

¹Салмурзаулы Р.,
¹Нуртазин С.Т., ¹Икласов М.К.,
¹Байбагысов А.М.,
¹Конысбаев Т.Г., Удербаев Т.М.,
Шарахметов С.Е.,
²Мухитдинов А.М.,

¹Казахский национальный
университет им. аль-Фараби,
Казахстан, г. Алматы
²Казахский национальный
исследовательский технический
университет им. К.И. Сатпаева,
Казахстан, г. Алматы

Современное состояние и причины трансформации аквальных экосистем дельты реки Иле

¹Salmurzauly R.,
¹Nurtazin S.T., ¹Ikhasov M.K.,
¹Baybagysov A.M.,
¹Konysbaev T.G., ¹Uderbaev T.M.,
¹Sharahmetov S.E.
²Muhitdinov A.M.

¹Kazakh National University named
after Al-Farabi, Kazakhstan, Almaty
²Kazakh National Research Technical
University named after K.I. Satpayev,
Kazakhstan, Almaty

Current state and the reasons for the transformation of aquatic ecosystems of the Ile river delta

¹Салмурзаулы Р.,
¹Нуртазин С.Т., ¹Икласов М.К.,
¹Байбагысов А.М.,
¹Конысбаев Т.Г., Удербаев Т.М.,
Шарахметов С.Е.,
²Мухитдинов А.М.,

¹Казахский национальный
университет имени аль-Фараби,
Казахстан, г. Алматы
²Казахский национальный
исследовательский технический
университет им. К.И. Сатпаева,
Казахстан, г. Алматы

Иле өзені атырауындағы экожүйелердің қазіргі жағдайы мен трансформациясының себептері

Приводятся результаты изучения современного состояния и причин трансформации аквальных экосистем дельты реки Иле в период 1995-2015 гг. на основании данных по динамике водности и гидрологического режима Иле и изучения разновременных космических снимков региона. Анализ космических снимков различного разрешения территории дельты Иле позволил выявить перестройки гидрографической сети рукавов, протоков и озер реки Иле. Показаны тенденции снижения площади и обсыхания протоков и озер в трех основных системах в р. Иле (Топарской, Илейской и Жиделинской) на территории современной дельты.

Ключевые слова: гидрографическая сеть, дельта реки Иле, протоки, озера, озерная система, аквальные экосистемы, ГИС-технологии, методы ДЗЗ.

The study provides the results of modern state and the causes for the transformation of aquatic ecosystems of Ile river delta in the period from 1995 to 2015 years based on the data of water availability dynamics and hydrological regime of the Ile and study of multi-satellite images of the region. Analysis of satellite images of the delta area in varying resolution revealed adjustment in hydrographic network of branches, channels and lakes of the Ile delta. Downward trend in area and drying ducts and lakes in the three main systems of the Ile delta (Topar, Ile and Zhideli) are shown.

Key words: hydrographic network, the Ile river delta, streams, lakes, lake system, aquatic ecosystem, GIS technology, remote sensing methods

Мақалада Иле өзені атырауының қазіргі жағдайы мен аквальді экожүйелерінің трансформациясының себептерін зерттеу нәтижелері берілген. Зерттеу жұмысында 1995-2015 ж.ж. аралығындағы Иле өзенінің гидрологиялық режимі мен сулылық деңгейі бойынша мәлеметтер және аймақтың әртүрлі уақытта түсірілген ғарыштық суреттері қолданылды. Иле өзені атырауының әртүрлі рұқсаттағы ғарыштық суреттерінің анализі, Иле өзені салалары, сағалары мен Иле өзені көлдерінің гидрографиялық қайта құрылымдарын анықтауға мүмкіндік берді. Иле өзені қазіргі атырауының үш негізгі (Топар, Иле, Жиделі) жүйелері салалары мен көлдерінің кебуі мен аумағының қысқаруының тенденциясы көрсетілген.

Түйін сөздер: гидрографиялық жүйе, Иле өзенінің атырауы, салалар, көлдер, көлдер жүйесі, аквальді экожүйелер, ГАЖ-технологиялары, ЖҚЗ әдістері

**СОВРЕМЕННОЕ
СОСТОЯНИЕ И
ПРИЧИНЫ
ТРАНСФОРМАЦИИ
АКВАЛЬНЫХ
ЭКОСИСТЕМ ДЕЛЬТЫ
РЕКИ ИЛЕ**

Введение

Современная дельта Иле является наиболее обширной дельтой в Центральной Азии с высоким ценотическим разнообразием, представленным пустынными и пойменно-долинными биоценозами. Особенностью процессов формирования интразональных экосистем дельты Иле является их высокая динамичность и зависимость от гидрологического режима реки на фоне экстрааридного климата. Изучение изменений экосистем под влиянием внешних факторов представляет собой одну из центральных задач современной экологии, что определяет интерес к анализу причин трансформации биогеоценозов дельты реки Иле.

