

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ХОЛДИНГ «ПАРАСАТ»
ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ

КАЗАХСТАНСКОЕ НАЦИОНАЛЬНОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

НАЗАРБАЕВ УНИВЕРСИТЕТ

ПРОЕКТ ГЭФ/ПРООН «СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРАТЕГИИ
ПО БОРЬБЕ С ОПУСТЫНИВАНИЕМ В КАЗАХСТАНЕ»

ОПУСТЫНИВАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ: ОЦЕНКА, ПРОГНОЗ, УПРАВЛЕНИЕ

МАТЕРИАЛЫ

1-ой Международной научно-практической конференции

Астана, Казахстан, 25–27 сентября 2014 года

АСТАНА
2014

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
«NATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL HOLDING «PARASAT»
INSTITUTE OF GEOGRAPHY
KAZAKHSTAN NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY
NAZARBAYEV UNIVERSITY
GEF/UNDP «IMPROVING A NATIONAL STRATEGY TO COMBAT
LAND DESERTIFICATION IN KAZAKHSTAN» PROJECT

DESERTIFICATION OF CENTRAL ASIA: ASSESSMENT, FORECAST, MANAGEMENT

MATERIALS

1st international scientific-practical conference

Astana, Kazakhstan, September 25–27, 2014

ASTANA
2014

Т. Н. ДУЙСЕБАЕВА¹, Д. В. МАЛАХОВ², А. В. ЧЕРЕДНИЧЕНКО³

¹Институт зоологии МОН РК, г. Алматы

²АО «Национальный центр космических исследований и технологий», г. Алматы

³НИИ проблем экологии КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы

ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ АРЕАЛА РЕДКОЙ ГОРНОЙ АМФИБИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Впервые для Казахстана приводятся результаты прогноза и ГИС-моделирования возможной динамики ареала редкой амфибии *R. sibiricus* Kessler, 1866 в условиях изменения климата в горах Жетысу) Алатау с перспективой в 30 лет.

Мақалада сирек кездесетін амфибияның *R. sibiricus* Kessler, 1866 Жоңғар (Жетісу) Алатауы тауларының климатының өзгеру жағдайларына байланысты 30 жылда болатын ареал динамикасының алғаш рет Қазақстандағы болжамы мен ГАЖ-үлгілеуінің нәтижелері.

The paper first time for Kazakhstan provides prognosis and GIS-modeling of potential range dynamics of rare amphibian *R. sibiricus* Kessler, 1866 under climate change in Dzungarsky (Zhetisusky) Alatau Mountains with the prospect of thirty years.

Современные условия существования живого на планете можно характеризовать как экстремальные. Естественное и далеко «некомфортное» развитие Земли в плейстоцене с общей направленностью к аридизации, усилению континентальности и учащению колебаний климата было осложнено появлением человека и становлением техногенной цивилизации [1, 2]. Сегодня мало сомнений в том, что рост народонаселения, увеличение объемов изымаемых ресурсов и продуктов отхоов хозяйственной деятельности подведет биосферу Земли к рубежу необратимых изменений очень скоро. При сохранении скорости накопления CO₂ в атмосфере (главной причины экологической дестабилизации планеты) в последующие 22 года его содержание в атмосфере удвоится. Это составит 18 млрд т к 2031 году по сравнению с 9 млрд, накопленными к 2010 году [3]. Активируются климатические механизмы обратной связи с необратимым повышением средней глобальной температуры и коллапсом биосферы. В условиях нарастающих изменений в окружающей среде все более актуальной становится проблема прогноза. Особенно возрастает роль *географического прогноза*, который позволяет моделировать и оценивать будущие пространственно-временные изменения тесно взаимосвязанных компонентов единой ландшафтной оболочки, включая человеческое общество [4].

Животный мир является одним из компонентов ландшафтной оболочки и в силу своего положения на вершине экологической пирамиды наиболее зависим от состояния и взаимодействия остальных компонентов. За всю историю рода человеческого животный мир претерпел серьезные изменения, включая исчезновение многих видов и их сообществ с лица планеты. В последние два столетия масштабы потерь возросли на порядок, а для некоторых групп, например амфибий, стали глобальными, приняв массовый характер [5]. Из наиболее ранимых – фауна горных территорий. Горы в силу сложной расчлененности рельефа отличаются высоким разнообразием микроклиматических условий, а отсюда *мозаичностью, дискретностью и особой спецификой животного мира*. В горах высок уровень эндемизма: даже соседние ущелья или речные бассейны могут быть населены разными формами животных.

