

Салмурзаулы Р., Нуртазин С.Т.,
Бухо Хошино, Нильс Тевс,
Есжанов А.Б.

**Современные изменения
экосистем дельты реки Иле
в связи с воздействием
природных факторов
и зарегулированием стока**

Проводятся результаты исследования трансформации различных экосистем дельты реки Иле в период 1979-2014 гг. На основании анализа данных по динамике гидрологического режима, изменений метеоусловий и изучения космических фотоснимков за несколько последних десятилетий сделан вывод об определяющем значении водности р. Иле в негативных изменениях и ухудшении экологической ситуации на дельтовых территориях. Рост водопотребления в китайской и казахстанской частях Иле-Балкашского бассейна обусловил высыхание и опустынивание многих гидроморфных экосистем дельты и сокращение речного стока в озеро Балкаш. Показано, что значительное снижение обводненности дельтовых территорий способно резко ускорять процессы аридизации и деградации гидроморфных экосистем. Процессы трансформации дельтовых экосистем при уменьшении стока обычно начинаются в головной части и постепенно распространяются в северном и северо-западном направлении к периферии дельты. Особенно отчетливо опустынивание выражено в районе гидрографической системы Топар.

Ключевые слова: ГИС-технология, Или-Балкашский бассейн, дельта Иле, водность, гидрологический режим, трансформация экосистем.

Salmurzauly R., Nurtazin S.T.,
Buho Hoshino, Niels Tevs,
Eszhanov A.B.

**Current changes in ecosystems
Delta Ile due to the influence
of natural factors and regulated
flow**

Were represented results of a study the transformation of different ecosystems Delta Ili during 1979-2014 years. Based on the analysis of data on the dynamics of the hydrological regime, changes in weather conditions and studying satellite photographs over the past few decades, it was concluded that determines the value of the conductivity p. Ile in the negative changes, and environmental degradation in delta areas. The growth of water demand in the Chinese and Kazakh part of the Ile-Balkhash basin drying and desertification caused on many hydromorphic delta ecosystems and reduced river flows into Lake Balkhash. It is shown that a significant reduction in water content of delta areas could drastically accelerate the degradation of arid and hydromorphic ecosystems. Transformation processes delta ecosystems while reducing runoff usually begin in the head and gradually spread to the north and north-westerly direction towards the periphery of the delta. Most clearly expressed in the desertification area drainage system Topar.

Key words: GIS technology, Ili-Balkhash basin, Ile delta, water content, the hydrological regime, the transformation of ecosystems.

Салмурзаулы Р., Нуртазин С.Т.,
Бухо Хошино, Нильс Тевс,
Есжанов А.Б.

**Табиғи және су ағымын реттеу
факторларына байланысты
Иле өзенінің дельта
экосистемаларының қазіргі
өзгеру жағдайы**

1979-2014 жылдар аралығындағы Иле өзені дельтасының әртүрлі экосистемаларының трансформацияларын зерттеу нәтижелері көрсетілген. Соңғы бірнеше онжылдықтардағы гидрологиялық режимінің, метеожағдайдың өзгерісін және космостық фотосуреттердің анализі негізінде Иле өзенінің сулылығының төмендеуі мен дельта аймағында экологиялық жағдайдың нашарлауы анықталған. Иле-Балқаш бассейнінің Қытай және Қазақстан бөліктерінде суды пайдалану деңгейінің өсуі дельта аймағының көптеген гидроморфты экосистемаларының кебуі мен шөлденуіне алып келді және Балқаш көліне құятын су көлемін төмендетті. Дельта аймағының суының төмендеуі аридизация және гидроморфты экосистеманың деградациясы процесстерінің жүруін тездететіні көрсетілген. Су көлемінің азаюы барысында дельталық экосистемалардың трансформациясы әдетте бас жағынан басталып, солтүстік және солтүстік-батыс бағытта дельта перифериясына қарай тарайды. Топар гидрографиялық система-сының шөлденуі белсенді жүріп жатыр.

Түйін сөздер: ГИС-технология, Иле-Балқаш бассейні, Иле дельтасы, су деңгейі, гидрологиялық түзім, экосистема трансформациясы.