Ключевым фактором, определяющим состояние и динамику гидроморфных и полугидроморфных экосистем современной дельты Иле, является уменьшение водности и перестройка гидрологического режима реки Иле вследствие зарегулирования ее стока. С 1969 года, по данным измерений расхода воды на Капшагайском гидропосту, произошло значительное уменьшение стока Иле, вызванное заполнением Капшагайского водохранилища и возросшими водозаборами из реки Иле и ее притоков для ирригации на территории КНР и Казахстана. Если в период 1950-1969 гг., до перекрытия Иле, среднегодовой расход реки составлял 516 м³/сек, то в период 1970-1987 гг., в ходе заполнения Капшагайского водохранилища, он снизился на 28,2%, до 370,2 м³/сек. В перспективе водность Иле, по-видимому, продолжит снижаться, а потому весьма актуальным вопросом является, какие именно элементы сложной гидрографической сети в дельте Иле деградируют и исчезнут в ближайшем будущем, а какие имеют шансы сохраниться, пусть в редуцированном виде.

Исходя из вышесказанного, целью нашей работы являлось изучение перестройки гидрографической сети на территории дельты реки Иле в период 1995-2015 гг. и зонирование гидроморфных экосистем региона в зависимости от возможности их сохранения в перспективе.

Значительную часть дельты занимают обширные межрусловые понижения и волнистые равнины, ограниченные бугри-

сто-грядовыми песками. В периоды паводков они затапливаются, образуя мелководные озера и болота, которые до 60-х годов занимали около 50% площади современной дельты. Плоский рельеф Балкашской впадины и легкий гранулометрический состав почв (легкие суглинки, супеси, тонкозернистые пески), а также значительные колебания по годам водности Иле обуславливают изменчивость гидрографической системы: одни русла и протоки заиливаются и исчезают, другие увеличиваются, появляются новые. Также весьма динамична система озер и болот дельтовых территорий. Примерно в 120-130 километрах от

побережья озера Балкаш, в районе поселка Аралтобе, река Иле распадается на целый веер дельтовых протоков, которые образуют в современной дельте три основные гидрографические системы: Топарскую, Илейскую и Жиделинскую. Каждая из них, в свою очередь, разветвляется на более мелкие дельтовые протоки (рисунок 1).

Из перечисленных трех систем в настоящее время вода по Топарской системе не доходит до озера Балкаш, а от Илейской системы остался только один рукав Иле. Основной сток реки Иле, около 90%, распределяется по наиболее разветвленной Жиделинской системе.

