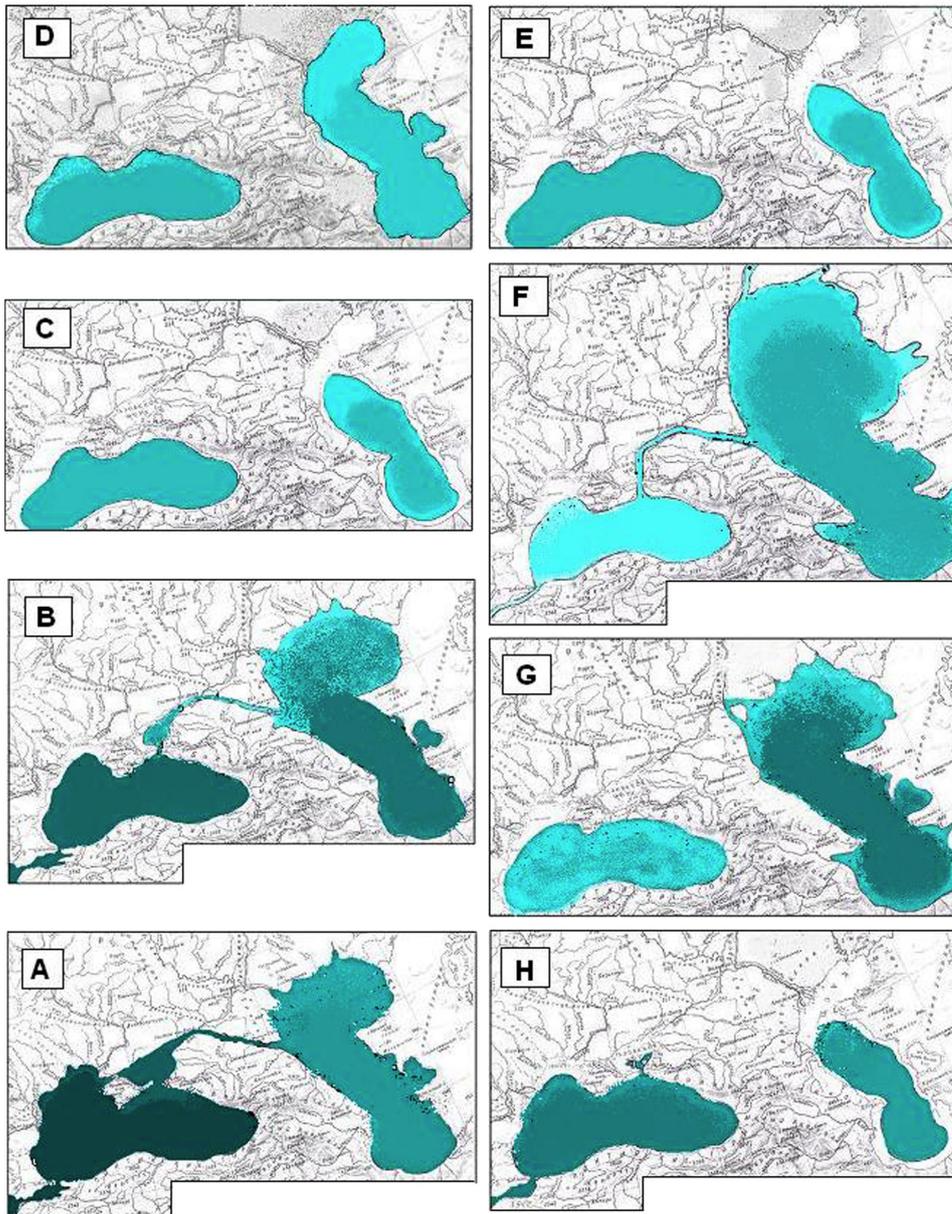


Рис. 1. Бассейны Каспия и их корреляция с бассейнами Понта в условиях изменений климата позднего плейстоцена (Янина, 2014)

А – микулинская межледниковая эпоха: карангатская трансгрессия Понта и позднехазарская трансгрессия Каспия; В – переходный этап к валдайской (калининская стадия) ледниковой эпохе: начало карангатской регрессии Понта и гирканская трансгрессия Каспия; С – калининская стадия ледниковой эпохи (максимум оледенения): посткарангатская регрессия Понта и ательская регрессия Каспия; D – межстадиальное потепление: сурожский бассейн Понта и начало раннехвалынской трансгрессии Каспия; E – поздневалдайская (осташковская) стадия ледниковой эпохи (максимум оледенения): новоэвксинская регрессия Понта и регрессия раннехвалынского бассейна Каспия; F – деградация валдайского оледенения: новоэвксинская трансгрессия Понта и вторая стадия раннехвалынской трансгрессии Каспия; G – деградация оледенения – начало послеледниковья: новоэвксинская трансгрессия Понта и позднехвалынская трансгрессия Каспия; H – начало межледниковой эпохи голоцена: черноморская трансгрессия Понта и мангышлакская регрессия Каспия.