**СОВРЕМЕННЫЕ
ИЗМЕНЕНИЯ
ЭКОСИСТЕМ ДЕЛЬТЫ
РЕКИ ИЛЕ В СВЯЗИ
С ВОЗДЕЙСТВИЕМ
ПРИРОДНЫХ
ФАКТОРОВ И
ЗАРЕГУЛИРОВАНИЕМ
СТОКА**

Введение

Изучение изменений экосистем под влиянием внешних факторов представляет собой одну из центральных задач современной экологии [1], отсюда понятен интерес к анализу причин трансформации биогеоценозов дельты реки Иле, обеспечивающей примерно 80% притока воды в крупнейший внутренний водоем Казахстана – оз. Балкаш. Следует отметить, что в странах Центральной Азии, в связи с ростом водопотребления из-за увеличения численности населения на фоне резко континентального экстрааридного климата, усиливаются процессы опустынивания ландшафтов в дельтах многих рек. Негативная трансформация экосистем дельты Иле, бассейн которой расположен в Казахстане и Китае, является одним из примеров подобного опустынивания. Иле является крупнейшей рекой юго-востока Казахстана, в бассейне которой проживает более 3 миллионов человек, сформирован крупный индустриально-аграрный комплекс, занимающий важное место в социально-экономической жизни страны. Иле – трансграничная река, ее протяженность на территории КНР составляет 624 км, а в Казахстане – 815 км.

По климатогеографическим условиям и почвенным характеристикам большая часть казахстанской территории Иле-Балкашского бассейна относится к зоне северных пустынь и полупустынь, исторически, на протяжении нескольких тысячелетий, используемых в качестве естественных пастбищ для домашнего скота и лишь в последние десятилетия для орошаемого земледелия. нижняя часть бассейна Иле, ее низовья, расположенные в пределах Южно-Прибалхашской впадины от Капшагайского горста до устья реки, охватывают современную и высохшую древнюю дельту Иле. Расположение исследуемого региона в центре Евразии, его удаленность от морей и океанов обуславливает ярко выраженную континентальность климата с большой разницей температур дня и ночи, лета и зимы. Самая высокая среднемесячная температура воздуха 25-27⁰С наблюдается в июле, при абсолютном максимуме 44-46⁰С; самая низкая температура отмечается в январе – 13-15⁰С, при абсолютном минимуме 45⁰С. Сумма положительных годовых температур вы-

ше 10°C достигает 3500°C, что обуславливает в пределах дельты Иле и озера Балкаш высокую (более 1200 мм/год) испаряемость и экстрааридность климата. Среднегодовое количество осадков не превышает 130-140 мм, то-есть менее 12% от общей испаряемости, что обуславливает дефицит влажности воздуха. Относительная влажность воздуха, по нашим данным, в летние месяцы падает до 25-10%, что обуславливает определяющее значение реки Иле в существовании гидроморфных биоценозов дельты и самого оз. Балкаш.

К сожалению, начиная с 1970 года наблюдается тренд неуклонного снижения водности Иле, прежде всего ввиду интенсивного строительства объектов ирригации и гидроэнергетики как на китайской, так и на казахстанской части Иле-Балкашского бассейна. Одновременно растут площади подтопленных и засоленных земель, увеличивается минерализация и загрязнение поверхностных и грунтовых вод, гидроморфные экосистемы подвергаются деградации и опустыниванию. Публикуется достаточно большое количество работ, прежде всего публицистического характера, указывающих на угрожающую экологическую ситуацию в Иле-Балкашском бассейне, все более напоминающую глобальную катастрофу Аральского региона. Однако, в связи с тем, что начиная с 90-х годов XX в. были резко сокращены проводимые ранее стандартные наблюдения и практически полностью прекращены научные исследования, в настоящее время очень мало данных о современном экологическом состоянии бассейна в целом и низовий р. Иле, в частности [1].

Цель нашего исследования – выявление роли изменения водности реки Иле в трансформации экосистем дельтовых территорий на основе современных методов дистанционного зондирования и использования разновременных спутниковых снимков, в сочетании с проведением полевых работ и анализом метео- и гидрологических данных.

Материалы и методы

Учитывая обширную территорию (около 10 000 км²) занимаемой современной дельтой реки Иле, в данной статье всего были использованы пять парных (Target WRS Row: 028/029) разновременных мультиспектральных снимков серии Landsat MMS/TM/ETM+/OLI с 1979 по 2014 года, которая находится в открытом доступе (<http://earthexplorer.usgs.gov>).

В дополнение к космическим снимкам, данное исследование основывается на результатах полевых работ на местности, проведенных с 2010 по 2014 гг. В ходе полевых исследований были собраны данные по почвенно-растительному покрову, наземной и водной позвоночной фауне, особенностям ландшафтов из 382 репрезентативных площадок.

В целях корректировки и уменьшения ошибок при классификации основных растительных сообществ и экосистем были дополнительно использованы данные геоботанических карт и сводок 1969-1987 года. Для визуальной корректировки границ при классификации природных и антропогенных объектов в качестве вспомогательных данных, были использованы спутниковые снимки высокого разрешения IKONOS-2 в режиме Google Earth.

Предварительная обработка данных. В целях устранения радиометрических, спектральных, пространственных, геометрических, а также атмосферных искажений, все использованные снимки из различной серии спутника Landsat прошли предварительную обработку в соответствии с общепринятыми методами ДДЗ [2]. При сведении различных данных их пространственное разрешение было унифицировано до величины 30 м. В качестве единой географической координатной системы спутниковых данных была использована Универсальная поперечная проекция Меркатора (UTM).

