

3-3-2020

MODELING THE DYNAMICS OF TRANSFORMATION OF THE ECOSYSTEM OF THE SOUTHERN ARAL AND ITS INFLUENCE ON THE ENVIRONMENT

S. M. Mambetullaeva

Karakalpak State University, arzigul-kidirbaeva@rambler.ru

B. S. Tleumuratova

Karakalpak State University, arzigul-kidirbaeva@rambler.ru

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/karsu>



Part of the [Biology Commons](#)

Recommended Citation

Mambetullaeva, S. M. and Tleumuratova, B. S. (2020) "MODELING THE DYNAMICS OF TRANSFORMATION OF THE ECOSYSTEM OF THE SOUTHERN ARAL AND ITS INFLUENCE ON THE ENVIRONMENT," *Karakalpak Scientific Journal*: Vol. 3 : Iss. 1 , Article 13.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/karsu/vol3/iss1/13>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Karakalpak Scientific Journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

MODELING THE DYNAMICS OF TRANSFORMATION OF THE ECOSYSTEM OF THE SOUTHERN ARAL AND ITS INFLUENCE ON THE ENVIRONMENT

¹Mambetullaeva S.M., ²Tleumuratova B.S.

¹Karakalpak State University

²Karakalpak Research Institute of Natural Sciences, Karakalpak branch of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan

ABSTRACT

In this article results of research of impact of transformations of an ecosystem occurring in Aral Region on salinization of soils and change of local climatic characteristics are stated. Noticeable influences on local climatic descriptions in Southern Aral Region render also sharp reduction sea aquariums and degradation of vegetable cover. The structure of the model complex developed by authors – macro model is given. Analysis and comparison of results of numeral realization of macro model on the whole and sub models with pictures, allow drawing conclusion data of supervisions and model calculations of other authors about adequacy of the worked out models and accordance of the obtained calculation data to reality.

Keywords: Aral, transformation, ecosystem, salinization of soils, macromodel, model calculations, climatic descriptions, complex analysis, environment.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОСИСТЕМЫ ЮЖНОГО ПРИАРАЛЬЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

¹Мамбетуллаева С.М., ²Тлеумуратова Б.С.

¹*Каракалпакский государственный университет*

²*Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук
Каракалпакского отделения Академии наук Республики Узбекистан*

Аннотация. В данной статье излагаются результаты исследования воздействия происходящих в Приаралье трансформаций экосистемы на засоление почв и изменения локальных климатических характеристик. Заметное влияние на локальные климатические характеристики в южном Приаралье оказывают также резкое сокращение акватории моря и деградация растительного покрова. Приводится структура разработанного авторами модельного комплекса – макромоделей. Анализ и сопоставление результатов численной реализации макромоделей в целом и подмоделей со снимками, данными наблюдений и модельных расчетов других авторов, позволяют сделать вывод об адекватности разработанных моделей и соответствии полученных расчетных данных реальности.

Ключевые слова: Приаралье, трансформация, экосистема, засоление почв, макромоделей, модельные расчеты, климатические характеристики, комплексный анализ, окружающая среда.

Трансформации экосистемы Приаралья, происходящие вследствие резкой смены водного режима, многочисленны и разнообразны. В условиях развития процессов антропогенного опустынивания происходит вынос солей с осушенного дна Аральского моря, наблюдается деградация растительного покрова, возрастает интенсивность процессов соленакопления в почве. На осушенном дне формируются новые, неглубокие горизонты грунтовых вод, с высоким капиллярным подъемом влаги и минерализацией от 20 до 100 г/л. По истечении второго года осушения дна Аральского моря прибрежные территории превращаются в пухлые солончаки, увеличивается сухость и сыпучесть грунта. Происходящий при этом вынос солей на прилегающие орошаемые земли вызывает существенное снижение урожайности сельскохозяйственных культур [6].

Стратегия преобразования [17] среды обитания с целью удовлетворения человеком своих непрерывно возрастающих потребностей, изменение отдельных элементов окружающей природной среды без учета системной организации взаимосвязи природы и общества привели в целом к изменениям ряда определенных параметров природной среды, в совокупности понижающих её качество и ставящих под угрозу возможность устойчивого развития [6]. Загрязнение окружающей среды - сложная и

многоаспектная проблема. В условиях усыхания Аральского моря эта проблема усугубляется выносом ядовитых солей (сульфаты и хлориды) с обсохшего дна (рис.1). Фактор пыле-солепереноса (70 млн.т/год) стал доминирующим в ухудшении качества атмосферного воздуха. Моделирование переноса солей с постаквальной суши Аральского моря показало многократное превышение ПДК во время солепылевых бурь [4].