В горах Жетысу Алатау обитает семиреченский лягушкозуб, *Ranodon sibiricus* Kessler, 1866 из отряда Хвостатых амфибий. Согласно международной классификации IUCN вид относится к категории «исчезающих» (Endangered B2ab(iii,iv,v): <http://www.iucnredlist.org/>) и включен в Красную книгу Республики Казахстан [6] как «вид с сокращающимся ареалом и численностью». Нигде в мире лягушкозуб больше не встречается. Полагают, что популяции лягушкозуба в Жетысуском Алатау – это реликт неогеновой фауны, распространенной когда-то заметно шире, а ныне сохранившейся лишь на ограниченной территории [7].

В настоящее время основная часть ареала *R. sibiricus* находится на территории Казахстана, в Китае им населена только верхняя часть долины р. Боротала. Лягушкозуб населяет зону среднегорья (с оптимальным диапазоном 1800-2400 м над ур. м.), где живет в прохладных ручьях и речках с чистой, хорошо аэрируемой водой. Для Жетысу Алатау семиреченский лягушкозуб – основа и главный представитель сравнительно бедной фауны водных позвоночных. В ручьях, где

он живет, встречаются 2-3 вида рыб (*Nemacheilus stoliczkai*, *Gymnodiptychus dybowskii*, *Giptychus maculatus*) и одна жаба (*Preudipedalea pewzowi*).

Очевидно, потеря такого важного компонента не пройдет бесследно для регионального биоразнообразия. А риск потери этого животного велик. Стабильность его экологической ниши определяется множеством параметров (включая рельеф и климат) с узким диапазоном изменчивости [8]. Поэтому лягушкозуб встречается в далеко не каждом водотоке Жетысу Алатау. Ареал вида состоит из нескольких изолированных популяций, генетически очень близких, что увеличивает риск потери вида при изменении окружающих условий [9]. Не обладая способностью противостоять естественным врагам (их у этого вида, по счастью, не так много), лягушкозуб оказался совершенно беззащитным перед антропогенными опасностями.

Благополучию семиреченского лягушкозуба угрожают текущее изменение климата и человек, но эти два фактора сильно связаны между собой [10]. Потепление климата в горных районах приводит к таянию ледников и изменению режима стока горных рек, стабильность которых является главным гарантом существования *R. sibiricus* [11]. Отгонное животноводство и прямое изъятие животного из природы лимитируют численность вида напрямую [12, 13]. В последние годы появились сведения о расселении в Жетысу Алатау американской норки (*Neovison vison*) – чужеродном фауне Казахстана виде, который может сыграть не последнюю роль в исчезновении уникальной амфибии.

Мы предприняли попытку определить, насколько серьезным для семиреченского лягушкозуба может стать изменение климата. Целью нашего исследования стали прогноз и построение ГИС-модели возможной динамики ареала *R. sibiricus* в условиях изменения климата в горных районах юго-востока Казахстана в перспективе на 30 лет. Наша работа является первым опытом подобных исследований в Казахстане, поэтому позволим сделать несколько оговорок.

Речь будет идти о *частном случае физико-географического прогноза*, когда рассматриваются пространственно-временные изменения нескольких компонентов ландшафтной оболочки [14]. В нашем случае двух – редкой амфибии как представителя животного мира и климата, на примере его составляющих – температуры и осадков. Конкретные показатели – средние месячные – взяты нами в весьма ограниченном наборе с учетом наиболее ключевых в плане текущих изменений климата. Этого набора явно недостаточно для полноценной оценки климатического тренда. Однако такое ограничение – вынужденный прием, которым приходится пользоваться на начальной стадии прогнозирования, имея в виду и неопределенность климатических прогнозов, и небогатый мировой опыт моделирования климат зависимых изменений в популяциях и сообществах животных в целом.

