



Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ТИХООКЕАНСКИЙ ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ
Дальневосточного отделения Российской академии наук
(ТИГ ДВО РАН)

ПОПОВА Анна Юрьевна

**«ТРАНСФОРМАЦИЯ ТИПОВ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В БАССЕЙНЕ
ОЗЕРА ХАНКА (В СВЯЗИ С КЛИМАТИЧЕСКИМИ И
АНТРОПОГЕННЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ)»**

Специальность 25.00.36 Геоэкология

Научно-квалификационная работа аспиранта III года обучения

Научный руководитель:
кандидат географических наук,
Качур Анатолий Николаевич

Владивосток

2021

Оглавление	
ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1 Физико-географическая характеристика Приханкайской равнины.	7
1.1. Физико-географическое положение Приханкайской равнины.....	7
1.2. Озеро и его водосборный бассейн	7
1.3. Гидрологический режим	11
1.4. Климат.....	19
1.5. Биота.....	21
Глава 2. Природопользование в бассейне озера Ханка.....	23
2.1. История природопользования Приханкайской равнины.....	23
2.2. Современные проблемы устойчивого развития бассейна оз. Ханка	32
2.2.1. Освоение озера Ханка	32
2.2.2. Рисосеяние на Приханкайской низменности.....	34
2.3. Экологическое состояние бассейна оз. Ханка с выявлением зон экологического неблагополучия и потенциальные источники загрязнения.	38
2.4. История деградации озера	40
2.4.1. Проблемы, связанные с природными условиями.....	40
Глава 3 Особенности загрязнения водных экосистем микропластиком...	46
3.1 Виды и источники поступления микропластика в водную среду	47
3.2 Фрагментация и деградация	49
3.3 Источники поступления микропластика в водную среду	50
3.4 Производители и преобразователи	51
3.5 Наземные секторальные потребители	52
3.5.1 СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО	52
3.5.2 СТРОИТЕЛЬСТВО.....	54
3.5.3 ИНДУСТРИЯ ТУРИЗМА	56
3.5.4 РЫБОЛОВСТВО.....	57
3.5.5 АКВАКУЛЬТУРА	58
3.5.6 СУДОХОДСТВО	60
3.5.7 ТЕКСТИЛЬ И ОДЕЖДА.....	60
3.5.8 ТВЕРДЫЕ ОТХОДЫ.....	61

3.5.9 СТОЧНЫЕ ВОДЫ	62
3.6 Реки - как точки входа в океан	62
Глава 4 Материалы и методы.....	64
4.1 Методика отбора проб.....	65
Глава 5 Результаты и обсуждения	68
Выводы	73
Список литературы	74
ПРИЛОЖЕНИЕ	78

ВВЕДЕНИЕ

Бассейн озера Ханка и само озеро обладают богатым природно-ресурсным потенциалом и имеют большое международное значение как территория, сохраняющая уникальное разнообразие Северо-Восточной Азии, поскольку является ключевым участком Азиатского миграционного пути, а также представляет значительный интерес с позиции экономики северо-востока КНР и Дальнего Востока России [2].

Китайское название озера «Синкай», изначально на языке манзу, означало «вода, текущая с высоты вниз». Озеро Ханка образовалось в результате разлома и затопления коры и выброса базальтовой лавы. Еще в палеозойскую эру движение земной коры привело к тому, что геосинклиналь складывалась и набухала, образуя разломный пояс Мидун, который был ответвлением Восточного рифта. В конце мезозойской эры (около 65 миллионов лет назад) часть фундамента рифта разорвалась и утонула, что сопровождалось вулканической деятельностью, образующей осадки вулканических фрагментов и осадки континентальных фрагментов, когда озеро возникло в котловине. Земля снова опустилась из-за неотектонизма в третичном периоде и четвертичном периоде, а поверхность озера расширилась. Позже озеро сжалось в позднем плейстоцене, а пластинчатые и поясоподобные песчаные курганы разделили озеро на две части [30].