Рис.1 Ветровой вынос солей 15 марта 2002 г., синтезированное (1-3-ий каналы) изображение со спутника NOAA.

Воздействие солевого аэрозоля с постаквальной суши на экологическую обстановку в южном Приаралье не ограничивается засолением почв и деградацией растительности. Как известно, увеличение концентрации аэрозоля в воздухе влияет на кинетику и динамику атмосферных процессов. Результаты аэрозольно-радиационных измерений [1], выполненных в Приаралье в 1979-1982 гг. над морем и осушенной территорией во время солепесчаных выносов, показали значительные изменения в распределении составляющих радиационного и гидрологического баланса системы «подстилающая поверхность – атмосфера».

Данные наблюдений показывают, что облачные ядра конденсации состоят, как правило, из сульфатов, которые являются преобладающей фракцией в минеральных компонентах аэрозоля, выносимого ветром с осушенного дна Аральского моря. Связь между увеличением загрязненности атмосферы, а значит и ядер конденсации, и усилением облако- и осадкообразования установлена многочисленными исследованиями аэрозольных климатических эффектов, как натурными, так и модельными [3]. Следовательно, можно говорить о климатообразующей роли солевого аэрозоля с постаквальной суши Аральского моря. Заметное влияние на локальные климатические характеристики в южном Приаралье оказывают также резкое сокращение акватории моря и деградация растительного

покрова. Кроме того, утрата Аральским морем в связи с его усыханием роли основного солеприемника привела к прогрессирующей минерализации грунтовых вод в регионе, способствуя тем самым засолению почв. Наряду с этим деградация растительного покрова приводит к ослаблению рассоляющего эффекта растений.

Итак, имеется система трансформирующихся факторов, так или иначе влияющих на почвенно-климатические условия южного Приаралья. Заметим, что следует разграничить понятия «влияние Арала» и «влияние усыхания Арала», т.к. в первом случае фактором является географический объект, а во втором случае – процесс трансформации экосистемы, который, как и любой экологический процесс, представляет собой систему взаимосвязанных процессов. Аналогично различаются влияние солевого аэрозоля и влияние трансформации постаквальной суши как генератора выноса солей, а также влияние растительности и влияние деградации растительного покрова. Таким образом, исследование воздействия усыхания Аральского моря на окружающую среду предполагает изучение системы факторов-процессов с совокупностью их взаимосвязей. С этой точки зрения на проблему последствий Аральского кризиса мы имеем новую системную постановку задачи количественной оценки изменений почвенно-климатических условий Приаралья, обусловленных трансформациями экосистемы. Оценка степени этого воздействия, изучение динамики происходящих изменений и зависимости результатов воздействия от степени трансформации факторов является, безусловно, интересной как в научном, так и в практическом плане научной задачей. Решение такой задачи возможно лишь при наличии обширного фактического материала и многолетних данных наблюдений, поэтому исследование этой проблемы стало реально лишь теперь, когда сформировался солидный полувекковой базис эмпирических знаний. С другой стороны, усугубление в настоящее время экологических проблем Приаралья региона, связанных с засолением почв и изменениями температурного и влажностного режимов настоятельно требует системного изучения этих процессов. Учитывая преобладание аграрного сектора в экономике Республики Каракалпакстан, надо признать, что исследования подобного рода являются весьма актуальными.

Изучению отдельных аспектов экологических изменений в Приаралье и их влияния на состояние окружающей среды посвящено множество научных работ. Начиная с середины семидесятых годов, вопросы аридизации и засоления Приаралья стали предметом обстоятельного изучения ученых таких научных организаций, как НИГМИ Узгидромета, КазНИГМИ, Институт географии РАН, Каракалпакского отделения АН РУз и многих других.

Огромный фактический материал, накопленный учеными за сорок лет существования Аральского кризиса, позволяет отнести проблему засоления почв Приаралья к классу хорошо структурированных. Полученные данные позволили выявить, что на территории южного Приаралья площадь солончаков примерно в 3,5 – 4 раза больше, чем на территории Казахстана

[10]. Процентное содержание солончаков в составе осушки неуклонно растет (от 3% в 1963 г. до 12% в 1990 г.). Таким образом, определение количества солей, накапливаемых на постакавальной суше, и выноса их на прилегающие территории остается одной из наиболее актуальных и сложных проблем в геоэкологии современного Арала.