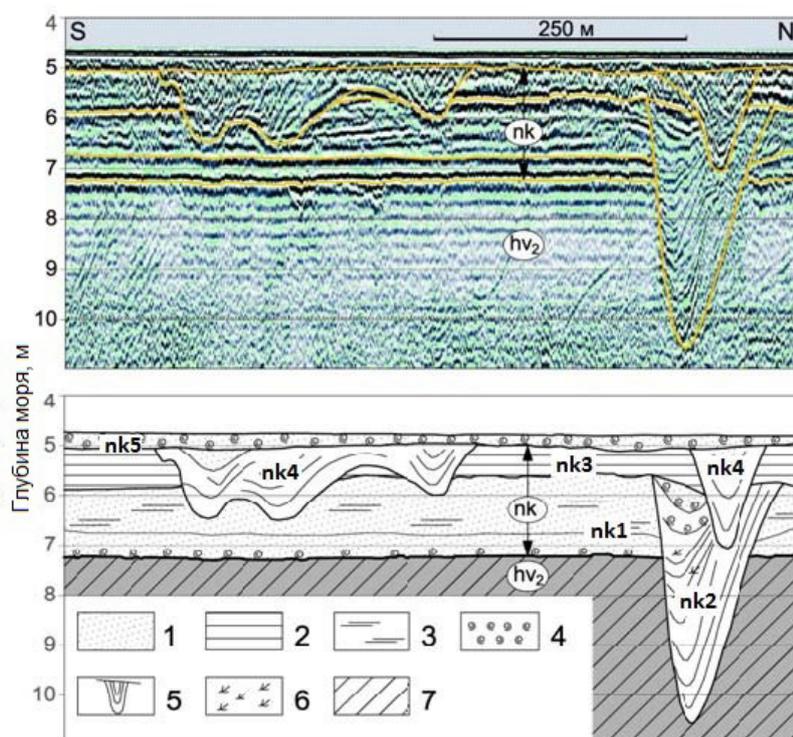


Рис. 2. Трансгрессивно-регрессивные стадии новокаспийского бассейна (голоцен), отраженные на сеймостратиграфическом профиле (Безродных и др., 2018)
 Условные обозначения: 1 – песок, 2 – глина, 3 – супесчаные прослои, 4 – раковинный материал, 5 – слоистость во врезях, 6 – растительные остатки, 7 – хвалынские отложения (поздний плейстоцен).

Представленные результаты основаны на критическом анализе и обобщении опубликованных, фондовых, а также полученных в ходе реализации каспийских проектов (РНФ № 16-17-10103, РФФИ № 18-05-00684) материалов об эволюции природной среды Каспия в позднем плейстоцене и голоцене. Материал о развитии прибрежной зоны Ирана получен при выполнении задач проекта РФФИ № 17-55-560012. Основой для реконструкции событий в Каспии и их корреляции послужила биостратиграфическая схема, выполненная первым автором (Янина, 2012) в результате анализа всех основных местонахождений малакофауны в регионе.

Литература

Абдурахманов Г.М., Картюк М.И., Морозов Б.Н., Пузаченко Ю.Г. Современное состояние и факторы, определяющие биологическое и ландшафтное разнообразие Волжско-Каспийского региона России. М.: Наука, 2002. 415 с.

Абрамова Т.А. Реконструкция палеогеографических условий эпох четвертичных трансгрессий и регрессий Каспийского моря (по данным палеоботанических исследований). Автореф. дис. ... канд. геогр. н. М.: 1974. 24 с.

Безродных Ю.П., Делия С.В., Романюк Б.Ф., Федоров В.И., Сорокин В.М., Лукша В.Л. Мангышлакские отложения (голоцен) Северного Каспия // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2014. Т. 22. № 4. С. 88–108.