Классификация. В ходе исследования классификация спутниковых снимков производилась с использованием различных методов в зависимости от цели и задач. Предварительная кластеризация (ISODATA) исследуемого региона проводилась в камеральных условиях перед полевыми исследованиями [3]. Кроме того, были созданы NDVI (нормализованный относительный индекс) карты, которые позволяют оценить космическое проективное покрытие растительности в полевых условиях [4]. Контролируемая классификация основных экосистем дельты реки Иле проводилась на основе полевых данных 2010-2012 и 2014 гг. методом «Maximum Likelihood» как наиболее достоверный и широко используемый алгоритм для классификации окружающей среды [5].

Достоверность классификации. Достоверность классификации экосистем оценивались на основе мультиномиальной алгоритма широко распространённый под именем «confusion matrix». Матрица различий представляет собой статически анализ, использующий кросс-табу-

ляцию для показа степени отличия между классами полученной при контролируемой классификации и набором полевых данных виде карты или опорных точек, которые несет более достоверную информацию [6, 7]. Таким образом, были высчитаны общая достоверность и достоверность «производителя» и «пользователя» результатов классификации разновременных снимков с 1979-2014 гг. Окончательная достоверность полученных классов были оценены коэффициентом Каппа (Kappa Coefficient), рассматриваемым по формуле:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^n x_{ii} - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{i+} x_{+i}} \quad (1)$$

где x_{ii} – диагональные элементы матрицы ошибок; x_{i+} – суммарное количество пикселей по строке i ; x_{+i} – суммарное количество пикселей по столбцу i ; N – общее количество пикселей в матрице; n – количество классов.

Результаты и обсуждение

Известно, что по положению истоков и основной области питания, а также по характеру

гидрологического режима река Иле относится к горному типу и имеет преимущественно ледниково-снеговое питание. Истоки ее расположены на высоте 4000 м. Многочисленные притоки, значительно влияющие на режим реки, также имеют высокие водозаборы. Поэтому в питании Иле ведущую роль играют высокогорные снега и ледники и, в незначительной степени, грунтовые воды и жидкие осадки.

В годовом уровне р. Иле, согласно многолетним данным (за период 1910-1950 гг.), выделяются: весеннее половодье (апрель-май), трехмесячный летний паводок и осенне-зимний межень. Максимальная водность наблюдается летом во время усиленного таяния снежников и ледников. С сентября начинается уменьшение водности в связи со снижением температуры воздуха. Атмосферные осадки осеннего периода существенного влияния на водность Иле не оказывают и спад воды продолжается. Минимальные расходы обычно наблюдаются в январе-феврале (рис. 1).

В среднем за многолетие в условно-естественном периоде объем стока Иле в Казахстан из КНР составлял $12,47 \text{ км}^3$, а в среднем течении, в створе гидропоста в урочище Капшагай, сток возрастал до $14,9 \text{ км}^3$ ($473 \text{ м}^3/\text{с}$) [8].