Исследования климатических изменений в южном Приаралье не столь многочисленны и разнообразны, как исследования по засолению, и носят преимущественно качественный характер. Прежде всего, надо отметить большой вклад ученых НИГМИ Узгидромета [4], [5], [11], [12] и др., в работах которых содержится не только ретроспективный анализ изменений климата в Приаралье, но и даны прогнозные оценки с помощью глобальных моделей, учитывающих воздействие сульфатного аэрозоля.

В исследованиях климатических изменений в южном Приаралье, выполненных за рубежом (напр. [2]), как фактор рассматривается в основном усыхание Арала, лишь несколько работ касаются аэрозольного эффекта, а влияние трансформации растительности вообще не оценено. Хотя, надо сказать, имеется множество работ (например, [3], [14], [15], [16]) с анализом этих факторов изменения климата, выполненных для других регионов или в глобальных масштабах.

В целом по исследованиям Аральской проблемы можно сказать, что «взрыв» научных изысканий, наблюдавшийся в 70-80-х прошлого столетия, к сожалению, постепенно идет на убыль, и это касается, прежде всего, экспедиционных, натурных исследований.

Из имеющихся к настоящему времени исследований следует, что хотя в целом проблема трансформаций геоэкосистемы Арала и Приаралья и их влияния на окружающую среду изучена разносторонне, в каждом из исследований рассматриваются лишь отдельные аспекты проблемы. Ничуть не умаляя значимости перечисленных выше работ, в результате которых накоплен огромный научный материал, надо признать, что лишь системное исследование влияния происходящих трансформаций с их взаимосвязанной динамикой позволяет проявиться такому важному свойству системы как эмерджентность [13]. Приведем элементарный пример. Исследования одного фактора климатических изменений могут показать повышение летних температур на 2 градуса, а независимые исследования другого фактора – уменьшение на 2 градуса. Результатом исследований и в том и в другом случае являются существенные изменения климата. Совместное исследование этих факторов, как системы приведет к нулевому результату, т.е. к обоснованному выводу, что не происходит никаких изменений в климате. Налицо новое свойство факторов, проявившееся при их системном изучении. Очевидно, что результаты системного исследования ближе к реальности и дают более полное представление о происходящих изменениях.

Таким образом, изучение экологических трансформаций в Приаралье, как системы факторов изменения окружающей среды представляется весьма актуальным. Поскольку природный потенциал во многом определяется состоянием почв и климата, для такого аграрного региона как южное

Приаралье количественная оценка и прогнозирование изменения климата и состояния почв представляют крайне важную и необходимую информацию. В связи с этим мы задались целью изучить методами математического моделирования взаимосвязь динамики экосистемы Приаралья и таких процессов как засоление почв и изменения локальных климатических характеристик. Не претендуя на исследование всего множества факторов, вызывающих эти процессы, мы ограничились наиболее важными, на наш взгляд. Это усыхание Аральского моря, ветровой вынос солей с постаквальной суши, деградация растительного покрова. Таким образом, мы имеем систему трех взаимосвязанных факторов-процессов, влияющих на климат и засоление почв.

Цели данного исследования безальтернативно соответствует математическое моделирование, являющееся мощным и незаменимым инструментом экологических исследований.

В ходе построения системы моделей, соответствующей цели исследования мы пришли к выводу, что большой объем данных, как входных, так и промежуточных требует организации специальной базы данных с архитектурой, адаптированной к структуре экологической модели [9]. Это значительно облегчает процедуру интенсивного обмена информацией между подмоделями в ходе реализации модели. Кроме того, обилие таких операций, как адаптация данных одной подмодели к данным других подмоделей, графический вывод, интеграция и статистическая обработка результатов требует построения специальных модулей, обычно включаемых в программы каждой подмодели. Выделение указанных функций и базы данных в отдельную, общую для всех подмоделей структуру – информационно-статистический блок – обеспечивает лучшую согласованность и форматное единство модели в целом. Далее, при реализации сложной модели, как совокупности отдельных программ, неизбежна работа в интерактивном режиме, заключающаяся в управлении последовательностью выполнения этих программ и вводе данных при вариантных расчетах. Автоматизация управления ходом реализации модели путем построения специального управляющего блока и включения наборов данных для вариантных расчетов в базу данных значительно повышает эффективность вычислительного процесса и максимально исключает человеческий фактор. Таким образом, мы пришли к идее экологической макромоделю, согласно которой модель из простой совокупности подмоделей преобразуется в систему с инфраструктурой, состоящей из информационно-статистического (ИСБ) и управляющего блоков (УБ). В результате подмодели оказываются связанными не только логически, но и технологически, т.е. системные связи получают свое четкое выражение и воплощение в инфраструктуре.