Янина Т.А. и др.

- Безродных Ю.П., Делия С.В., Романюк Б.Ф., Сорокин В.М., Янина Т.А.* Новые данные по стратиграфии верхнечетвертичных отложений Северного Каспия // Доклады Академии наук. 2015. Т. 462. № 1. С. 95–99.
- Безродных Ю.П., Делия Б.Ф., Романюк Б.Ф., Сорокин В.М., Янина Т.А.* Первые данные о радиоуглеродном возрасте ательских отложений Северного Каспия // Доклады Академии наук. 2017. Т. 473. № 3. С. 327–330.
- Безродных Ю.П., Янина Т.А., Сорокин В.М., Романюк Б.Ф.* Строение осадочной толщи голоцена Северного Каспия как отражение изменений климата и уровня моря // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2018. № 5. С. 52–60.
- Болеховская Н.С.* Эволюция климата и ландшафтов Нижнего Поволжья в голоцене // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 2. С. 13–27.
- Болеховская Н.С., Янина Т.А., Сорокин В.М.* Природная обстановка ательской эпохи (по данным палинологического анализа) // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2017. № 6. С. 96–101.
- Борисова О.К.* Ландшафтно-климатические изменения в голоцене // Изв. РАН. Сер. геогр. 2014. № 2. С. 5–20.
- Букреева Г.Ф., Вронский В.А.* Палиностратиграфия и палеогеография Каспийского моря в голоцене по данным моделирования палеоклимата // Палинология в России. 1995. Т. 2. С. 12–25.
- Величко А.А.* Эволюционная география: проблемы и решения. М.: ГЕОС, 2012. 563 с.
- Вронский В.А.* Стратиграфия и палеогеография Каспийского моря в голоцене // Известия РАН, серия геолог. 1987. № 2. С. 73–82.
- Кислов А.В., Торопов П.А.* Моделирование изменений уровней Черного и Каспийского морей при различных состояниях климатов прошлого // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2006. № 6. С. 9–13.
- Курбанов Р.Н., Янина Т.А., Мюррей А., Борисова О.К.* Гирканский этап в позднеплейстоценовой истории Маньчжской депрессии // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2018. № 3. С. 77–88.
- Маев Е.Г.* Фазы мангышлакской регрессии Каспийского моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2009. № 1. С. 15–20.
- Новенко Е.Ю.* Изменения растительности и климата центральной и восточной Европы в позднем плейстоцене и голоцене в межледниковые и переходные этапы климатических макроциклов. Автореф. дис. ... докт. геогр. н., 2016. 44 с.
- Попов Г.И.* Плейстоцен Черноморско-Каспийских проливов. М.: Наука, 1983. 216 с.
- Рычагов Г.И.* Уровенный режим Каспийского моря за последние 10 000 лет // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1993. № 2. С. 38–49.
- Рычагов Г.И.* Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во Московского университета, 1997. 267 с.
- Свиточ А.А., Янина Т.А.* Четвертичные отложения побережий Каспийского моря. М.: РАСХН, 1997. 264 с.
- Федоров П.В.* Плейстоцен Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 165 с.
- Хотинский Н.А.* Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 200 с.
- Янина Т.А.* Неоплейстоцен Понто-Каспия: биостратиграфия, палеогеография, корреляция. М.: МГУ, 2012. 264 с.
- Янина Т.А., Свиточ А.А., Весселинг Ф.П.* Биоразнообразие малакофауны Каспийского моря в голоцене // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 2. С. 38–48.
- Янина Т.А., Сорокин В.М., Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф.* Гирканский этап в плейстоценовой истории Каспийского моря // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2014. № 3. С. 3–9.