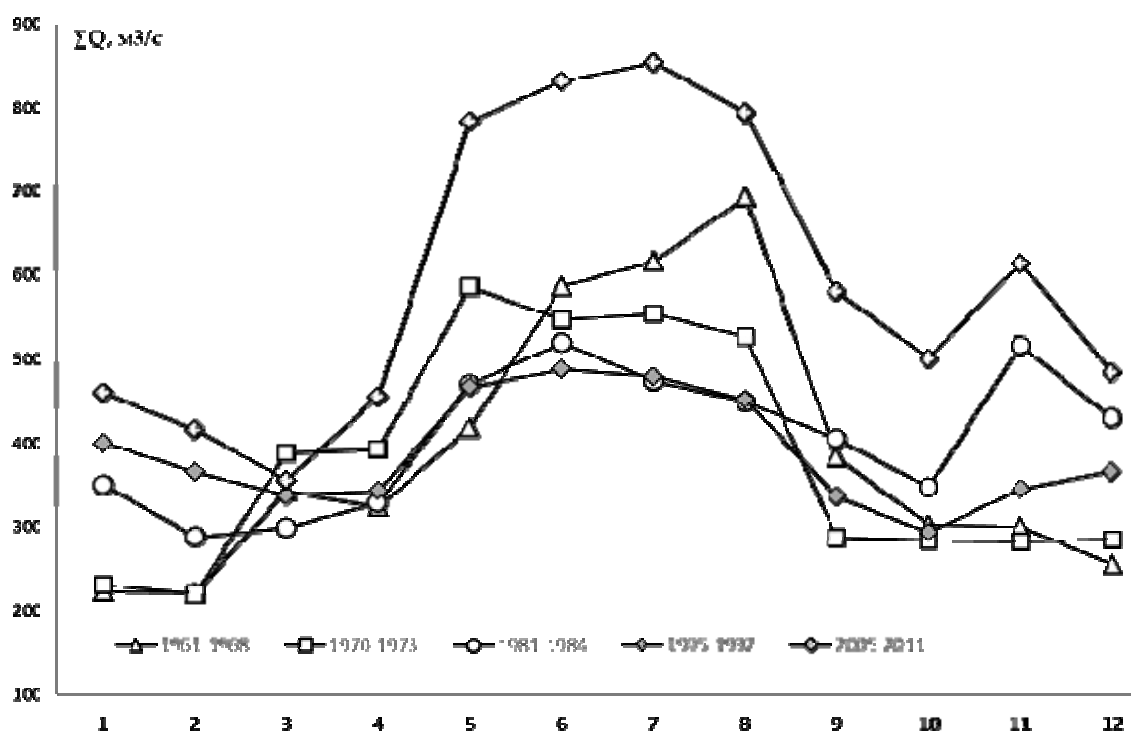


Рисунок 1 – Сток и линейный тренд средней трехмесячной водности реки Илн в створе Капшагайского гидропоста (1958-2011)

С 1970 года, по данным измерений расхода воды на Капшагайском гидропосту, произошло значительное уменьшение стока Иле (рис. 1), вызванное строительством Капшагайского водохранилища и возросшими водозаборами из р. Иле и ее притоков для ирригации на территории

КНР и в Казахстане. Если в период 1958-1969 гг. среднегодовая водность Иле составляла 482 м³/сек, то в период 1970-1979 гг., в ходе наполнения Капшагайского водохранилища, на что ушло 39 км³, она снизилась на 24,5%, до 365,1 м³/с (рис. 2).

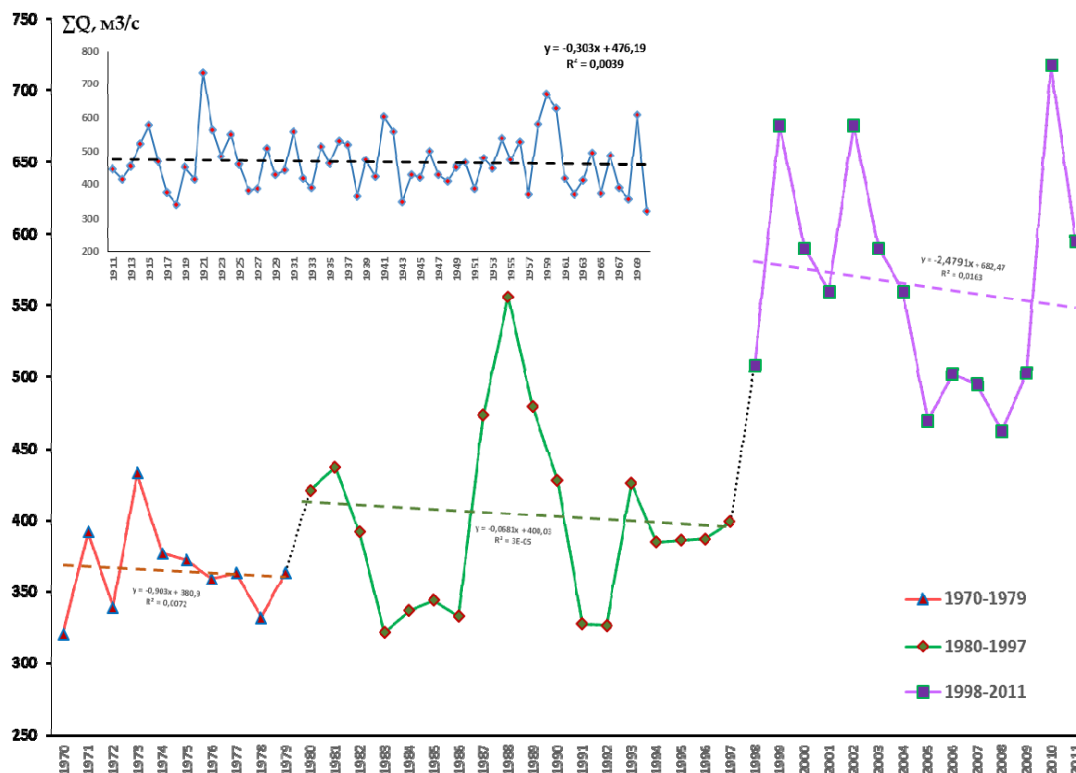


Рисунок 2 – Годовой сток и линейный тренд средней годовой водности реки Иле в створе Капшагайского гидропоста (1958-2011 гг.)