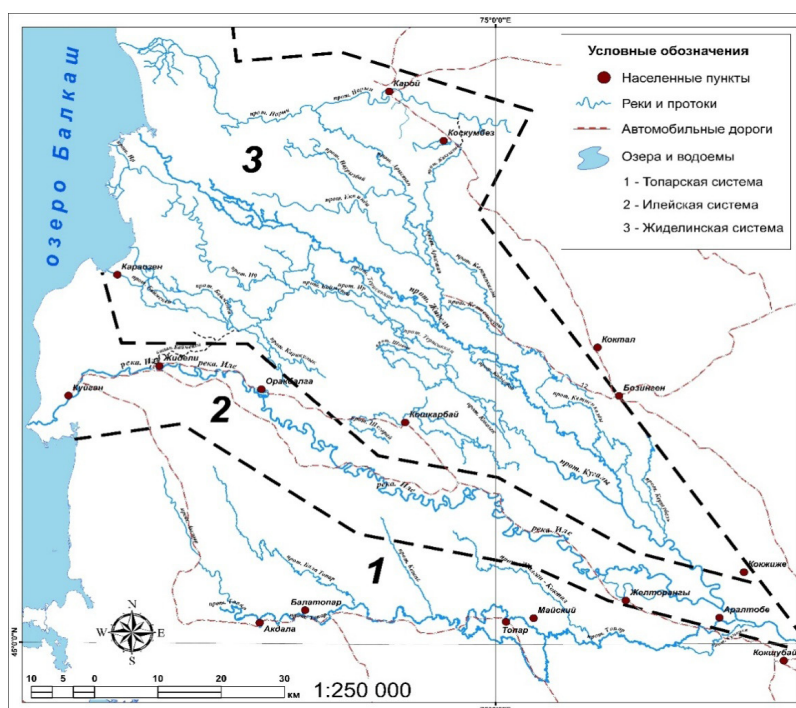


Рисунок 1 – Карта гидрографической сети дельты реки Иле

Материалы и методы

Учитывая сложное строение и большую площадь гидрографической сети протоков и озер дельты Иле, для изучения их современного состояния и тенденций изменений целесообразно широкое использование методов ДЗЗ и ГИС-технологий в сочетании с работами на местности. Известно, что в ходе подобных исследований во всем мире широко используются именно подобные методы [1, 2, 3].

При картировании аквальных экосистем Иле нами были использованы мультиспектральные спутниковые снимки высокого GeoEye's

OrbView-3 (1-4 метра), Sentinel (15 метр), ASTER (20 метр) и среднего Landsat TM; ETM+; OLI (30 метр) разрешения. Все использованные космические снимки были взяты с открытых официальных каталогов космического агентства США – NASA <http://landsat.gsfc.nasa.gov> и <http://earthexplorer.usgs.gov>, Европейского космического агентства – ESA <https://sentinel.esa.int/> а также Японского космического агентства – JAXA <http://global.jaxa.jp/>.

Предварительная обработка спутниковых снимков производилась с использованием общепринятых методов ГИС [4, 5]. Дешифровка водной поверхности дельтовых водоемов

и протоков производилась с использованием многоканальных спектральных индексов, в частности водные индексы **MNDWI** –модифицированный нормализованный разностный водный индекс, рассчитанной по формуле 3 на базе спутниковых снимков Landsat, Aster [6, 7]:

$$MNDWI = \frac{Green - Mir}{Green + Mir} \quad (3)$$

где *Green* – значение пикселя в зеленом канале спектра (0,51 – 0,55 мкм);

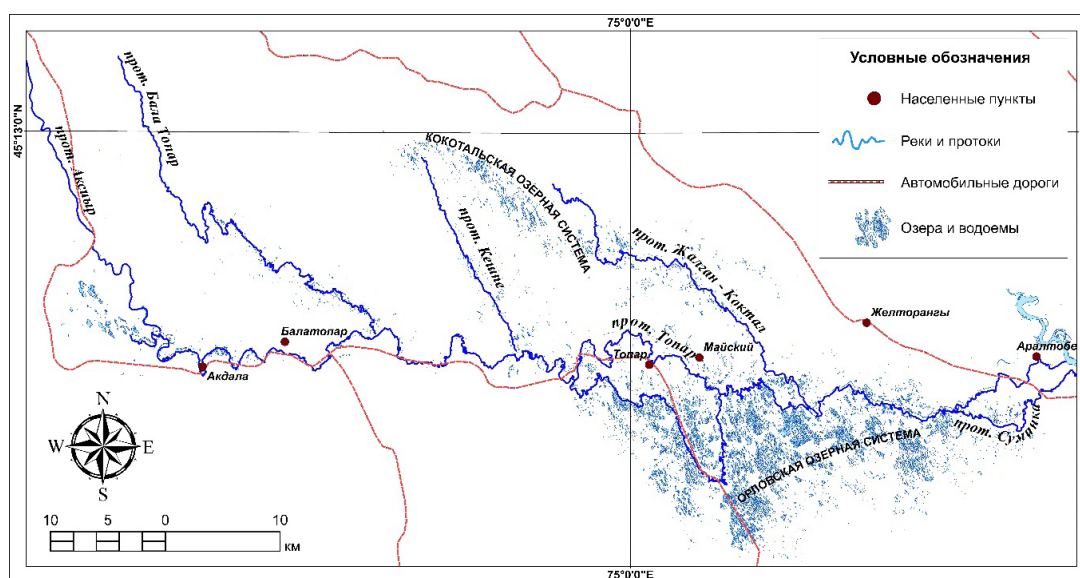
Mir – значение пикселя в среднем ИК-канале спектра (2,08 – 2,35 мкм).