Бассейн озера Ханка является одним из важнейших в Приморском крае районов сельскохозяйственного и промышленного производства. Здесь сосредоточено около половины (47%) пашни и более 60% орошаемых земель Приморья. С ним связаны во многом и перспективы дальнейшего экономического развития не только Приморского Края, а и во многом Дальнего Востока России. В тоже время бассейн озера Ханка признан международным сообществом как один из важнейших регионов планеты с точки зрения сохранения мирового биоразнообразия (включен в перечень

Рамсарской конвенции), как один из крупнейших в северо-восточной Азии водно-болотных угодий, центр гнездования большого ряда редких и исчезающих птиц. В пределах российской части бассейна расположены уникальные природные комплексы международного значения: прилегающие к озеру водно-болотные угодья и остепненные дубовые леса и редколесья с участием сосны могильной. В юго-восточной части бассейна сохранились остатки уссурийских широколиственно-кедровых лесов. Из особо охраняемых природных территорий здесь имеется Ханкайский заповедник. Бассейн озера Ханка является зоной интенсивного хозяйственного освоения на протяжении последних 130 лет. Интенсивное развитие, как в российской, так и китайской части, экономики, сельскохозяйственного направления привело к появлению здесь в последние десятилетия ряда негативных экологических последствий: загрязнение поверхностных и, отчасти, подземных вод, эрозии почвенного покрова, резкому уменьшению водно-болотных угодий и связанное с этим обеднение биоразнообразия [10].

Актуальность: Устойчивое природопользование – ключевой момент устойчивого, рационального, сбалансированного, экономически и экологически оптимального развития территории. Бассейн оз. Ханка является уникальным в природном, культурно-историческом, социальном и геополитическом плане. В связи с климатическими и антропогенными изменениями, проблема трансформации типов природопользования выходит на первое место.

Предполагаемая научная новизна: Впервые рассматривается антропогенная нагрузка на геосистемы, как наиболее ёмкий, наглядный и результативный показатель в определении и характеристике экологического состояния целостного трансграничного бассейна. Впервые исследуются данные о микропластическом загрязнении трансграничной территории пресноводного бассейна озера Ханка.

Целью работы является сбор и обобщение данных, связанных с гидрологическими изменениями, гидрохимическим загрязнением и загрязнением микропластиком бассейна озера Ханка. А также изучение и сравнение типов природопользования с начала освоения данной территории до настоящего времени. В соответствии с целью были сформулированы следующие задачи:

1. Рассмотреть проблемы гидрологического режима озера Ханка, связанные с антропогенной деятельностью и климатическими изменениями.
2. Оценить общее экологическое состояние бассейна озера Ханка, определить основные источники антропогенного загрязнения.
3. Проанализировать потенциальные источники загрязнения водной среды микропластиком. Рассчитать концентрацию микропластика на основе отобранных проб в 2019-2020 гг.

Глава 1 Физико-географическая характеристика Приханкайской равнины

1.1. Физико-географическое положение Приханкайской равнины

Приханкайская равнина располагается вокруг озера Ханка, а также включает прилегающие участки долины среднего течения р. Раздольная и Уссури-Раздольненское междуречье. Приханкайская низменность является частью лесостепной зоны Восточной Азии и занимает территорию одноименной аллювиально-озерной равнины, в центральной части самой большой пресноводный водоем юга Дальнего Востока оз. Ханка. Лесостепь простирается от г. Уссурийска до пгт. Лучегорска почти на 350 км, ее максимальная ширина составляет 150 км. Северо-западная часть лесостепи находится на территории КНР. С запада она ограничена восточными отрогами Пограничного хребта, с востока низкогорьем Синего хребта, на севере - низовьями реки Бикин. На юге Приханкайская равнина с широтной сопкой долины р. Раздольной, Низовья этой реки соединяют Приханкайскую равнину с прибрежной низменностью побережья залива Петра Великого [13].