- Янина Т.А., Свиточ А.А., Курбанов Р.Н., Мюррей А.С., Ткач Н.Т., Сычев Н.В. Опыт датирования плейстоценовых отложений Нижнего Поволжья методом оптически стимулированной люминесценции // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2017. № 1. С. 21–29.
- Alley R.B., Mayevski P.A., Sowers T., Stuiver M., Taylor K.S., Clark P.U. Holocene climatic instability: a prominent, widespread event 8200 yr ago // *Geology*. 1997. No. 25. P. 483–486.
- Arslanov Kh.A., Yanina T.A., Chepalyga A.L., Svitoch A.A., Makshaev R.R., Maksimov F.E., Chernov S.B., Tertychnyi N.I., Starikova A.A. On the age of the Khvalynian deposits of the Caspian Sea coasts according to ^{14}C and $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ methods // *Quaternary International*. 2016. No. 409. P. 81–87.
- Bezrodnykh Yu.P., Sorokin V.M. On the age of the Mangyshlakian deposits of the Northern Caspian Sea // *Quaternary Research*, 2016. No. 85(2). P. 245–254.
- Kroonenberg S.B., Abdurakhmanov G.M., Badyukova E.N., van den Borg K., Kalashnikov A., Kasimov N.S., Rychagov G.I., Svitoch A.A., Vonhof H.B., Wesselingh F.P. Solar-forced 2600 BP and Little Ice Age highstands of the Caspian Sea // *Quaternary International*. 2007. No. 173–174. P. 137–143.
- Leroy S.A.G., Tudryn A., Chalief F., Lopez-Merino L., Gasse F. From the Allerød to the mid-Holocene: palynological evidence from the south basin of the Caspian Sea // *Quaternary Science Reviews*. 2013. No. 78. P. 77–97.
- Makshaev R.R., Svitoch A.A. Chocolate clays of the Northern Caspian Sea region: Distribution, structure, and origin // *Quaternary International*. 2016. No. 409. P. 44–49.
- Mangerud J., Andersen S.T., Berglund B.E., Dorrner J.J. Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification // *Boreas*. 1974. No. 3. P. 109–128.
- Mann M.E., Zhang Z., Rutherford S. et al. Global signatures and dynamical origins of the little ice age and medieval climate anomaly // *Science*. 2013. № 326. P. 1256–1260.
- Panin A., Matlakhova E. Fluvial chronology in the East European plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications // *Catena*. 2015. No. 130. P. 46–61.
- Richards K., Mudie P., Rochon A., Bolikhovskaya N., Hoogendoorn R., Verlinden V. Late Pleistocene to Holocene evolution of the Emba delta, Kazakhstan, and coastline of the northeastern Caspian Sea: Sediment, ostracods, pollen and dinoflagellate cyst records // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2017. No. 468. P. 427–452.
- Sidorchuk A., Panin A., Borisova O. Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period // *Geomorphology*. 2009. No. 113. P. 137–157.
- Sorokin V.M., Yanina T.A., Bezrodnykh Yu.P., Romanyuk B.F. Identification and age of submarine Girkanian sediment beds (Upper Pleistocene) in the Caspian Sea // *Quaternary International*. 2018. No. 465A. P. 152–157.
- Svitoch A.A., Badyukova E.N., Yanina T.A., Sheikhi B. Biostratigraphy of the marine Holocene on the Iranian coasts of the Caspian Sea // *Quaternary International*. 2016. No. 409. P. 8–15.
- Thom N. A hydrological model of the Black and Caspian seas in the late Pleistocene and early-middle Holocene // *Quaternary Science Reviews*. 2010. No. 29. P. 2989–2995.
- Thomas E.R., Wolff E.W., Mulvaney R., Steffensen J.P., Johnsen S.J., Arrowsmith C., White J.W.C., Vaughn B., Popp T. The 8.2 ka event from Greenland ice cores // *Quaternary Science Reviews*. 2007. No. 26. P. 70–81.
- Tudryn A., Leroy S., Toucanne S., Gibert-Brunet E., Tucholka P., Lavrushin Yu., Dufaure O., Miska S., Bayon G. The Ponto-Caspian basin as a final trap for southeastern Scandinavian Ice-Sheet meltwater // *Quaternary Science Reviews*. 2016. No. 148. P. 29–43.