Прогноз изменения климата – проблема сложная и, по мнению некоторых исследователей [15], вряд ли решаемая. Несмотря на усилия климатологов, до сих пор нет единой точки зрения по вопросу направленности климатических изменений, тем более в условиях техногенной цивилизации, нарушившей естественный ход процесса [3]. Сценариев возможных климатических трансформаций Земли немало, все они неоднозначны и зависят, в числе прочего, от методологического подхода [16]. Задачу прогноза осложняют региональные особенности климата. Климатические изменения в разных районах могут не только отличаться по скорости, но и по знаку [17]. Горные районы в целом плохо описываются как планетарными моделями изменения климата и общей циркуляции атмосферы, так и региональными моделями. Наконец, *реакция разных групп животных* даже на однотипные изменения окружающей среды будет разной, не говоря уже о реакции на разные сценарии.

Таким образом, перед авторами стояла *непростая* задача. Используя в качестве основы построенную нами ГИС-модель современной экологической ниши семиреченского лягушкозуба [8], мы создали прогнозную модель возможных изменений ареала амфибии с учетом рассчитанного тренда климатических изменений. Три десятка лет, выбранных нами, отвечают ситуации, когда прогнозирование климата еще имеет под собой основание. Периоды, более отдаленные, пока не поддаются адекватной экспертной оценке.

Материалы и методы. Полевые исследования. Для создания ГИС-модели экологической ниши *R. sibiricus* использовали полевые данные, ГИС и ДЗЗ. Полевые данные собирались в течение 2009-2013 гг. в бассейнах рек Жетысу Алатау: Балыкты, Кора, Ойсаз, Шымбулак, Текели, Коктал, Кескентерек, Борохузир, Бурхан и частично Малый Усек. Всего было посещено 279 локалитетов, из которых в 147 был найден лягушкозуб. Осмотр водотоков проводился по разработанной нами методике [11]. Факты встреч фиксировались на GPS.

Методы ГИС и ДЗЗ. Основными инструментами для построения моделей настоящего и будущего распространения лягушкозуба стали ГИС и ДЗЗ. ГИС является мощным аналитическим инструментом, работающим с самыми разнообразными входными данными, такими, как наземные наблюдения, карты, спутниковая и аэрофотосъемка, данные дистанционного зондирования и т.п. Сочетание разнообразных источников информации в ГИС позволяет получить качественные и достоверные результаты анализа

R. sibiricus населяет небольшие речки и ручьи, вытекающие из ледников и снежников. Ручьи образуют сеть водотоков, включающую притоки от первого до четвертого порядков. Распределение амфибии внутри нынешнего ареала является мозаичным, а горный рельеф и климатические условия представляют собой серьезные препятствия для планомерного изучения распространения и биологии лягушкозуба. Мозаичность ареала и его ландшафтно-климатические особенности делают применение ГИС оправданным и перспективным в изучении данного вида.

Для разработки модели экологической ниши вида *R. sibiricus* были использованы следующие наборы данных и их производные: SRTM – цифровая модель рельефа, наборы данных BIOCLIM и WORLDCLIM (<http://www.worldclim.org/>), Global Potential Evapo-Transpiration (Global-PET) Climate Database (<http://www.cgiar-csi.org/data/global-aridity-and-pet-database>). Все данные анализировались в программном пакете ESRI ArcGIS 10.1.

Каждый набор данных (более 60 параметров) обрабатывался с учетом сведений о реальных встречах животного в природе, итоговая модель представлена суммой всех промежуточных растров. В итоговой модели значения ячеек растра изменяются от нуля (абсолютно неподходящее сочетание параметров) до 69 (максимальное совпадение благоприятных условий).

Для построения прогнозной модели изменения области обитания амфибии были определены ключевые климатические факторы, определяющие ее распространение. Статистические методы показали, что среди прочих такими являются средние месячные температуры и среднее месячное количество осадков для определенных месяцев. Для этих месяцев были рассчитаны наиболее вероятные изменения значений для периода 30 лет вперед. Результаты расчетов, внесенные в текущую модель, позволили получить прогнозную карту изменения (сокращения) ареала амфибии при условии сохранения рассчитанных климатических трендов.