Таким образом, мы модифицировали традиционную технологию моделирования сложных процессов путем построения модельного комплекса, названного нами макромоделью, чтобы отличать от обычных систем моделей. Разработанная нами макромодель представляет собой

иерархическую систему, элементами которой являются информационно-статистический блок, управляющий блок и модельные блоки. Управляющий блок (УБ) по существу является программой макроалгоритма реализации системы моделей. Информационно-статистический блок (ИСБ), основой которого является база данных, служит для обработки входных, промежуточных и выходных моделей. Модельные блоки представляют собой сложные модели, состоящие из нескольких подмоделей, преимущественно численных (рис.2).

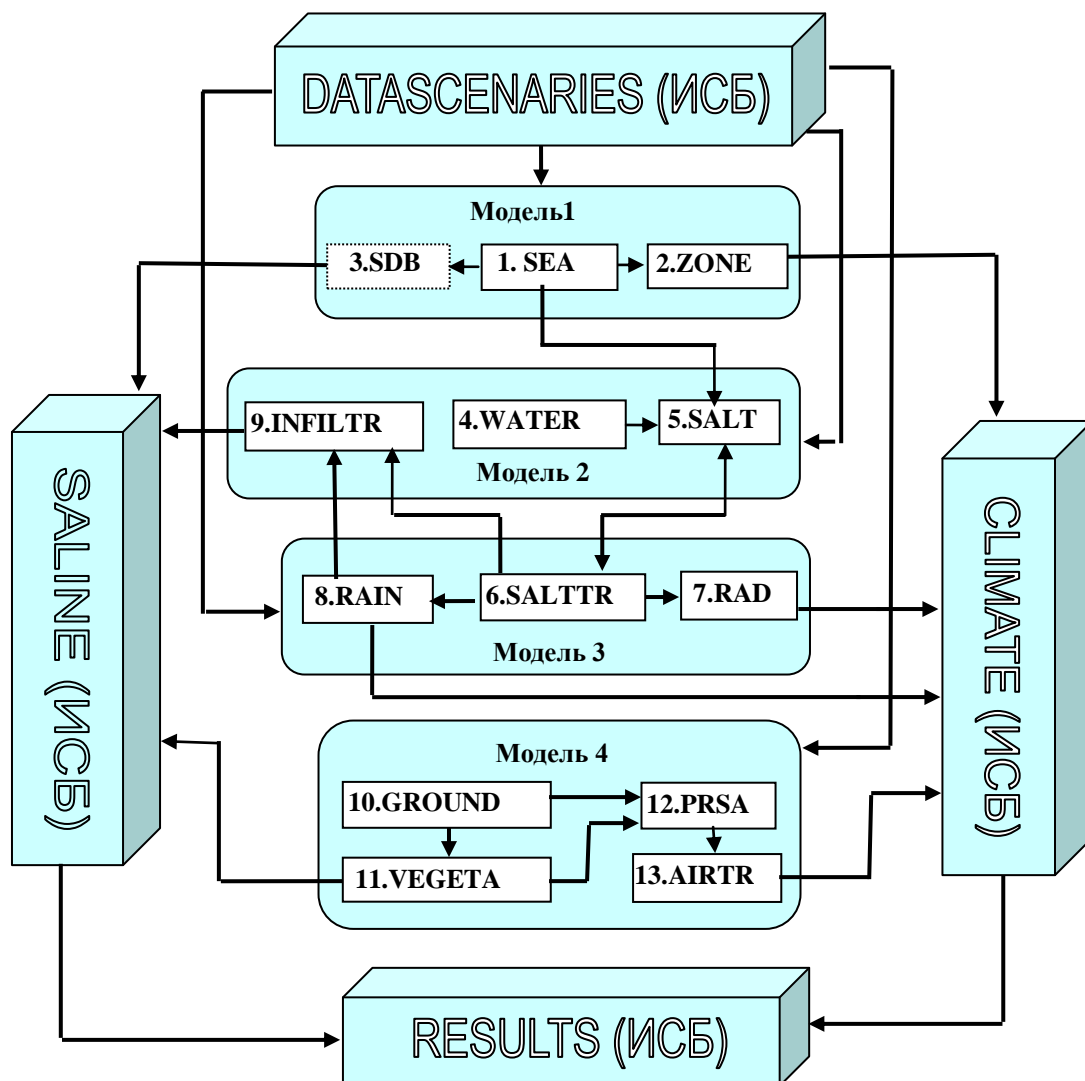


Рис.2 Схема информационных связей между модулями ИСБ и подмоделями

Модель 1 во-первых, позволяет проводить расчеты изменения солености, уровня воды и конфигурации береговой линии Аральского моря (подмодель SEA). Во-вторых, в модели 1 определяются зоны влияния на температурные и влажностные поля (подмодель ZONE), т.е. параметры трехмерного пространства, в котором отклонения указанных климатических характеристик не меньше наперед заданных значений (точности). В подмодели SDB (salinization of dried bottom) вычисляется количество солей, остающейся на осушенном дне в результате регрессии моря.

Назначение модели 2 – описание формирования и динамики солончаков

на осушенном дне (подмодели WATER и SALT), а также засоление почв вне постакавальной суши вследствие инфильтрации выпадений сульфатного аэрозоля с осадками или при поливе (подмодель INFILTR).

В модели 3, прежде всего, производится расчет солепереноса (подмодель SALTTR). Затем в подмодели RAD вычисляется степень изменения температурного режима атмосферы под влиянием солевого аэрозоля. И, наконец, в подмодели RAIN на основе результатов подмодели SALTTR определяется изменение количества и минерализации осадков вследствие увеличения концентрации солей в атмосфере [8].

Модель 4 описывает влияние растительного слоя на температуру и влажность воздуха. Подмодель GROUND представляет собой уравнение теплопроводности в почве. Трансформация потоков тепла и влаги в слое растительности и их значения на верхней границе растительного слоя определяются в балансовой подмодели VEGETA. Вертикальный перенос потоков тепла и влаги в атмосфере вычисляется в численных подмоделях AIRTR и PRSA. В модели 4 оценивается также зависимость засоления почв от проективного покрытия растительного слоя [7].