Результаты собственных исследований

Дельтовые озера реки Иле по происхождению своих котловин неоднородны. Среди них наиболее многочисленную группу составляют озера в межгрядовых понижениях и котловинах. Это – плоские мелководные озера, озера-старицы, часто носящие временный характер. Есть среди них и проточные, они заиливаются, мелеют, зарастают тростником и превращаются в болота. В межгрядовых понижениях новые озера нередко возникают во время половодья. В прибалкашской полосе дельты имеются култучные озера, бывшие некогда заливами озера Балкаш.

Топарская система. Общая площадь Топарской системы составляет 2,5 тыс. км². Об-

разование системы приходится на конец XIV и начало XX столетия. В начале XX века протока Топар была многоводной, в 1941 г. по нему проходило 17,8% стока реки Иле. В 60-х годах, до начала строительства Капшагайского водохранилища, площадь Топарской озерной системы и водность ее основных протоков сильно сократилась. С этого времени протока Топар поддерживается искусственным путем. В настоящее время в данную протоку попадает не более 3-5% годового стока р. Иле. В период межени доля стока этой протоки уменьшается и при низких расходах не превышает одного процента. Это связано со слабо разработанностью русла Топаров, отличающегося большой изломанностью, вследствие пассивного следования рельефу местности. Данная протока Топар образуется от слияния протоков Суминка и Топар. Проток Суминка берет начало из р. Иле каналом, проложенным в 1984 г. и на двадцатом километре от своего истока он сливается с протоком Топар, который также берет начало каналом из р. Иле. Постоянные очистительные мелиоративные работы в этих каналах очень важны и играют ключевую роль в сохранения озер и прилегающих биоценозов в маловодный год. Так, например, в 1990 г., когда расход воды упал до 1 м³/с. Действующими протоками системы являются: Топар, Жаман-Коктал, Тентек, Кешпе, Белатопар (рисунок 2).



Карта составлена на основе данных космических аппаратов: Sentinel-1 и Landsat TM

Рисунок 2 – Карта гидрографической сети Топарской системы

Значительная часть стока Топарской системы расходуется на питание наиболее крупной левобережной Орловской озерной системы площадью около 450 км², а также на поддержание Кокталь-

ских озерных систем площадью до 110 км². В свою очередь, состояние Топарских озер влияет на стабильность общего состояния тугайных лесов и других прилегающих экосистем (рисунок 3).