- Vandenberghe J., French H.M., Gorbunov A., Marchenko S., Velichko A., Jin H., Cui Z., Zhang T., Wan X.* The Last Permafrost Maximum (LPM) map of the Northern Hemisphere: permafrost extent and mean annual air temperatures, 25–17 ka BP. // *Boreas*. 2014. No. 43 (3). P. 652–666.
- Walker M., Johnsen S., Walker M., Johnsen S., Rasmussen S.O., Popp T., Steffensen J.P., Gibbard P., Hoek W., Lowe J., Andrews J., Björck S., Cwynar L.C., Hughen K., Kershaw P., Kromer B., Litt T., Lowe D.J., Nakagawa T., Newnham R., Schwander J.* Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records // *Journal of Quaternary Science*. 2009. Vol. 24 (1). P. 3–17.
- Wanner H., Beer J., Butkofer J., Crowley T., Cubasch U., Flückiger J., Goosse H., Grosjean M., Joos F., Kaplan J., Küttel M., Müller S., Prentice I., Solomina O., Stocker T., Tarasov P., Wagner M., Widmann M.* Mid- to Late Holocene climate change: an overview // *Quaternary Science Reviews*. 2007. No. 27. P. 1791–1828.
- Yanina T.A.* The Ponto-Caspian region: environmental consequences of climate change during the Late Pleistocene // *Quaternary International*. 2014. No. 345. P. 88–99.
- Yanina T., Sorokin V., Bezrodnykh Yu., Romanyuk B.* Late Pleistocene climatic events reflected in the Caspian Sea geological history (based on drilling data) // *Quaternary International*. 2018. Vol. 465. No. Part A. P. 130–141.

ENVIRONMENTAL EVOLUTION OF THE CASPIAN SEA IN THE CONDITIONS OF GLOBAL CLIMATE CHANGES

T.A. Yanina¹, V.M. Sorokin¹, H. Khoshnavan²

¹ *Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russia,
e-mail: paleo@inbox.ru, vsorok@geol.msu.ru*

² *Caspian Sea National Research and Study Center, Тегеран, Иран,
email: h_khoshnavan@yahoo.com*

Submitted 31.01.2019, accepted 13.12.2019

Evolution of environment of the Caspian Sea in the conditions of global climate changes is considered for two multi-scale temporary periods: the last climatic macrocycle (marine isotope stages, MIS, 5–2) and the Holocene (MIS 1). Both of them are characterized by considerable climatic changes. The Caspian Sea reacted to climatic events of MIS 5 epoch by the development of two transgressive basins – the warm-water Late Khazarian and moderately warm-water Hyrcanian basins. The Atelian regression was answered to the MIS 4 glacial stage and initial phases of interstadial warming MIS 3. The climatic conditions of the second half of interstadial warming were reflected by development of the first stage of the Khvalynian transgression. The transgressive trend of level was interrupted during an epoch of the maximum cold and dryness of MIS 2 stage. During an epoch of glacial degradation the development of Khvalynian transgression was resumed. Climatic events of late glacial epoch, the warming phases Bölling and Allerød, got a response in development of the transgressive stage of the Khvalynian basin. Phases of a considerable cold snap (Oldest, Older and Younger Dryas) were reflected by regressive stages in the history of the Khvalynian basin. The most considerable of them answered to the Younger Dryas. Development of the Mangyshlakian regression is a response of the Caspian Sea to the continentalization of climate of the Boreal period of the Holocene. In development of the New Caspian transgression, the three transgressive stages are established. They are closely connected with regional climate

changes. The composition of mollusks of the Caspian Sea represents the result of evolutionary processes in the Pleistocene faunas occurring in the conditions of climatic changes and transgressive and regressive rhythmicity of the basin. The New Caspian (Holocene) complexes reflect the change of biotic conditions of the basin – the invasion of the Black Sea species. The invasive species and acclimatizing species made much more essential changes to structure of the biodiversity, than it is caused by natural factors. The natural ecosystems underwent the anthropogenic transformation, turning the unique ecosystems of the Caspian Sea created for its Pleistocene history into similarity of the Azov-Black Sea ecosystems.

Keywords: Caspian Sea, late Pleistocene, Holocene, sections, core, paleogeographic analysis, fluctuations of level, environment, climatic changes, correlations