При инициализации работы макромоделей в модуле DATASCENARIES информационно-статистического блока составляются сценарии входных данных для каждой подмодели (специальным образом организованная внешняя информация). Выходные данные всех моделей поступают в ИСБ, по засолению почв – в модуль SALINE, по климатическим изменениям – в модуль CLIMATE, где они приводятся в единый формат, после чего направляются в модуль RESULTS для обобщающей статистической обработки и картографической работы.

В ходе исследования прослежена динамика влияния системы изменяющихся факторов на климатические характеристики и засоление почв на протяжении четырех десятилетий (1966-2005гг.). На основе результатов, полученных для этого ретроспективного периода, выявлены основные тренды и построены сценарии для прогнозных расчетов на 2030 г.

Таким образом, использование макромоделей позволило количественно оценить этот форсинг, выявить закономерности его динамики, как по годам, так и более детально – по сезонам, месяцам и декадам, а также прогнозировать развитие процесса в будущем. Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии рассмотренных факторов на температуру и относительную влажность воздуха, количество и минерализацию осадков, а также на засоление почв. В частности, выявлена важная роль растительного покрова в рассолении почвы [7], [8], [9].

Приведем выводы по результатам проведенного исследования.

1. Эмерджентность системы факторов проявляется в том, что динамика совместного воздействия форсингов в силу их разнознаковости теряет монотонность, обладает большими темпами изменения по сравнению с динамикой влияния по отдельности и с течением времени может менять знак воздействия, т.е. совершать качественный скачок.

2. Инерция и вязкость, присущие природным трансформациям, приводят к запаздыванию реакции подчиненных факторов на изменения ключевого фактора (усыхание Аральского моря) на 1-3 года. Именно наличие этих временных лагов приводит к необходимости осреднения по десятилетиям при исследовании многолетней динамики природных процессов.