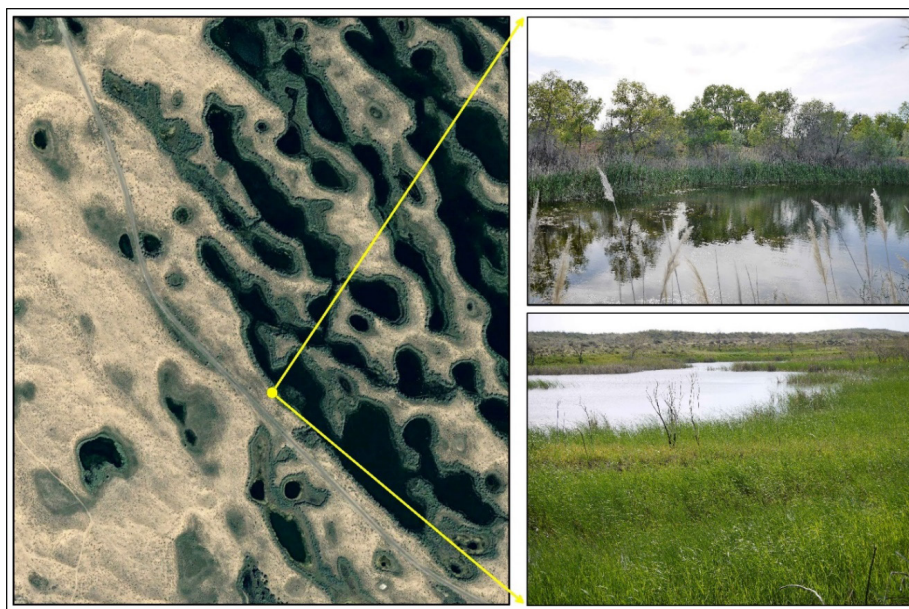


Рисунок 3 – Основные гидроморфные биоценозы Топарских озерных систем

С уменьшением поступления воды в Топары за последние годы обводненность этой территории заметно сократилась. К настоящему времени исчез ряд протоков, в частности Семизкульский, Сарыкумейский, Изенды, Самсоновский и Богодуховский, имевших связь с озером Балкаш, что привело к значительной потере заливаемых территорий в вершинной части Топарской системы. По результатам ДЗЗ, значительное затопление и наполнение озер наблюдается только при чрезвычайно высоком уровне водности Иле, как это было в 2010 году, когда общая площадь открытой водной поверхности Топарских озерных систем составила 135 км², не достигнув, однако, показателя 1948 года в 211 км². Это хорошо иллюстрирует степень деградации гидрографической сети протоки Топар и соответствующих озерных систем. За последние 20 лет, по результатам ДЗЗ, общая площадь озер сократилась на 12%, достигнув в 2015 году минимума в 35,2 км² (рисунок 4). При столь значительном уменьшении водности Топарской системы в 2015 году полностью высохла Коктальская озерная система, включая питающий проток Жалган-Коктал. Также частично высохла и подверглась засолению Орловская озерная система, что негативно

отразилось на прибрежной тугайной растительности и гидроморфных биоценозах.

Топарская озерная система является хрупко сбалансированной и крайне уязвимой. Сложный ландшафт бугристых песков в сочетании с жарким климатом пустыни при нехватке воды создает крайне экстремальные условия. Для поддержания Топарской озерной системы важное значение, помимо общей водности Иле, имеют дноуглубительные работы в истоках питающих протоков.

Жиделинская система, общей площадью около 4000 км², является самой молодой в современной дельте р. Иле. Она образовалась в начале 20-го столетия и отличается очень сложным строением. Главное русло с обеих сторон сопровождается многочисленными протоками и связанными с ними озерами. В настоящее время в нее попадает основная часть стока р. Иле. От протоки Жидели отделяется крупная протока Когалы, разветвляющаяся на более мелкие протоки Кокзек, Шегорай, Шыбык и Терисаккан, формирующие левую часть Жиделинской системы. Более мелкие протоки Жидели-Кертобель, Кетпенкалды и Арыстан формируют правую часть этой системы (рисунок 1).

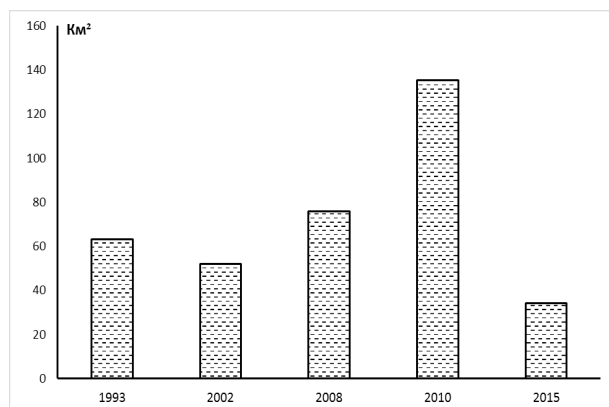


Рисунок 4 – Изменение общей площади Топарских озер по годам

Самая протяженная (103 км) протока Кетпенкалды питает южную часть дельты и озера в окрестностях поселков Бозинген и Коктал. Второй по величине проток Арыстан берет начало от Жидели и протекает 74 км по восточным равнинам дельты, прежде чем соединиться с протоком Нарын. Несмотря на скромные размеры, проток Арыстан дает начало трем важным для экосистем восточной части дельты протокам: Жаксылык (длиной 38,6 км), Наурызбай (41 км) и Епкинди (43 км). Проток Жаксылык питает озерные системы Жаксылык, Канбакты и Жалдыбай с общей площадью водной поверхности 26 км², а также 260 км² прилегающих к ним водно-болотных территорий. Берущая начало в середине протоки Арыстан, протока Наурызбай течет по хорошо разработанному руслу и впадает в Наурызбайскую озерную систему. Третий проток Епкинди относится к протокам временного затопления. Самой крупной и протяженной (160 км) протокой Жидели является Нарын, который впадает в Балкаш. Нарын питается от протоков Арыстан, Наурызбай и на абразионно-аккумулятивной равнине формирует Калдаяковскую озерную систему, а также озера Синее и Белое, общей площадью более 27 км².

Протока Жидели располагается в наиболее низкой части современной дельты. Русло ее малоизвилистое, по сравнению с протоками Иле и Топар, обрамлено слабовыраженными, низкими прирусловыми валами.