Методы прогноза климата. Для оценки текущего состояния климата и его прогноза использовали гармонический анализ рядов наблюдений за температурой и осадками в рассматриваемом регионе с использованием аппроксимации полинома шестой степени [18]. При использовании этого метода кривая аппроксимации лучшим образом аппроксимирует все участки ряда за исключением его концов, где отдельные крайние значения в ряду могут существенно сместить кривую аппроксимации. Другим ограничением метода является невозможность экстраполировать полученную кривую вперед на какой-то промежуток времени, т.е. сделать прогноз, ввиду отсутствия теоретической основы. Это заставило нас использовать дополнительно гармонический анализ временных рядов [19].

Как известно, гармоники располагаются так, чтобы выбрать максимальную сумму дисперсии по всей длине ряда. По этой причине они не чувствительны к резким колебаниям величин ряда на его концах, что особенно важно при анализе конца ряда. Кроме того, принято считать, что каждая гармоника является результатом воздействия одного определенного или нескольких постоянных источников на формирование величин временного ряда. Пока нет оснований предполагать, что в будущем (по крайней мере, в ближайшие годы) какой-либо источник воздействия исчезнет или появится новый. Следовательно, гармоники, в первую очередь наиболее значимые по амплитуде, можно экстраполировать на перспективу, т.е. использовать для построения сценариев изменения климата.

Результаты и их обсуждение. *Прогноз изменения климата для гор юго-востока Казахстана.* Предложенным методом гармонического анализа удалось выделить три климатические гармоники со следующими периодами: 53 года и амплитудой 1,0°C; 33 года и амплитудой 0,7°C; 23 года и амплитудой 0,4°C. Чем больше период, тем больше и амплитуда гармоники, хотя для климатических колебаний амплитуды всех трех гармоник значимы. Примечательно, что в начале XX века все три гармоники с суммарной амплитудой более 2°C почти одновременно имели максимум, после чего их амплитуды начали уменьшаться. Следовательно, в ближайшие десять-пятнадцать лет, т.е. в течение половины периода коротких гармоник, температура будет понижаться и в минимуме опустится не менее чем на 1,5°C. Далее, скорость понижения температуры уменьшится

за счет перехода в рост гармоник 23 года, а затем и 33 года. Наблюдавшийся, следовательно, в последние два десятилетия рост температуры будет полностью компенсирован ее падением.

Тренд осадков за весь рассматриваемый период оказался положительным. Осадки увеличивались от минимума в начале XIX века до максимума в начале XX века. Сравнение времени наступления экстремумов осадков со временем наступления экстремумов температуры показывает, что синхронности нет. Наряду с этим имеют место гармоники с периодами 135, 42, 27, 18 и 12 лет с амплитудами 120, 40, 20, 20 и 50 мм. Наиболее значимой оказалась гармоника с периодом 135 лет, в которой содержится до 85% общего изменения осадков за рассматриваемый период. Экстремумы образуются гармоникой 42 года на фоне гармоник 135 лет. Роль других гармоник слабее.

Используя описанные методы, удалось рассчитать изменения температуры и осадков на прогнозируемый период. Полученные результаты представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Значения средних месячных показателей (I–XII: январь-декабрь) температуры и осадков для текущего состояния климата среднегорья Жетысу Алатау

Показатели	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура, °C	-6,4	-5,6	-1,5	5,5	10,0	14,0	16,0	15,5	11,0	4,8	-1,1	-4,2
Осадки, мм	39	35	62	92	114	96	90	45	48	81	75	54

Таблица 2 – Прогнозируемое изменение средних месячных показателей (I–XII – январь-декабрь) температуры и осадков для климата среднегорья Жетысу Алатау через 30 лет

Показатели	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура, °C	0,7	0,5	0	0,4	0,2	0	-0,1	0	0	-0,3	-0,4	-0,2
Осадки, мм	-3	3	5	6	4	7	7	3	-4	-3	-2	-2

Согласно выбранному нами сценарию через три десятка лет ожидаются повышение средней месячной температуры в зимние и весенние месяцы первого полугодия, относительная стабилизация летних температур и понижение температур в последний квартал года. В отношении осадков будет наблюдаться положительный тренд в теплое время года (весна-лето) и, напротив, отрицательный в холодный период (осень-зима) (см. таблицу 2).