References

- Abdurakhmanov G.M., Karpyuk M.I., Morozov B.N., and Puzachenko Yu.G.* Sovremennoe sostoyanie i faktory, opredelyayushie biologicheskoe i landshaftnoe raznoobrazie volzhsko-Kaspiyskogo regiona (The current state and factors defining a biological and landscape diversity of the Volga and Caspian region of Russia). Moscow: Nauka, 2002, 415 p.
- Abramova T.A.* Rekonstruktsiya paleogeograficheskikh usloviy epok chetvertichnykh transgressiy i regressiy Kaspiyskogo morya (po dannym paleobotanicheskikh issledovaniy) (Reconstruction of the paleogeographic conditions of epochs Quaternary transgressions and regressions of the Caspian Sea (on data of paleobotanical researches). The PhD thesis. Moscow: 1974, 24 p.
- Bezrodnykh Yu.P., Delia B.F., Romanyuk B.F., Fedorov V.I., Sorokin V.M., and Luksha V.L.* Mangyshlakskie otlozheniya (Golotsen) Severnogo Kaspiya (Mangyshlakian deposits (Holocene) of the Northern Caspian Sea). *Stratigraphiya, Geologicheskaya korrelyatsiya*, 2014, Vol. 22, No. 4, pp. 88–108.
- Bezrodnykh Yu.P., Delia B.F., Romanyuk B.F., Sorokin V.M., and Yanina T.A.* Novye dannye po stratigraphii verkhnechetvertichnykh otlozheniy Severnogo Kaspiya (New data on stratigraphy of the upper Quaternary deposits of the Northern Caspian Sea). *Doklady Akademii Nauk*, 2015, Vol. 462, No. 1, pp. 95–99.
- Bezrodnykh Yu.P., Delia B.F., Romanyuk B.F., Sorokin V.M., and Yanina T.A.* Pervye dannye o radiouglerodnom vozraste atelskikh otlozheniy Severnogo Kaspiya (First data on radiocarbon age of the Atelian deposits of the Northern Caspian Sea). *Doklady Akademii Nauk*, 2017, Vol. 473, No. 3, pp. 327–330.
- Bezrodnykh Yu.P., Yanina T.A., Sorokin V.M., and Romanyuk B.F.* Stroyeniye osadochnoy tolschi golotsena Severnogo Kaspiya kak otrazheniye izmeneniy klimata i urovnya morya (Structure of sedimentary thickness of the Holocene of the Northern Caspian Sea as reflection of climate changes and sea level). *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Series 5: Geografiya*, 2018, No. 5, pp. 52–60.
- Bolikhovskaya N.S.* Evolyutsiya klimata i landshaftov Nizhnego Povolzh'ya v golotsene (Evolution of climate and landscapes of the Lower Volga region during the Holocene). *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Series 5: Geografiya*, 2011, No. 2, pp. 13–27.
- Bolikhovskaya N.S., Yanina T.A., and Sorokin V.M.* Prirodnaya obstanovka atelskoy epohi (po dannym palinologicheskogo analiza) (A natural situation of the Atelian epoch (according to the palynological analysis)). *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Series 5: Geografiya*, 2017, No. 6, pp. 96–101.
- Borisova O.K.* Landshaftno-klimaticheskie izmeneniya v golotsene (Landscape-climatic changes