В последние 25 лет в системе Жидели наметилась тенденция сосредоточения стока в единое русло, что отчетливо заметно в спутниковых снимках. На верхнем участке системы большинство озер и питавшая их сеть мелких протоков оказались заполненными наносами. К ним от-

носятся протоки шириной не более 2 метров: Тамаша, Светлая, Кадырбай др. В настоящее время идет интенсивное заиливание истоковых участков протоков Кертюбель, Жаласар и Кетпенкалды, что ставит под угрозу существование всего правого крыла системы Жидели. Начала заиливаться и истоковая часть протока Жидели. С 1974 г. основной сток Иле проходит по левым протокам Жидели: Когалы и Иру.

Проток Когалы. Проток Когалы является главным в Жиделинской системе. Ширина протока Когалы, как правило, превышает 100 м, средние скорости течения около 1,0 м/с, максимальные достигают 2,0 м/с. Русло дифференцировано на более мелкие протоки. Общая длина протока Когалы составляет 321 км и от него отходят 4 крупных протока правого крыла дельты реки Иле. Протоки Кокозек (длиной 45 км) и Шегорай (91 км) охватывают обширную территорию западной части Жиделинской системы и заливают межгрядовые понижения и котловины. Протоки Шыбык (47 км) и Терисаккан (74 км), питающие озера междуречных равнин Когалы и Жидели, являются основными действующими протоками центральной части Жиделинской системы. До впадения в озеро Балкаш проток Кугалы распадается на несколько более мелкие вторичные протоки, образующие обширные болотные биотопы с многочисленными дельтовыми озерами, заросшими тростниковыми зарослями.

При анализе спутниковых снимков высокого разрешения видны мелкие протоки шириной порядка 1-3 метра. В низовьях дельты Иле самой крупной протокой является Иир. Длина ее до впадения в оз. Балкаш равна 10 км. Ниже системы оз. Айнаколь в Иир впадают справа 3 протоки с общим расходом воды порядка 70 м³/с. Самая крупная из них – Шыбык. Второй по величине проток в низовьях дельты реки Иле – Байменей, питающий тростниково-болотные биоценозы западной части дельты. При общей длине 140 км проток Байменей берет начало от протока Жидели и разветвляется на множество вторичных протоков. Воды притока Байменей питают озерную систему Майтан, а затем впадают в озеро Балкаш по протокам Караозек и Базарбай.

Протока Иле, наиболее старая в современной дельте, проходит посередине между системами Топар и Жидели. В недавнем прошлом она являлась непосредственным продолжением русла р. Иле и поэтому ее свободно меандрирующее русло отличается хорошей разработанностью. Прирусловые валы высокие, хорошо развиты. При входе в оз. Балкаш протока Иле образует

дельту выдвигания. В настоящее время данная протока не образует дельтовых разливов, а ее некогда многочисленные боковые рукава остаются сухими в течение всего года.

Дельтовые озера по происхождению своих котловин неоднородны. Среди них наиболее многочисленную группу составляют озера в межрядовых понижениях и котловинах. Это – плоские мелководные озера, озера-старицы, ча-

сто они носят временный характер. Есть среди них и проточные, они заиливаются, мелеют, зарастают тростником и превращаются в болота. В межрядовых понижениях озера часто появляются во время половодья. В прибалкашской полосе дельты имеются култучные озера, бывшие некогда заливами Балкаша. К ним относятся озера Семизколь, Подпашенное, Акколь и Кокколь (рисунок 5).