Экологическая ниша R. sibiricus и прогноз ее изменения через 30 лет. Температура и влажность – жизненно важные абиотические факторы для любых животных, особенно для земноводных, которые не имеют постоянной температуры тела и физиологически сильно зависят от изменений окружающей среды. Семиреченский лягушкозуб не является исключением. Это подтвердила построенная нами ГИС-модель современной экологической ниши вида (рисунок 1). Для оптимальной экологической ниши оказались значимыми многие температурные показатели, включая минимальные, максимальные и средние месячные температуры воздуха. В отношении средних месячных показателей температуры модель указала на большую значимость III-VIII и X-XII месяцев года, когда происходят такие важные фенологические события в жизни лягушкозуба, как выход из зимовки, размножение и подрост молодняка, уход на зимовку, а также ее начальный период. Температурные параметры влияют на физиологическое состояние амфибии непосредственно, определяя ее активность, а также действуют на стабильность экологической ниши вида опосредованно через связь с другими климатообразующими показателями (в первую очередь, осадками) или влияя на режим таяния ледников.

Практически всесезонную значимость показал режим осадков. Условия оптимума экологической ниши оказались зависимыми от количества осадков в самый сухой, самый теплый и самый холодный кварталы года, а также от количества осадков в наиболее влажный месяц. Количество осадков, выпадающих в самый сухой и теплый сезоны года, определяет стабильность водотока и влияет на состояние растительного покрова побережья. Количество осадков в самый холодный квартал года, прежде всего, обуславливает состояние снежного покрова, регулируя промерзание почвы, а значит обеспечивая благополучие зимовки амфибии.

Согласно построенной нами ГИС-модели наиболее благоприятными условиями для семиреченского лягушкозуба располагают межгорные впадины Жетысу Алатау с долинами рек Чиже, Коксу, Коктал, Кескентерек и Борохудзир. Менее подходящи условия на широте северного Центрального хребта (включая долину р. Кора), в долине р. Малый Усек, а также в западных и южных предгорьях Жетысу Алатау, прилежащих к Балкашской и Илейской котловинам (см. рисунок 1).

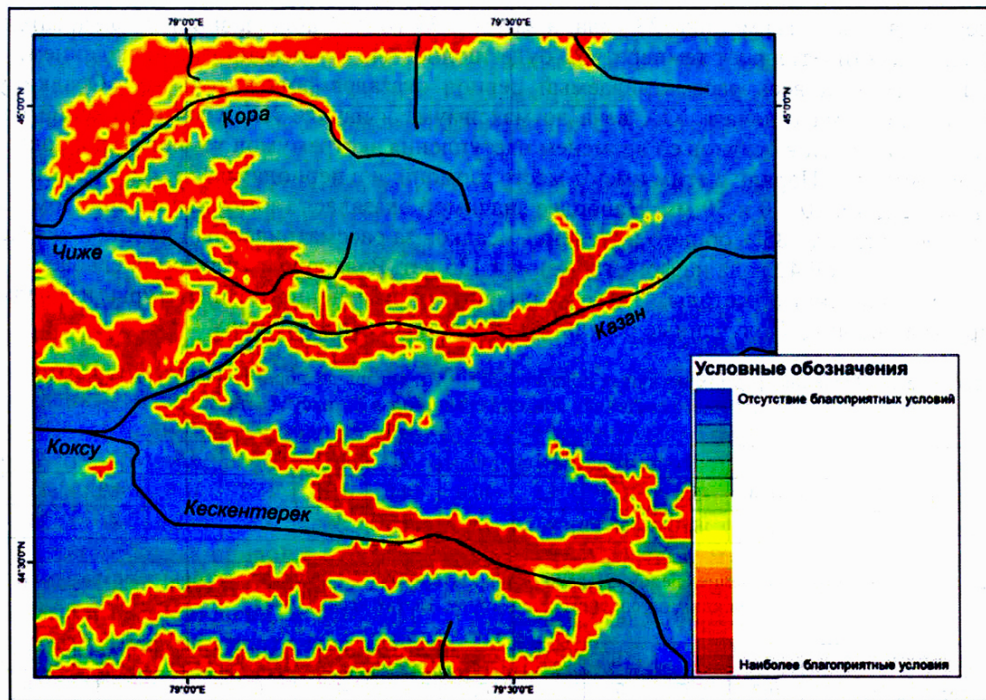


Рисунок 1 – ГИС-модель современной экологической ниши семиреченского лягушкозуба *Ranodon sibiricus* с учетом текущего режима температур и осадков

С учетом сохранения рассчитанных климатических трендов (см. таблицу 2) через несколько десятилетий образец оптимальной экологической ниши вида существенно изменится. Вместе со значительным сокращением общей площади она приобретет высоко дискретный характер (рисунок 2). В силу ряда ограничений, о чем мы писали выше, прогнозная модель не гарантирует 100% достоверности и нуждается в дальнейшем анализе. Однако представить примерный сценарий развития событий можно уже сейчас.