1.2. Озеро и его водосборный бассейн

Озеро Ханка образовалось в результате разрушения и опускания земной коры. Озеро позже уменьшилось в эпоху позднего плейстоцена, с появлением пластинчатых и поясообразных песчаных насыпей, которые разделяли озеро на две части, а также отделяли бассейн реки Мулинхэ от бассейна озера Ханка. Площадь озера колеблется от 3 940 до 5 010 км², что отражает колебания количества осадков между сезонами и годами. Средняя глубина и объем озера составляют 4,5 м и 18,3 км³, соответственно, а его максимальная глубина и объем составляют 10,6 м и 22,6 км³ соответственно. В таблице 1 представлена сводка некоторых ключевых морфологических характеристик озера и его бассейна [29].

Озеро Ханка / Синкай мелкое, с большей глубиной в северной части и меньшей глубиной в южной части. Хотя на некоторых участках вдоль западного берега озера есть крутые скалистые утесы (несколько десятков метров в высоту), большая часть берега озера низкая и заболоченная, что отражает изменчивый характер поверхности озера. Рельеф водосборного бассейна озера характеризуется переходом от горных хребтов среднегорного и низкогорного рельефа к зоне курганного и бугристого рельефа и, как следствие, к высоким и низким аккумулятивным равнинам. В целом бассейн довольно равнинный, особенно в северной и восточной частях, что способствует сложной гидрологии района [2, 29].

Таблица 1

Основные морфологические характеристики озера Синкай / бассейна Ханка [2]

Площадь зеркала при высшем уровне без ветровой денивеляции (390 см) над нулем графика	5010 км ²
То же при среднем многолетнем уровне (290 см)	4070 км ²
То же при низшем уровне (150 см)	3940 км ²
Объем воды при высшем уровне	22,6 км ³
То же при среднем многолетнем уровне	18,3 км ³
То же при минимальном уровне	12,7 км ³
Площадь зеркала, ограниченная изобатами при среднем многолетнем уровне:	
0–1 м	62 км ² (1,5%)
0–2 м	236 км ² (5,8%)
0–3 м	482 км ² (11,8%)
3–5 м	1955 км ² (45,6%)
5–6,5 м	1733 км ² (42,6%)
Длина продольной (большой) оси при среднем многолетнем уровне	90 км
Наибольшая длина озера по преобладающему направлению ветра в безледоставный период (ЮЮЗ)	87 км
Средняя ширина озера	45 км
Наибольшая ширина (по перпендикуляру к продольной оси)	67 км
Средняя глубина при высшем уровне без ветровой денивеляции	4,51 м
То же при среднем многолетнем уровне	4,50 м
То же при низшем уровне	3,22 м
Наибольшая глубина при среднем многолетнем уровне	6,50 м*
Отношение длины озера к средней ширине	2,00
Отношение площади зеркала (при среднем уровне) к средней глубине	904
Длина береговой линии при среднем многолетнем уровне	308 км

Коэффициент развития береговой линии	1,36
Площадь бассейна (без зеркала озера)	16890 км ²
То же без бассейна озера Малая Ханка	15820 км ²
Отношение площади водоема к площади бассейна (без оз. Малая Ханка)	25,7%
Отношение объема озера (при среднем многолетнем уровне) к годовому притоку воды	9,4
Отношение объема озера (при среднем многолетнем уровне) к годовому стоку воды	9,9

Точно определить водосборный бассейн озера Ханка сложно как из-за природных условий, так и из-за воздействия человека. В отсутствие каких-либо проектов водоотведения естественный водосборный бассейн озера показан более темной областью на Рисунке 1; а именно, территория, где реки естественным образом впадают в озеро. Этот «главный бассейн» площадью 21 766 км² содержит примерно 23 реки, впадающие в озеро; 8 из Китая и 15 из России. Река Сунгача - единственная река, вытекающая из озера, впоследствии впадающая в реку Уссури и далее в систему реки Хейлонг / Амур, наконец впадая в Тихий океан в Татарском проливе [29].