3. Количество солей, остающееся на поверхности почвы в результате регрессии моря, увеличилось с 12 т/га в 1973г. до 148 т/га в 2005г.

4. Протяженность зоны влияния Аральского моря на температуру и относительную влажность воздуха монотонно сокращалась с 300км в 1966г. до 30 км в 2008г.

5. Количество солей на постаквальной суше, выходящих за декаду на поверхность почвы в результате испарения возросло с 0,2 кг/м² в 1975г. до 3 кг/м² в 2005г.

6. Инфильтрация с осадками солевого аэрозоля, вынесенного ветром с осушенного дна Аральского моря в 2005г. увеличивало засоленность почв на 0,5%.

7. Среднегодовое увеличение минерализации осадков солевым аэрозодем равно 50 мг/дм³.

8. Солевой аэрозоль при концентрации до 400 мкг/м³ на уровне конденсации способствует увеличению осадков в отдельных случаях их реализации на 1,6 мм, при более высоких концентрациях аэрозольный эффект меняется на противоположный – осадки не выпадают и, таким образом, увеличивается время жизни облаков, т.е. продолжительность облачности.

9. Солевой аэрозоль снижает температуру воздуха на 2-3 °С.

10. Растительность понижает температуру воздуха в среднем на 1-2 градуса вследствие затрат энергии на эвапотранспирацию и меньшего по сравнению с почвой коэффициента теплообмена с внешней средой. Степень понижения температуры воздуха растительностью зависит главным образом от ее проективного покрытия (на 70-80%). Изменения температуры воздуха растительным покровом с точностью до 0,01 градуса распространяются до значительной высоты (2000 м для 100%-го проективного покрытия).

11. Растительный слой увеличивает вследствие эвапотранспирации относительную влажность воздуха в среднем на 0,8%; степень увеличения влажности воздуха зависит главным образом от проективного покрытия растительного покрова, зависимость от транспирационного коэффициента не превышает 20%; изменения влажности воздуха растительным слоем с точностью до 0,1% распространяются в среднем до высоты 800 м.

12. Растительный слой ослабляет засоление верхних горизонтов почв а) затеняя почву и уменьшая тем самым испарение солей; б) поглощая соли из почвы; в) препятствуя попаданию на почву сухих выпадений солевого аэрозоля и минерализованных им осадков; г) ослабляя скорость ветра в несколько раз, а значит и ветровой перенос солей, а также вторичное засоление.

13. Смягчающее влияние Аральского моря на климат Приаралья неуклонно снижается, в результате чего происходит уменьшение относительной влажности на 0,18-0,3% в год и повышение температуры воздуха на 0,05-0,2°C в год.

14. Деграция растительного покрова приводит к повышению температуры воздуха 0,05-0,1°C в год и уменьшению относительной влажности на 0,04-0,2% в год.

15. Воздействие ветрового выноса солей на климат выражается в снижении температуры воздуха на 0,07-0,1°C в год, а также в увеличении минерализации на 10-30 мг/дм³ и количества осадков на 0,2-0,3мм в год.

16. Суммарное воздействие факторов на уменьшение относительной влажности и повышение температуры воздуха составляет соответственно 0,04-0,3% в год и от 0,03 до 0,11°C в год.

17. Сокращение акватории Аральского моря с 2008г. до 2030г. на 5тыс. км² обуславливает ослабление охлаждающего влияния с -0,43°C до -0,05°C, следовательно, такая трансформация фактора приведет в 2030г. к повышению летних температур воздуха на 0,39°C по сравнению с 2008г.

18. Деграция растительного покрова с уменьшением проективного покрытия с 0,4 в 2008г. до 0,29 в 2030г. приводит к ослаблению его увлажняющего действия, и таким образом, относительная влажность воздуха в указанном периоде уменьшается на 1,2%.

Анализ и сопоставление результатов численной реализации макромоделей в целом и подмоделей со снимками с ИСЗ, данными наблюдений и модельных расчетов других авторов позволяют сделать вывод об адекватности разработанных моделей и соответствии полученных расчетных данных реальности.

Итак, макромоделирование, примененное в данном исследовании, позволило получить новое представление о роли происходящих в Приаралье трансформаций экосистемы. Главные экологические проблемы региона – засоление почв и климатические изменения рассмотрены в новом ракурсе, как следствие системы трансформаций геобиоценозов. Мы убедились, что усыхание Аральского моря и такие его последствия, как ветровой вынос солей и деграция растительности приводят к значительным изменениям состояния атмосферы и почвы.