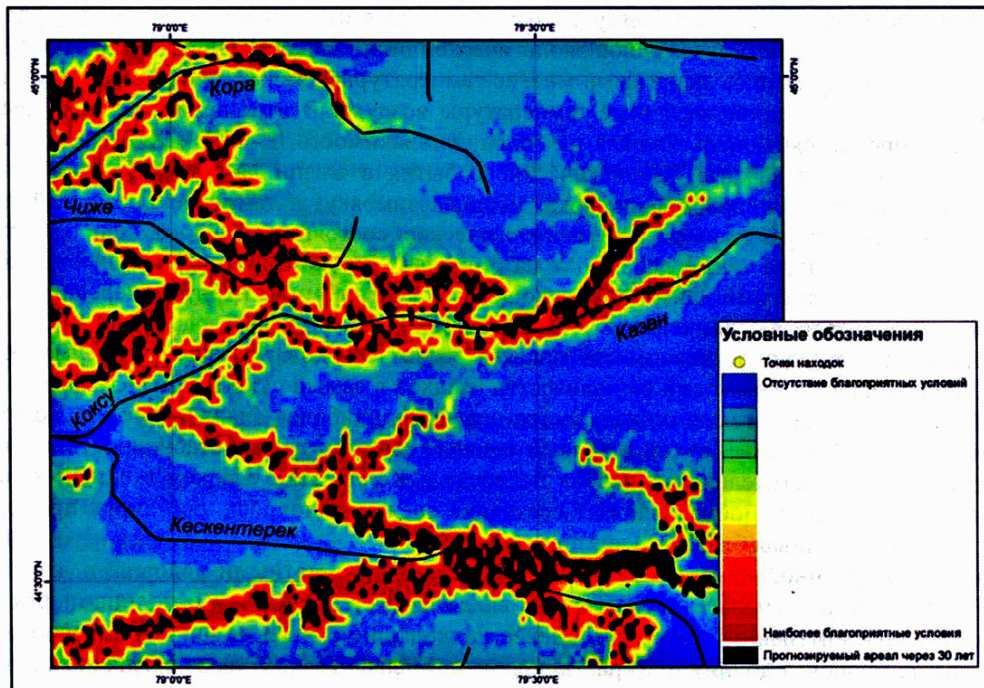


Рисунок 2 – Прогноз изменения экологической ниши семиреченского лягушкозуба *R. sibiricus* через 30 лет с учетом изменения режима температур и осадков

Понижение температуры в холодное время года наряду с сокращением зимних осадков будет приводить к усилению «суровости» зим, в том числе к большему выхолаживанию и промерзанию почвы [20], что имеет прямое отношение к условиям зимовки *R. sibiricus*. Заметное увеличение средних месячных температур и количества атмосферных осадков весной вместе с более глубоким зимним промерзанием почвы будет создавать условия для формирования мощных и продолжительных весенних паводков. Это, в свою очередь, создаст определенные сложности для размножения амфибий, включая нерестовое поведение взрослых, откладку икры и развитие молодняка.

В целом рассчитанные по нашему сценарию климатические тренды на период 30 лет для Жетысу Алатау указывают на возможность усиления континентальности климата и скоростного режима водотоков. Оба процесса неблагоприятны для семиреченского лягушкозуба, который по своему происхождению, как полагают [8, 10], является равнинным животным.