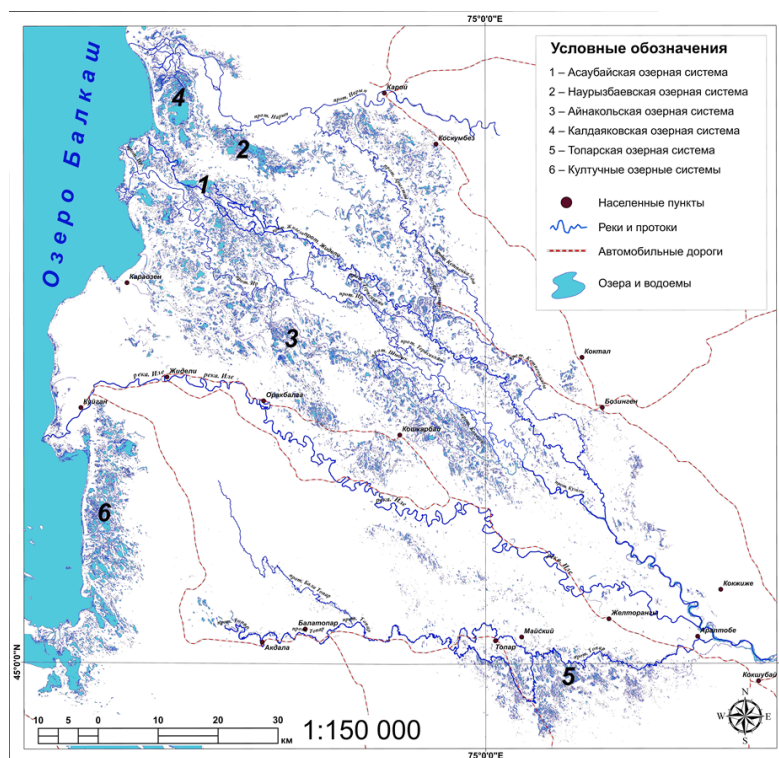


Рисунок 5 – Карта аквальных экосистем дельты реки Иле

В связи с зарегулированием стока р. Иле, за последние 20 лет количество озер в дельте р. Иле заметно сократилось. В системе Жидели сокращение количества и площади таких водоемов идет в двух направлениях. С одной стороны, проточные и пойменные озера заиливаются, с другой – в результате разработки основных русел, отшнуровываются более мелкие дельтовые протоки, питающие водой озера окраинных частей системы.

Учитывая уязвимость и высокую динамичность дельтовых озер, было проведено картирование аквальных экосистем с использованием космических снимков высокого и среднего разрешения за последние 20 лет в маловодные и многоводные годы. Жиделинская система,

как самая большая и хорошо развитая, включает около 80% всех дельтовых озер и основных протоков. Озера системы Жидели занимают плоские впадины междурядовых понижений и включают озера-старицы, представляющие затопленные водой остатки древних русел, к ним относятся озера Айнаколь, Коскызыл, Асаубай, Наурузбаевские, Богушиное. В Жиделинской системе нами был обнаружен ряд негативных изменений в таких озерных системах, как Асаубайская и Наурузбаевская. Асаубайская озерная система включает четыре озера: оз. Богушиное, оз. Асаубай, оз. Когалыколь и оз. Коккызыл. Озеро Коскызыл из-за зарегулирования стока высохло в 80-х годах прошлого столетия.

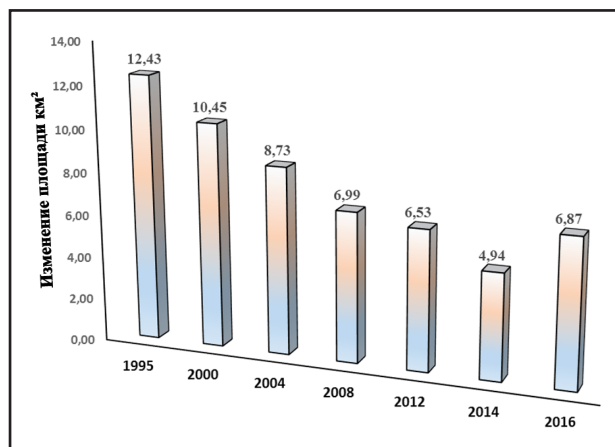


Рисунок 6 – Изменение площади озер Асаубайской системы по годам

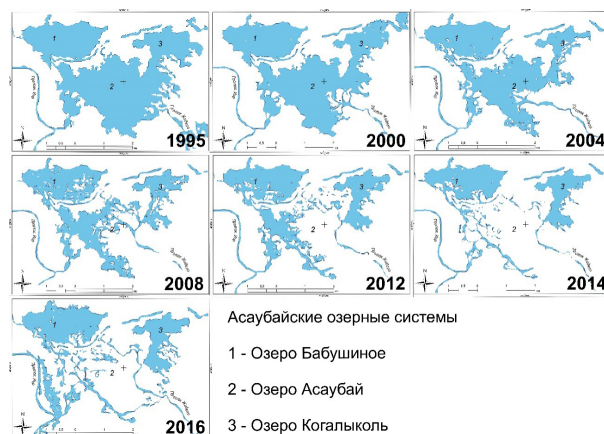


Рисунок 7 – Тренд сокращения площадей озерных систем Асаубай за последний 20 лет

В 60-х годах, до строительства Капшагайской ГЭС, общая площадь Асаубайских озер составляла 15 км² при средней глубине 3 метра. Асаубайские озера входили в состав дельтовых озер рыбопромыслового значения и как ценные нерестилища.