REFERENCES

1. Binenko V.I., Ivanov V.A., Lebedinov V.G. Ajerazol'no-radiacionnye izmerenija v Priaral'e//Tr.GGO. –1982. –vyp.462. –s.37-43.
2. Vager B.G., Utina Z.M. Modelirovanie vlijanija Aral'skogo morja na processy vlagoperenosa v pograničnom sloe atmosfery//Tr.GGO. – 1982. – vyp.468.– S.56 – 65.
3. Kondrat'ev K.Ja. Klimat i ajerozol'. – L.: Gidrometeoizdat, 1991. –541s.

4. Skripnikova L.E., Spektorman T.Ju. Ob ocenke klimaticeskikh izmenenij prizemnoj temperatury vozduha Srednej Azii. //Tr.SANIGMI. – 1998. – Vyp. 156 (237). – S. 115 – 121.

5. Spektorman T.Ju., Nikulina S.P. Scenarii vozmozhnyh izmenenij klimata Uzbekistana i prilegajushhej gornoj territorii na osnove vyhodnyh rezul'tatov modelej obshhej cirkuljacii // Informacija ob ispolnenii Uzbekistanom svoih objazatel'stv po Ramochnoj Konvencii OON ob izmenenii klimata. Bjulleten' #1.– Tashkent: SANIGMI, 1999. – S.41 – 53.

6. Tazhimuratov P., Pirzhanova R., Sejt nijazova B. Izmenenie fitocenoza primorskoj polosy Ustjurga pri aridizacii //Tez.dokl. Resp.konf. Izuchenie jekologicheskikh problem Priaral'ja. –Nukus: Bilim, 2005. –s.3-4.

7. Tleumuratova B.S., Bahiev A.B. Vlijanie degradacii rastitel'nosti v Priaral'e na lokal'nye klimaticheskie harakteristiki//Problemy osvoenija pustyn'. – 2008. – #2. – s.35-39.

8. Tleumuratova B.S. Sistemnyj analiz v matematicheskom modelirovanii // Vestnik KKO AN RU. – 2008. – #3. – S.5 – 8.

9. Tleumuratova B.S. Vlijanie solepileperenosa na osadkoobrazovanie v Priaral'e//Aridnye jekosistemy. – 2009. – tom 15. – #3(39) . – s.28-35.

10. Tolkacheva G.A. Nauchno-metodicheskie osnovy monitoringa atmosferynyh vypadenij v Sredneaziatskom regione. – Tashkent, 2000. –204s.

11. Chub V.E. Izmenenie klimata i ego vlijanie na prirodno-resursnyj potencial Respubliki Uzbekistan. – Tashkent: SANIGMI, 2000.– 252s.

12. Chub V.E, Chanysheva S.G., Nikulina S.P., Spektorman T.Ju., Subbotina O.I. Razrabotka regional'nyh klimaticeskikh scenarijev. Informacija ob ispolnenii Uzbekistanom svoih objazatel'stv po Konvencii OON ob izmenenii klimata // Bjulleten' #1. –Tashkent: SANIGMI, 1999. –S.5-14.

13. Jeshbi U.R. Vvedenie v kibernetiku. – M.: IL,1959. – 157 s. Andreae, M.O. Climatic effects of changing atmospheric aerosol levels. // World Survey of Climatology. . – 1995. – Vol. 16. – pp. 341–392.

14. Nakajima, T., A. Higurashi, K. Kawamoto, and J. E. Penner, A possible correlation between satellite-derived cloud and aerosol microphysical parameters. //Geophys. Res. Lett. . – 2001. –№5. –p.1114-1135.

15. Tegen I., Holling P.,Chin M., Fung I., Jacob D. and Penner J. Contribution of different aerosol species to the global aerosol extinction optical thickness: Estimates from model results. // J.Geophys.Res. .–1997. – 102(20).– pp. 23895 –23915.

16. Wu, J., J.Liu, D.E.Jelinski. Effects of leaf profiles and canopy stratification on simulated energy fluxes: the problem of vertical spatial scale//Ecol. Modelling.–2000.– v.134.–p.283-297.

17. Alimov, A. (2016). Ecotourism development in Karakalpakstan: challenges, new trends, and prospects. *Bulletin of Science and Practice*, (6), 46-53.