После заполнения с поверхности водохранилища ежегодно теряется на испарение до 1,5-2,3 км³ воды. В эти же годы в Казахстане был введен в строй ряд крупных массивов орошаемого земледелия: Шенгельдинский, Акдалинский, Кербулакский и Каройский. При этом из-за несовершенства оросительных систем с проложенными в земляном русле каналами, ввиду упрощенной конструкции гидрораспределительных сооружений имеют место неоправданно высокие затраты воды. КПД большинства оросительных систем, площадь которых достигает 200 000 га, не превышает 0,65.

Вместе с тем быстро нарастает водопотребление в китайской части бассейна, где сооружены и возводятся крупные гидротехнические объекты для быстро развивающегося промышленного и сельскохозяйственного сектора, а

также быстрорастущего населения Синьзянь-Уйгурского автономного района. Уже в 2007 году, по данным космической фотосъемки, площадь орошаемых земель достигла на китайской стороне 465,5 тыс. га [9]. В ближайшие годы планируется построить около 90 водных объектов, включая 6 крупных, 53 средних водохранилища, 8 водопроводов и различных каналов, вследствие чего с 1970 г. до 2005 г. ежегодный забор воды из Иле в Китае возрос с 1.4 км³ до 4.0 км³ [10]. В перспективе эта тенденция, вероятно, сохранится, что создает серьезные проблемы государственного вододеления.

С началом заполнения водохранилища значительно уменьшился годовой объем стока и резко изменился гидрологический режим в низовьях реки, включая ее дельту. Практически прекратилось мартовское половодье, да и май-

ские искусственные попуски не достигали и не достигают масштабов естественных паводков. В последующее двадцатипятилетие (1987-2012 гг.) в том же Капшагайском створе Иле водность вновь возросла до 410 м³/сек, не достигнув, однако, прежних объемов (рис. 2). При этом весьма драматическим обстоятельством является тот факт, что данное повышение естественной водности Иле примерно на 1-2 км³/год (30-60 м³/с), произошло преимущественно за счет деградации горного оледенения, вследствие глобального и, особенно регионального потепления. За период с 1955 по 2004 г. площадь оледенения в ледниковых системах казахстанской части бассейна р. Иле сократилась на 38,5%, с 926,13 до 570,15 км² [11].

Дельта Иле являющаяся в настоящее время крупнейшей речной дельтой в Центральной Азии, характеризуется значительным разнообразием экосистем, среди которых выделяются наземные природные, слабо измененные деятельностью человека, наземные антропогенно-трансформированные (с изменением почвенного и растительного покрова) и аквальные экосистемы (речных рукавов, протоков, разливов и озер). Дельта Иле, представленная зональными – пустынными и интразональными – пойменно-долинными биоценозами, отличается наибольшим в регионе разнообразием флоры и фауны и имеет ключевое значение для сохранения ряда редких и исчезающих видов и популяций животных и растений, а также уникальных водно-болотных экосистем. В феврале 2012 г. дельта Иле и южная часть оз. Балкаш объявлены ветландами международного значения и включены в список Рамсарской конвенции.

На вершине современной дельты, примерно в ста километрах от побережья озера Балкаш, река Иле распадается на целый веер дельтовых протоков, которые образуют в современной дельте три обособленных системы: Топарский, Илейский и Жиделинский. Ширина русла реки до вершины современной дельты колеблется в пределах от 1000 до 1500 м, скорость течения составляет в среднем – 1,0-1,5 м/сек. Общий продольный уклон реки равен 0,0003. Среднемесячные величины расходов р. Иле в течение года за многолетний период колеблются от 163 до 901 м³/сек. При этом на один многоводный год обычно приходится три маловодных.

Снижение среднегодового объема стока в низовья Иле с 472 м³/с (1948-1969 гг.) до 361 м³/с (1970-1986 гг.) и понижение уровня воды на 1-2

м, а также изменение естественного гидрологического режима попусками Капшагайской ГЭС, ухудшило обводнение дельтовой области реки и явилось причиной обсыхания многих проточных и полупроточных озер, сокращения площадей тростниковых массивов, засоления почв, опустынивания берегов. При этом обсыхание, опустынивание и засоление почв распространяется в южном направлении от наименее обводненной периферической части дельты, примыкающей к побережью Балкаша, к ее головной части. По данным Гидропроекта, общая площадь дельты реки Иле в 1948 году составляла 7740 км², из них на открытую водную поверхность дельтовых озер и проток приходилось 841 км² [12]. А через 60 лет, в 2009 г., по нашим данным, площадь дельты сократилась на 45%, до 4263 км², площадь озер и проток сократилась на 40% и составила 502 км². В 2013 г., после аномально многоводного 2010 г., общая площадь дельты несколько возросла по сравнению с 2009 г. и достигла 5010 км², но открытая водная поверхность озер и протоков изменилась незначительно и составила 513 км². Из-за оседания биогенных взвесей реки в Капшагайском водохранилище, Иле не может больше обеспечивать прежнее высокое плодородие пойменных земель, что привело к значительным по объему процессам галофитизации и ксерофитизации растительного покрова современной дельты на всех элементах рельефа.