Мы признательны А. Коваленко, О. Белялову, Д. Берману, Ю. Зиме, И. Арифуловой, Г. Дякину, С. Калесникову, О. Окшину, Н. Постникову, Д. Сагурову, У. Досболову, С. Гайдину, Ф. Гайворонскому, Е. Ешелю, Е. Халикову, А. Валееву, Г. Есимбекову, С. Уксукбаевой и А. Беккулиевой за оказанное содействие в проведении экспедиционных работ и помощь в поисках амфибии и С. Тимирханову за критические замечания в ходе подготовки рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Величко А.А. Природный процесс в плейстоцене. – М.: Наука, 1973. – 256 с.
- 2 Зубаков В.А., Борзенкова И.И. Палеоклиматы позднего кайнозоя. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – 216 с.
- 3 Jennings M. Climate Disruption: are we beyond the worst case scenario? // Global Policy. – 2013. – Vol. 4 (1). – P. 32-42.
- 4 Марков К.К. География и палеогеография // Географические исследования четвертичного периода. – М.: Изд-во Московского ун-та. 1982. – С. 7-11.
- 5 Кузьмин С.Л. Проблема глобального сокращения численности земноводных // Вопросы герпетологии. – М., 2001. – С. 142-145.
- 6 Красная книга Республики Казахстан. Т. I. Животные. Ч. I. Позвоночные. Изд. 4-е, переработанное и дополненное. – Алматы, 2010. – 324 с.
- 7 Averianov, O.A., Tjutkova L.A. *Ranodon cf. sibiricus* (Amphibia, Caudata) from the Upper Pliocene of Southern Kazakhstan: the first fossil record of the family Hynobiidae // Palaont. Z. – 1995. – Vol. 69 (1/2). – P. 257-264.
- 8 Dujsebayeva T.N., Malakhov D.V. The model of *Ranodon sibiricus* (Amphibia: Hynobiidae) habitat suitability: GIS and remotely sensed data // International Symposium on Biological Resources Protection and Management in Central Asia, 26th-29th September 2014. – Urumqu, China (in press).
- 9 Chen S-Y, Zhang Y-J, Wang X-L, Sun J-Y, Xue Y, Peng Zhang, Hui Zhon, Liang-Hu Qu. Extremely Low Genetic Diversity Indicating the Endangered Status of *Ranodon sibiricus* (Amphibia: Caudata) and Implications for Phylogeography. *PLoS ONE*, 2012. 7(3): e33378. doi:10.1371/journal.pone.0033378.
- 10 Kuzmin, S.L., Kubykin, R.A., Thiesmeier, B., Greven H. The distribution of the Semirechensk Salamander (*Ranodon sibiricus*): a historical perspective // Advances in Amphibian Research in the Former Soviet Union. – 1998. – Vol. 3. – P. 1-20.
- 11 Дуйсебаева Т.Н. Мониторинг популяций *Ranodon sibiricus* Kessler, 1866 (Amphibia: Caudata: Hynobiidae) в южной части ареала // Труды Зоологического института РАН – 2013. – Т. 317, № 2. – С. 151–175.
- 12 Брушко З.К., Дуйсебаева Т.Н. Семиреченский лягушкозуб (*Ranodon sibiricus*) // Selevinia. – 2009. – С. 24-34.
- 13 Dolmen, D., Arnekleiv J.V., Kubykin R.A. Habitat and abundance of the Semirechensk Salamandra (*Ranodon sibiricus*) at a site in the Borokhudjir River Valley, Kazakhstan // Advances in Amphibian Research in the Former Soviet Union. – 1997. – Vol. 2. – P. 45-70.
- 14 Жучкова В.К., Раковская Э.М. Методы комплексных физико-географических исследований. – М.: Академия, 2004. – 368 с.
- 15 Вилесов Е.Н., Уваров В.Н. Эволюция современного оледенения Заилийского Алатау в XX веке. – Алматы: Казак университета, 2001. – 252 с.
- 16 Sneyers, R. Climate chaotic instability: statistical determination and theoretical background // Environmetrics. – 1997. – Vol. 8. – P. 517-532.
- 17 Чередниченко А.В. Изменение климата Казахстана как отклик на его глобальные изменения // Гидрометеорология и экология. – 2009. – № 4. – С. 7-22.
- 18 Чередниченко А.В., Чередниченко В.С. Временные ряды температуры и осадков: Статистический анализ. – Алматы, 2013. – 365 с.
- 19 Sneyers, R. On statistical analysis of series of observations // WMO Technical note N 143, WMO N 415. – Geneva, 1990. – 192 p.
- 20 Горбунов А.П. Мерзлотные явления Тянь-Шаня. – М.: Гидрометеоздат, 1970. – Вып. 39. – 265 с.