Кроме этого, данные озера считаются постоянными местообитаниями некоторых видов основных промысловых видов рыб, таких как сом обыкновенный, белый амур и сазан, а также как места гнездования многих перелетных птиц. Первые признаки сокращения площади Асаубайских озер стали заметны с начала 2000-х годов, в связи с уменьшением стока Жидели и перенаправлением основного стока в проток Когалы (рисунок 6). За последние 20 лет увеличение стока в Иир из озера Асаубай и уменьшение стока из протоки Жидели привели к сокращению площади Асаубайской озерной системы и к полному исчезновению озера Асаубай (рисунок 7).

По результатам проведенного картирования Асаубайской озерной системы в период с 2000 г.

по 2014 годы выявлена тенденция сокращения площади указанных озер, поверхность которых сократилась на 47%.

Заключение

Резюмируя вышесказанное, следует подчеркнуть, что обширная и сложная по структуре и объему поверхностных и грунтовых вод гидрографическая сеть дельтовых водотоков и водоемов играет важнейшую роль в существовании уникальной экосистемы дельты Иле и в поддержании стабильности уровня воды в оз. Балкаш. Многолетний тренд снижения речного стока и некоторого уменьшения атмосферных осадков в данном аридном регионе обусловил обмеление и отмирание многих протоков и озер гидрографической сети дельты, что ведет к сокращению видового и ценотического разнообразия на данной территории и требует разработки специальной программы по минимизации вызванных этими процессами последствий.

Литература

- 1 Комплексный дистанционный мониторинг озер / под ред. К.Я. Кондратьева. – Л.: Наука, 1987. – 288 с.
- 2 Андреева З.В. Верещака Т.В. Оценка экологического состояния акваторий (основная концепция) // Сборник статей по итогам научно-технических конференций / Приложение к журналу Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2011. – № 6. – Вып. 4. – С. 3–4.
- 3 Могилев Н.Ю. Исследование режима температуры поверхности озера Байкал с использованием регулярной спутниковой информации / Н.Ю. Могилев, Р.Ю. Гнатовский // География и природные ресурсы. – 2002. – С. 136–142.
- 4 Kanika K., Anil K.G. and Rhythm G. A Comparative Study of Supervised Image Classification Algorithms for Satellite Images // International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication. – 2013. – Vol. 1, Issue 10. – P. 10–16.
- 5 Congalton R.G., Green K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. – Lewis, Boca Raton, FL, 1999.

- 6 McFeeters S. K. The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features // *International Journal of Remote Sensing*. – 1996. – № 17. – P. 1425–1432.
- 7 YU, J., HUANG, Y. and FENG, X, Study on water bodies extraction and classification from SPOT image // *Journal of Remote Sensing*. – 2001. – VOL 5. – P. 214–219

References

- 1 Kompleksnyj distancionnyj monitoring ozer / pod red. K.Ja. Kondrat'eva. – L.: Nauka, 1987. – 288 s.
- 2 Andreeva Z.V. Vereshhaka T.V. Ocenka jeologicheskogo sostojanija akvatorij (osnovnaja koncepcija) // *Sbornik statej po itogam nauchno-tehnicheskikh konferencij / Prilozhenie k zhurnalu Izvestija vuzov «Geodezija i ajerofotos#emka»*. – 2011. – № 6. – Vyp. 4. – S. 3–4.
- 3 Mogilev N.Ju. Issledovanie rezhima temperatury poverhnosti ozera Bajkal s ispol'zovaniem reguljarnoj sputnikovoj informacii / N.Ju. Mogilev, R.Ju. Gnatovskij // *Geografija i prirodnye resursy*. – 2002. – S. 136–142.
- 4 Kanika K., Anil K.G. and Rhythm G.A Comparative Study of Supervised Image Classification Algorithms for Satellite Images // *International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication*. – 2013. – Vol. 1, Issue 10. – P. 10–16.
- 5 Congalton R.G., Green K. Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices. – Lewis, Boca Raton, FL, 1999.
- 6 McFeeters S. K. The use of Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features // *International Journal of Remote Sensing*. – 1996. – № 17. – P. 1425–1432.
- 7 YU, J., HUANG, Y. and FENG, X, Study on water bodies extraction and classification from SPOT image // *Journal of Remote Sensing*. – 2001. – VOL 5. – R. 214–219