Указанные процессы значительных, начиная с 1970 года, колебаний среднегодовой обводненности дельты, как показывает анализ космических фотоснимков, обусловили динамичные изменения соотношения гидроморфных и автоморфных экосистем (рис. 3).

Изучение временной динамики трансформации дельтовых экосистем по космическим фотоснимкам выявило нижеследующие изменения (рис. 4):

Фотоснимки 1979 года. К 1979 году площадь гидроморфных экосистем дельты уменьшилась с 7740 км² до 6905 км². Площадь тростниковых зарослей снизилась до 87,58 км², тростниково-рогозовых и травянисто-болотных экосистем до 770 км². Период маловодности р. Иле продолжался с 1970 по 1986 годы. При этом среднегодовой расход воды составил 367 м³/с.

Фотоснимки 1993 года. Благоприятное влияние на гидроморфные экосистемы дельты Иле оказали многоводные 87, 88, 89 гг., когда средний расход воды составил 503 м³/с, а также резкое уменьшение площади орошаемых земель на казахстанской части в 90-х годах XX в.

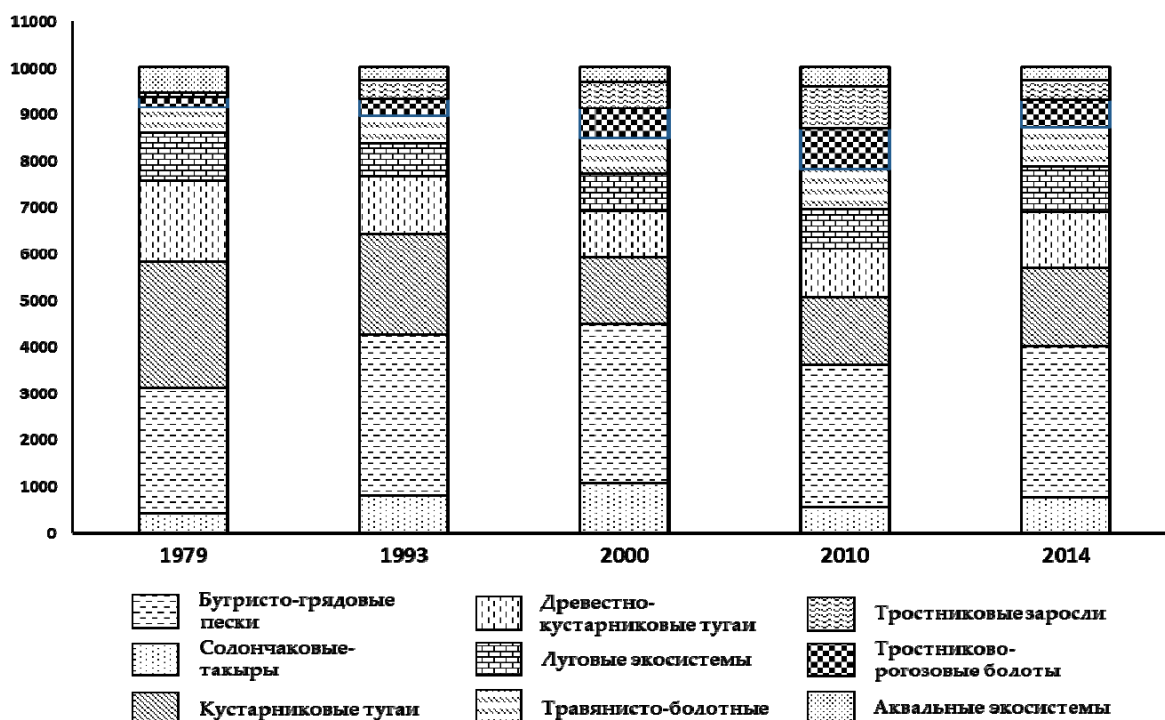


Рисунок 3 – Площадные соотношения экосистем дельты Иле

При этом расширение площади гидроморфных экосистем (тростниковых, тростниково-роговых) происходило в основном на заливаемых поймах протоков Кугалы-Жиделинской системы. Площадь солончаково-такырных экосистем значительно возросла в восточной части Жиделинской системы, тогда как площадь бугристо-грядовых песков расширилась, особенно в Топарской системе, одновременно здесь произошло значительное уменьшение площади тугаев.

Фотоснимки 2000 года. В период с 1993 по 2000 год среднегодовая водность Иле выросла с 395,8 м³/с до 469 м³/с, что повлекло за собой расширение площади гидроморфных экосистем, включая тростниковые сообщества и лугоболотные ценозы в северной периферической части Жиделинской системы. В это же время в Топарской системе происходили процессы обсыхания.