- during the Holocene). *Izvestiya Akademii Nauk, Seriya Geografiya*, 2014, No. 2, pp. 5–20.
- Bukreeva G.F. and Vronskiy V.A. Palinostratigrafiya i paleogeografiya Kaspiyskogo morya v golotsene po dannym modelirovaniya paleoklimata (Palynostratigraphy and paleogeography of the Caspian Sea in the Holocene according to modeling of a paleoclimate). *The Palynology in Russia*, 1995, Vol. 2, pp. 12–25.
- Velichko A.A. Evolyutsionnaya geografiya: problemy i resheniya (The evolutionary geography: problems and decisions). Moscow: GEOS, 2012, 563 p.
- Vronskiy V.A. Stratigrafiya i paleogeografiya Kaspiyskogo morya v golotsene (Stratigraphy and paleogeography of the caspian Sea during the Holocene). *Izvestia RAN, Ser. Geology*, 1987, No. 2, pp. 73–82.
- Kislov A.V. and Toropov P.A. Modelirovanie izmeneniy urovney Chernogo i Kaspiyskogo morey pri razlichnyh sostoyaniyah klimatov proshlogo (Modeling of changes of levels of the Black and Caspian seas at various conditions of climates of the past. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Series 5: Geografiya*, 2006, No. 6, pp. 9–13.
- Kurbanov R.N., Yanina T.A., Murray A., and Borisova O.K. Girkansky etap v podnepleistotsenovoy istorii Maychskoy depressii (Hyrceanian stage in the late Pleistocene history of the Manych depression). *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Series 5: Geografiya*, 2018, No. 3, pp. 77–88.
- Mayev E.G. Phasy mangyshlakskey regressii Kaspiyskogo morya (Stages of the Mangyshlakian regression of the Caspian Sea). *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Series 5: Geografiya*, 2009, No. 1, pp. 15–20.
- Novenko E.Yu. Izmeneniya rastitelnosti i klimata tsentralnoy i vostochnoy Evropy v pozdnem pleistotsene i golotsene v mezhlednikovye i perehodnye tapy klimaticheskikh makrotsiklov (Changes of vegetation and climate of the Central and Eastern Europe in the late Pleistocene and the Holocene in interglacial and transitional stages of climatic macrocycles). The Dr. Prof. thesis. Moscow, 2016, 44 p.
- Popov G.I. Pleistotsen Chernomorsko-Kaspiyskikh proливov (*Pleistocene of the Black Sea-Caspian passages*). Moscow: Nauka, 1983, 216 p.
- Rychagov G.I. Urovenny rezhim Kaspiyskogo morya za poslednie 10000 let (The level mode of the caspian Sea during the last 10000 years). *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Series 5: Geografiya*, 1993, No. 2, pp. 38–49.
- Rychagov G.I. Pleistotsenovaya istoriya Kaspiyskogo morya (Pleistocene history of the caspian Sea). Moscow: Moscow State University, 1997, 267 P.
- Svitoch A.A. and Yanina T.A. Chetvertichnye otloheniya poberezhnyy Kaspiyskogo morya (Quaternary deposits of the caspian Sea coasts). Moscow: RASKhN, 1997, 264 p.
- Fedorov P.V. Pleistotsen Ponto-Kaspiya (Pleistocene of the Ponto-Caspian). Moscow: Nauka, 1978, 165 p.
- Khotinskiy N.A. Golotsen Severnoy Evrasii (Holocene of the Northern Eurasia). Moscow: Nauka, 1977, 200 p.
- Yanina T.A. Neopleystotsen Ponto-Kaspiya: biostratigrafiya, paleogeografiya, korrelyatsiya (Neopleistocene of the Ponto-Caspian: biostratigraphy, paleogeography, correlation). Moscow, Moscow State University, 2012, 264 p.
- Yanina T.A., Svitoch A.A., and Wesselingh F.P. Bioraznoobrazie malakofauny Kaspiyskogo morya v Golotsene (Biodiversity of the caspian Sea during Holocene). *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Series 5: Geografiya*, 2011, No. 2, pp. 38–48.
- Yanina T.A., Sorokin V.M., Bezrodnykh Yu.P., and Romanyuk B.F. Girkansky etap v pleystotsenovoy istorii Kaspiyskogo morya (Hyrceanian epoch in the Pleistocene history of the Caspian Sea). *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Series 5: Geografiya*, 2014, No. 3, pp. 3–9.