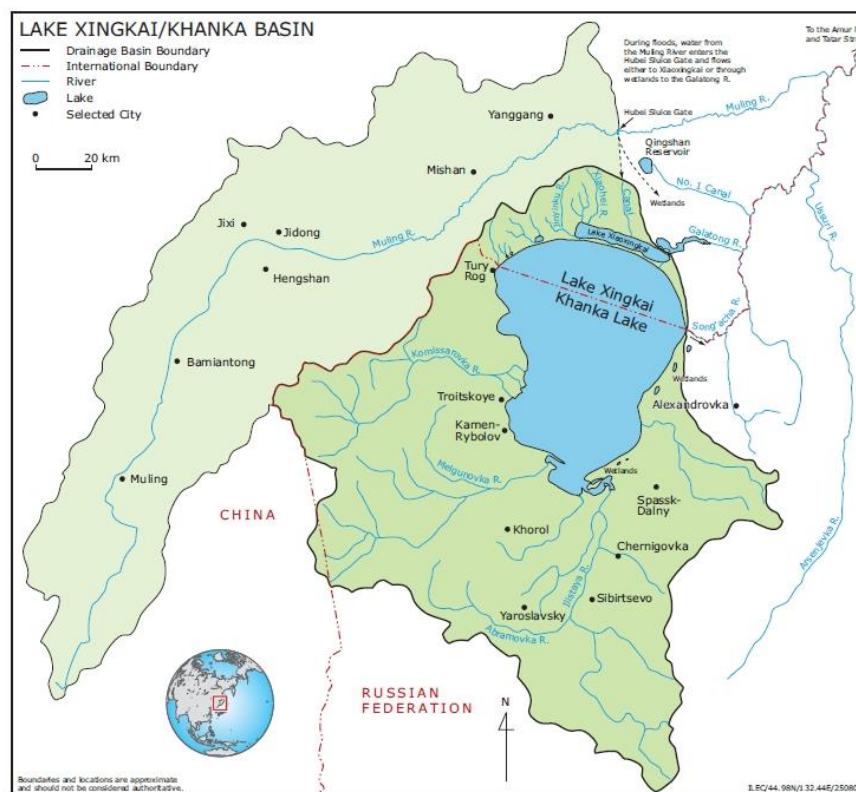


Рис. 1 Бассейн озера Ханка [29]

Строительство отводных каналов и шлюзов на реке Мулинхэ (обозначено более светлым цветом на Рисунке 1 резко изменило «гидрологию бассейна Ханка, позволив части паводковых вод бассейна реки Мулинхэ войти в бассейн Ханки. Река Мулинхэ берет начало в горах Воджи и протекает через несколько крупных и малых городов, включая Мулинг, Лиси, Илдонг, Мишань и Хулин, и впадает в реку Уссури. Река Мулинхэ, площадь бассейна которой составляет 15 184 км², имеет годовой сток 2,2 км³. К сожалению, в этом бассейне очень мало очистки сточных вод. Вдоль берегов реки Мулинхэ построены плотины для защиты от наводнений, чтобы предотвратить затопление сельскохозяйственных угодий во время дождливого периода. Более того, что наиболее важно, для озера Ханка, возле деревни Хубэй (20 км к востоку от Янгана) был построен водозаборный шлюз для защиты возделываемых земель в нижнем течении бассейна Мулинхэ. Шлюз открывается, когда уровень воды в реке превышает критические значения. Воды паводка отводятся по одному из двух разных путей: (а) через канал отвода наводнения Муксин, канал Дондихэ, водно-болотные угодья, озеро Малая Ханка, Ханку, реку Сунгача или (б) через канал отвода наводнения Муксин, канал Дондихэ, водно-болотные угодья, реку Галатонг и реку Сунгача. Выбор пути зависит от сезонных условий: канал Дондихэ впадает в небольшое озеро через водно-болотные угодья и вересковые пустоши в сезон дождей, но впадает в реку Галатонг через водно-болотные угодья в обычные и засушливые сезоны. Следует отметить, что только первый путь ведет к прямому сбросу воды в озеро Ханка, тогда как второй путь идет более северо-восточным путем, минуя само озеро [29, 30].