Фотоснимки 2010 года. В период 2001-2010 гг. среднегодовая водность Иле еще более выросла и достигла 553 м³. Рекордным по водности, а также по количеству атмосферных осадков стал 2010 год (водность стала 718 м³/с). Это обусловило значительный рост площади всех гидроморфных экосистем, особенно в средней и периферической части Жиделинской системы и, в меньшей степени, впервые после 60-х годов прошлого века в Илийской системе проток об-

наружены явления затопления. Незначительный рост гидроморфных ценозов наблюдался также в головной части Топарской системы.

Фотоснимки 2014 года. Беспрецедентное за все время гидрологических наблюдений снижение водности Иле имело место в 2014 году. С 12 мая 2014 года водность Иле на казахстанско-китайской границе резко сократилась с 291 м³/с до 90 м³/с. При этом уровень воды в Капшагайском водохранилище снизился на 113 см. За весь более чем столетний период инструментальных гидрологических наблюдений такого уменьшения стока Иле не было.

Это вызвало резкое сокращение площади тростниковых сообществ Жиделинской системы, в первую очередь в ее головной части. В средней и в периферической части тростниковые экосистемы частью сохранились. В Топарской системе произошло обсыхание луго-болотных фитоценозов. Процессы обсыхания распространились от головной части дельты к периферии, в северном направлении.

Таким образом, можно отметить отчетливую корреляцию между водностью Иле и состоянием гидроморфных систем в дельте. Процессы обсыхания и опустынивания при уменьшении водности Иле начинаются в головной части и постепенно распространяются к периферии, к побережью Балкаша. Особенно отчетливо изме-

нения гидроморфных экосистем выражены в более молодой Жиделинской системе и, в меньшей степени, в Топарской.

Вследствие все возрастающего водозабора из Иле на территории Китая и Казахстана обострилась реальная угроза деградации большей части гидроморфных экосистем дельты и сокращение площади оз. Балкаш. При этом, как показывает практика 2014 и начала 2015 года, возможности Китая по повышению объема забора воды из Иле опрокидывают все самые мрачные прогнозы. В результате, с большей вероятностью произойдет резкое ускорение процессов естественных изменений гидроморфных почв, состава и продуктивности соответствующих растительных сообществ, и их превращение в опустыненные не за 10-12 лет [13], а по ускоренному циклу за 3-5 лет. Как показывает изучение динамики трансформации экосистем дельты при аномально высоких колебаниях водности 2010 года (среднегодовой расход 718 м³/с) и 2014 года (водность менее 100 м³/с), происходит значительное изменение сукцессионных процессов в растительных сообществах.

Все вышеописанные факторы мощного и непрерывно усиливающегося с начала 70-х годов

XX в. антропогенного воздействия и пока малозаметные климатические изменения поставили в настоящее время уникальные экосистемы низовьев р. Иле, включая ее дельту и озеро Балкаш, на грань все более трудно решаемого экологического кризиса, весьма напоминающего катастрофу Аральского моря.

Исходя из того, что возврат к прежнему естественному гидрологическому режиму Иле невозможен, то наилучшим, хотя и паллиативным, вариантом возможно более полного сохранения природной среды дельты Иле в настоящее время является организация на данной территории биосферного заповедника водо-болотных экосистем как наиболее уязвимых в условиях аридного климата, в гидрографической системе Жидели.

Для определения оптимальных путей использования и сохранения видового и ценоотического биоразнообразия низовий Иле необходимы наблюдения за состоянием соответствующих экосистем в режиме мониторинга, сочетающие современные методы дистанционного зондирования территории, анализ текущих, ретроспективных и прогнозных метеоданных по региону и работу на местности на тестовых репрезентативных участках.