- Yanina T.A., Svitoch A.A., Kurbanov R.N., Murrey A.S., Tkach N.T., and Sychev N.V.* Opyt datirovaniya pleistotsenovykh otlozheniy Nizhnego Povolzhiya metodom opticheski stimulirovannoy lyuminescentsii (Experience of dating of the Pleistocene deposits of the Lower Volga area by method of optically stimulated luminescence). *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Series 5: Geografiya*, 2017, No. 1, pp. 21–29.
- Alley R.B., Mayevski P.A., Sowers T., Stuiver M., Taylor K.S., and Clark P.U.* Holocene climatic instability: a prominent, widespread event 8200 yr ago. *Geology*, 1997, No. 25, p. 483–486.
- Arslanov Kh.A., Yanina T.A., Chepalyga A.L., Svitoch A.A., Makshaev R.R., Maksimov F.E., Chernov S.B., Tertychnyi N.I., and Starikova A.A.* On the age of the Khvalynian deposits of the Caspian Sea coasts according to ^{14}C and $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ methods. *Quaternary International*, 2016, No. 409, pp. 81–87.
- Bezrodnykh Yu.P. and Sorokin V.M.* On the age of the Mangyshlakian deposits of the Northern Caspian Sea. *Quaternary Research*, 2016, No. 85(2), pp. 245–254.
- Kroonenberg S.B., Abdurakhmanov G.M., Badyukova E.N., van den Borg K., Kalashnikov A., Kasimov N.S., Rychagov G.I., Svitoch A.A., Vonhof H.B., and Wesselingh F.P.* Solar-forced 2600 BP and Little Ice Age highstands of the Caspian Sea. *Quaternary International*, 2007, No. 173–174, pp. 137–143.
- Leroy S.A.G., Tudryn A., Chalief F., Lopez-Merino L., and Gasse F.* From the Allerød to the mid-Holocene: palynological evidence from the south basin of the Caspian Sea. *Quaternary Science Reviews*, 2013, No. 78, pp. 77–97.
- Makshaev R.R. and Svitoch A.A.* Chocolate clays of the Northern Caspian Sea region: Distribution, structure, and origin. *Quaternary International*, 2016, No. 409, pp. 44–49.
- Mangerud J., Andersen S.T., Berglund B.E., and Dorrner J.J.* Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. *Boreas*, 1974, No. 3, p. 109–128.
- Mann M.E., Zhang Z., Rutherford S. et al.* Global signatures and dynamical origins of the little ice age and medieval climate anomaly. *Science*, 2013, No. 326, pp. 1256–1260.
- Panin A. and Matlakhova E.* Fluvial chronology in the East European plain over the last 20 ka and its palaeohydrological implications. *Catena*, 2015, No. 130, pp. 46–61.
- Richards K., Mudie P., Rochon A., Bolikhovskaya N., Hoogendoorn R., and Verlinden V.* Late Pleistocene to Holocene evolution of the Emba delta, Kazakhstan, and coastline of the northeastern Caspian Sea: Sediment, ostracods, pollen and dinoflagellate cyst records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2017, No. 468, pp. 427–452.
- Sidorchuk A., Panin A., and Borisova O.* Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period. *Geomorphology*, 2009, No. 113, pp. 137–157.
- Sorokin V.M., Yanina T.A., Bezrodnykh Yu.P., and Romanyuk B.F.* Identification and age of submarine Girkanian sediment beds (Upper Pleistocene) in the Caspian Sea. *Quaternary International*, 2018, No. 465A, pp. 152–157.
- Svitoch A.A., Badyukova E.N., Yanina T.A., and Sheikhi B.* Biostratigraphy of the marine Holocene on the Iranian coasts of the Caspian Sea. *Quaternary International*, 2016, No. 409, p. 8–15.
- Thom N.* A hydrological model of the Black and Caspian seas in the late Pleistocene and early-middle Holocene. *Quaternary Science Reviews*, 2010, No. 29, pp. 2989–2995.
- Thomas E.R., Wolff E.W., Mulvaney R., Steffensen J.P., Johnsen S.J., Arrowsmith C., White J.W.C., Vaughn B., and Popp T.* The 8.2 ka event from Greenland ice cores. *Quaternary Science Reviews*, 2007, No. 26, pp. 70–81.
- Tudryn A., Leroy S., Toucanne S., Gibert-Brunet E., Tucholka P., Lavrushin Yu., Dufaure O., Miska S., and Bayon G.* The Ponto-Caspian basin as a final trap for southeastern Scandinavian Ice-Sheet meltwater. *Quaternary Science Reviews*, 2016, No. 148, pp. 29–43.

- Vandenberghe J., French H.M., Gorbunov A., Marchenko S., Velichko A., Jin H., Cui Z., Zhang T., and Wan X. The Last Permafrost Maximum (LPM) map of the Northern Hemisphere: permafrost extent and mean annual air temperatures, 25–17 ka BP. *Boreas*, 2014, No. 43 (3), pp. 652–666.
- Walker M., Johnsen S., Walker M., Johnsen S., Rasmussen S.O., Popp T., Steffensen J.P., Gibbard P., Hoek W., Lowe J., Andrews J., Björck S., Cwynar L.C., Hughen K., Kershaw P., Kromer B., Litt T., Lowe D.J., Nakagawa T., Newnham R., and Schwander J. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. *Journal of Quaternary Science*, 2009, Vol. 24, No. 1, pp. 3–17.
- Wanner H., Beer J., Butikofer J., Crowley T., Cubasch U., Flückiger J., Goosse H., Grosjean M., Joos F., Kaplan J., Küttel M., Müller S., Prentice I., Solomina O., Stocker T., Tarasov P., Wagner M., and Widmann M. Mid- to Late Holocene climate change: an overview. *Quaternary Science Reviews*, 2007, No. 27, pp. 1791–1828.
- Yanina T.A. The Ponto-Caspian region: environmental consequences of climate change during the Late Pleistocene. *Quaternary International*, 2014, No. 345, pp. 88–99.
- Yanina T., Sorokin V., Bezrodnykh Yu., and Romanyuk B. Late Pleistocene climatic events reflected in the Caspian Sea geological history (based on drilling data). *Quaternary International*, 2018, Vol. 465, Part A, pp. 130–141.