Приблизительно 0,65 км³ воды попадает в канал Дондихэ из реки Мулинхэ каждый год. Поскольку поток воды в реке Мулинхэ контролируется осадками, поток воды у ворот Хубэй заметно меняется как сезонно, так и ежегодно. В засушливые годы через шлюзовые ворота Хубэй нет потока.

Что касается связи между Малой и Большой Ханкой, то между ними находится естественный песчаный вал Курган имеет длину примерно 35 км, высоту 75 м над уровнем моря (5-6 м над средним уровнем озера, 10 м шириной наверху и 60-70 м у основания, на нем растут первобытные леса. В сентябре 1976 года между большим и малым озерами был построен крупномасштабный гидротехнический шлюз, который позволяет паводковым водам бассейна реки Мулинхэ впадать в озеро Ханка. Вода поступает в озеро по трем основным путям, включая (а) сток из рек в «основном» бассейне (0,12 км³): (б) отвод из канала Дондихэ (0–4 км³); и (в) прямые осадки (0,08 км³). Вода покидает Малую Ханку через четыре основные пути, в том числе (а) поток через водозаборный шлюз в Большую Ханку (0,31 км³), (б) ирригация (0,25 км³), (в) сток к реке Синкаил (0,02 км³); и (г) испарение (0,17 км³) [29, 30].

1.3. Гидрологический режим

Гидрологический режим озера Ханка, его ёмкостные характеристики определяют природные и антропогенные факторы. К природным факторам можно отнести атмосферные осадки, речной сток, испарение с водной поверхности озера. К антропогенным факторам относятся хозяйственная деятельность на водосборной площади озера и переброска стока. Как сказано выше, водосбор трансграничного озера Ханка расположен на территории Приморского края России (большая часть) и провинции Хейлунцзян Китая. Вытекающая из озера р. Сунгача является притоком трансграничной р. Уссури, которая впадает в р. Амур в районе г. Хабаровск. Значительный вклад в аномальный рост уровня озера Ханка дает переброска стока р. Мулинхэ в бассейн озера Малая Ханка и затем в озеро Ханка [1, 2].

Подъём уровня воды в озере на 1,2 м в течение нескольких лет привёл к различным последствиям для его восточных и западных берегов. На западном побережье в районе от села Турий-Рог до Камень-Рыболова абразивно-денудационные и абразивные процессы с максимальной эрозией

берегов проявились наиболее интенсивно. На восточном побережье произошло в основном затопление территории и повышение уровня грунтовых вод. Разрушение побережья продолжается в результате оползневых процессов и проявлений плоской и линейной эрозии на уступах. При пересчете осадков в объемных единицах (км³) с использованием площади зеркала озер Ханка и Малая Ханка при среднемноголетнем уровне получим представление о масштабах прихода влаги в озеро из атмосферы. Средний объем осадков на озеро составляет 2,45 км³. Доля этого прихода в общем объеме озера составляет в среднем около 13 %. Средние характеристики годовых осадков по этим станциям за 1981–2010 гг. изменились всего на 1–4 мм, а средние месячные – на 0–8 мм [1, 4].

Характер естественных колебаний уровня озера Ханка определяется особенностями гидрологического режима водосборной территории, строения гидрографической сети и морфологии озера. Водосбор трансграничного озера Ханка расположен на территории Приморского Края России (большая часть) и Китайской провинции Хейлуцзян (Рис. 1). Вытекающая из озера р. Сунгача является притоком трансграничной р. Уссури, которая впадает в р. Амур в районе г. Хабаровск [8].

Основное питание озеро получает за счет дождевых осадков, как в виде поверхностного притока, так и осадков, выпадающих непосредственно на водную поверхность. Особенностью режима озера является то, что среднемноголетний слой испарения с водной поверхности примерно равен слою осадков, и корреляция между этими величинами отсутствует. Озеро неглубокое, и вдольбереговой транспорт наносов, осуществляющийся в форме кос и гряд, может существенно изменять условия стока воды из озера. На условия стока из озера также может влиять гидравлический подпор, возникающий в результате впадения в р. Сунгача притоков, сбросных каналов, а также за счет подъема уровней в р. Уссури при прохождении паводков. Комплекс естественных факторов, обусловленных вариациями климата, а также антропогенное влияние в виде объема забираемых и

дополнительно сбрасываемых вод, приводят к возникновению условий, способствующих аномальному росту уровня воды озера [8].