Литература

- 1 Жиркевич А.Н. Водный баланс озера Балкаш и перспективы его изменение в связи с использованием водных ресурсов Иле-Балхашского бассейна. КазНИГМИ. – 1972. – Вып. 44.
- 2 NELSON, R.F., 1983, Detecting forest canopy change due to insect activity using Landsat MSS. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 49, pp. 1303-1314.
- 3 Campbell, J. B. (2013). Introduction to Remote Sensing. Taylor and Francis, London and New York.
- 4 Bannari, A.D.; Morin, F.; Bonn, and Huete, A. R. A Review of Vegetation Indices. Remote Sensing Reviews. (13), 1995, pp. 95-120.
- 5 Manandhar, R., Odeh, I. O. A., and Ancev, T. Improving the Accuracy of Land Use and Land Cover Classification of Landsat Data using Post-classification Enhancement. Remote Sensing, 1(3), 2009, pp. 330-344.
- 6 R G Congalton and K Green. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. Lewis, Boca Raton, FL, 1999.
- 7 K Skidmore. Accuracy assessment of spatial information. In A Stein, F van der Meer, and B G F Gorte, editors, Spatial statistics for remote sensing, pages 197–209. Kluwer Academic, Dordrecht, 1999.
- 8 Кудеков Т.К., Голубцов В.В., Ли В.И. Современные изменения природной среды и гидрологический режим озера Балкаш // Гидрометеорология и экология. – №3. – 2005. – С. 5-13
- 9 Стародубцев В.М., Бурлибаев М.Ж. Попов Ю.М. Деградация почвенного покрова дельты р. Или в связи с регулированием стока // Проблема освоение пустынь. – 2003. – №4. – С.25-29
- 10 Стародубцев В.М., Некрасова Т.Ф., Попов Ю.М. Аридизация почв дельтовых равнин Южного Казахстана в связи с зарегулированием речного стока // Проблемы освоение пустынь. – 1978. – №5. – С.14-23
- 11 Вилесов Е.Н., Горбунов А.П., Морозова В.Н., Северский Э.В. Деградация оледенения и криогенез на современных моренах северного Тянь-Шаня // Криосфера Земли. – 2006. – Т. X. – № 1. – С. 69–73),
- 12 Магашева Р.Ю. Некрасова Т.Ф. Почвенно-гидрогеологические исследования в современной дельте реки Или при зарегулировании стока. Почвоведение в Казахстане. – Алма-Ата, 1973.
- 13 Плисак Р.П., Огарь Н.П., Султанова Б.М. Продуктивность и структура лугов пустынной зоны. – Алма-Ата: КазССР, 1989. – 187 с.
- 14 Плисак Р.П., Огарь Н.П., Султанова Б.М. Продуктивность и структура лугов пустынной зоны. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1989. – 187 с.

References

- 1 Zhirkevich A.N. Vodnyj balans ozera Balhash i perspektivy ego izmenenie v sajazi s ispol'zovaniem vodnyh resursov Ile-Balhashskogo bassejna. KazNIGMI. – 1972. – Vyp. 44.
- 2 NELSON, R.F., 1983, Detecting forest canopy change due to insect activity using Landsat MSS. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 49, pp. 1303-1314.
- 3 Campbell, J. B. (2013). Introduction to Remote Sensing. Taylor and Francis, London and New York.
- 4 Bannari, A.D.; Morin, F.; Bonn, and Huete, A. R. A Review of Vegetation Indices. Remote Sensing Reviews. (13), 1995, pp. 95-120.
- 5 Manandhar, R., Odeh, I. O. A., and Ancev, T. Improving the Accuracy of Land Use and Land Cover Classification of Landsat Data using Post-classification Enhancement. Remote Sensing, 1(3), 2009, pp. 330-344.
- 6 R G Congalton and K Green. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. Lewis, Boca Raton, FL, 1999.
- 7 K Skidmore. Accuracy assessment of spatial information. In A Stein, F van der Meer, and B G F Gorte, editors, Spatial statistics for remote sensing, pages 197–209. Kluwer Academic, Dordrecht, 1999.
- 8 Kudekov T.K., Golubcov V.V., Li V.I. Sovremennye izmenenija prirodnoj sredy i gidrologicheskij rezhim ozera Balhash // *Gidrometeorologija i jekologija*. – №3. – 2005. – S. 5-13
- 9 Starodubcev V.M., Burlibaev M.Zh. Popov Ju.M. Degradacija pochvennogo pokrova del'ty r. Ili v svjazi s regulirovanijem stoka // *Problema osvoenie pustyn'*. – 2003. – №4. – S.25-29
- 10 Starodubcev V.M., Nekrasova T.F., Popov Ju.M. Aridizacija pochv del'tovyh ravnin Juzhnogo Kazahstana v svjazi s zaregulirovanijem rechnogo stoka // *Problemy osvoenie pustyn'*. – 1978. – №5. – S.14-23
- 11 Vilesov E.N., Gorbunov A.P., Morozova V.N., Severskij Je.V. Degradacija oledeneniya i kriogeneza na sovremennyh morenah severnogo Tjan'-Shanja // *Kriosfera Zemli*. – 2006. – T. X. – № 1. – S. 69–73),
- 12 Magasheva R.Ju. Nekrasova T.F. Pochvenno-gidrogeologicheskie issledovanija v sovremennoj del'te reki Ili pri zaregulirovanii stoka. Pochvovedenie v Kazahstane. – Alma-Ata, 1973.
- 13 Plisak R.P., Ogar' N.P., Sultanova B.M. Produktivnost' i struktura lugov pustynnoj zony. – Alma-Ata: KazSSR, 1989. – 187 s.
- 14 Plisak R.P., Ogar' N.P., Sultanova B.M. Produktivnost' i struktura lugov pustynnoj zony. – Alma-Ata: Nauka KazSSR, 1989. – 187 s.