Высокая аномалия осадков наблюдалась на юге Приморского края России в 2015-2016 гг. В конце августа 2015 года и летом 2016 года после прохождения тайфуна «Гони» на юге Приморского края 26 августа 2015 года наблюдалось значительное повышение уровня воды в озере Ханка. Повышение уровня озера и затопление прилегающих земель продолжалось до лета 2016 года и продолжается последнее время, что больше не связано с прохождением сильных тайфунов. Это в основном связано как с экстремальным увеличением количества осадков осенью 2015 года, так и с снегом зимой 2016 года в бассейне озера Ханка, особенно над Пограничным хребтом, и положительной десятилетней аномалией среднего количества осадков с января по август в течение предыдущего долгосрочного периода 2004–2015 годов (по данным Пономарева В.) (ТОИ ДВО РАН). Также происходят трансформации экосистем в условиях изменения климата, всё это наносит не только экологический, но и экономический ущерб населению, а также предприятиям и населённым пунктам на прилегающих к озеру территориях [7, 16].

Наименее точно из всех компонент водного баланса озера оценивается испарение с водной поверхности, так как данная величина непосредственно на озере не измеряется. Стандартные наблюдения за испарением с водной поверхности ведутся на сети Росгидромета с помощью испарителя ГГИ-3000, но эти приборы расположены на суше, и их данные не всегда репрезентативны. Результаты наблюдений за испарением позволяют говорить о наличии заметного тренда на снижение в последние 30 лет (Рис.2). Тренд в ряду величин испарения и высокая автокорреляция могут служить дополнительными факторами возникновения естественного затяжного периода повышения уровня воды в озере Ханка в последние десятилетия.

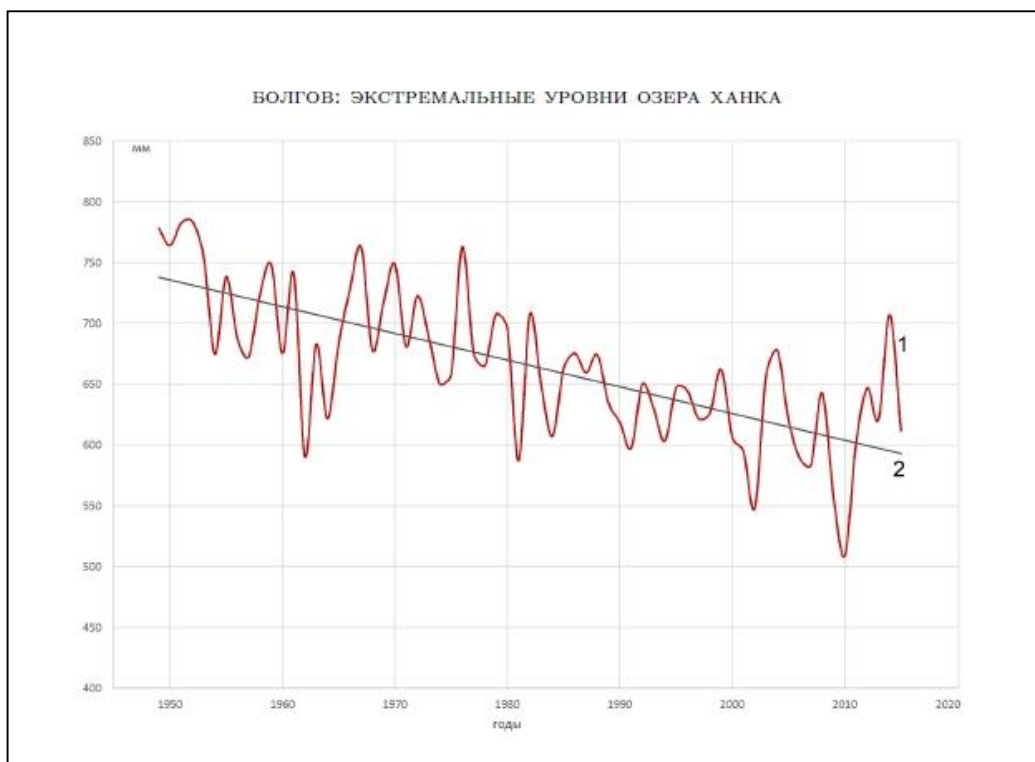


Рис. 2 Испарение с водной поверхности озера Ханка. 1 – испарение, 2 – линейный тренд [8].

С помощью программы Global Surface Water Explorer можно провести оценку изменений гидрологических параметров водных объектов (в нашем случае оз. Ханка). На рис. 3, 4, 5 показаны территории озера, которые подверглись наиболее сильному гидрологическому изменению. Ярко зелёным цветом на карте указано новое постоянное, начиная с 2016 года, наличие воды. Жёлтым цветом обозначен сезонный приход воды. Собранные программой данные показывают, что с 2016 г. по настоящее время, увеличилась площадь территории, подвергнувшаяся затоплению.

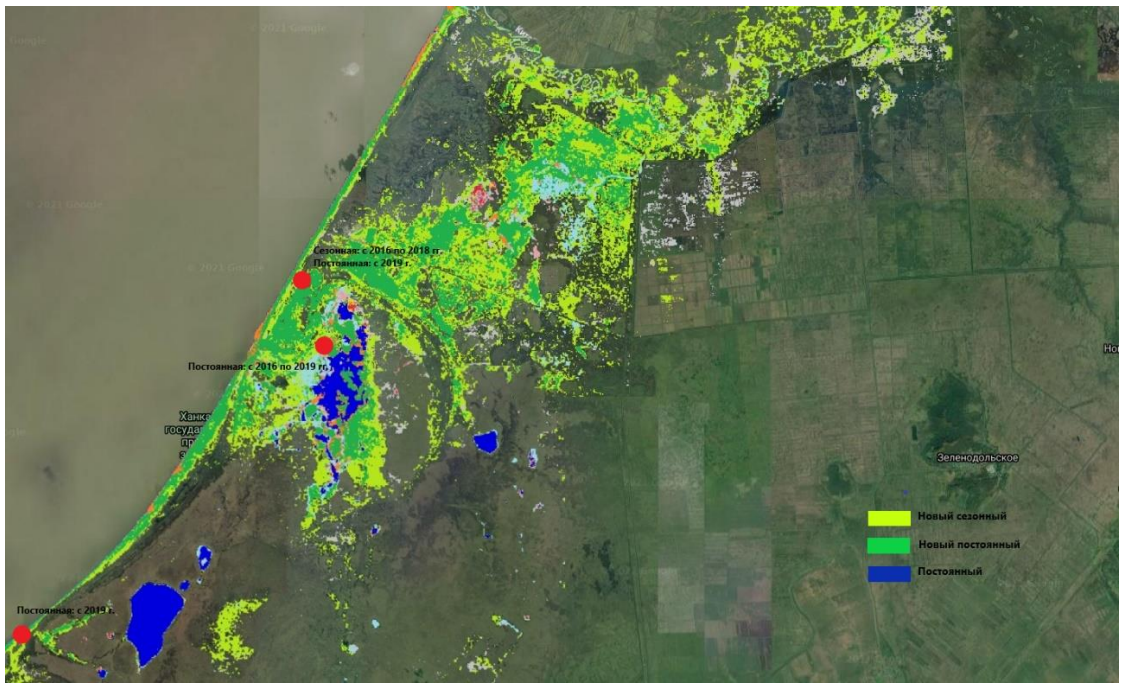


Рис. 3 Места затопления прилегающих территорий (Global Surface Water Explorer)

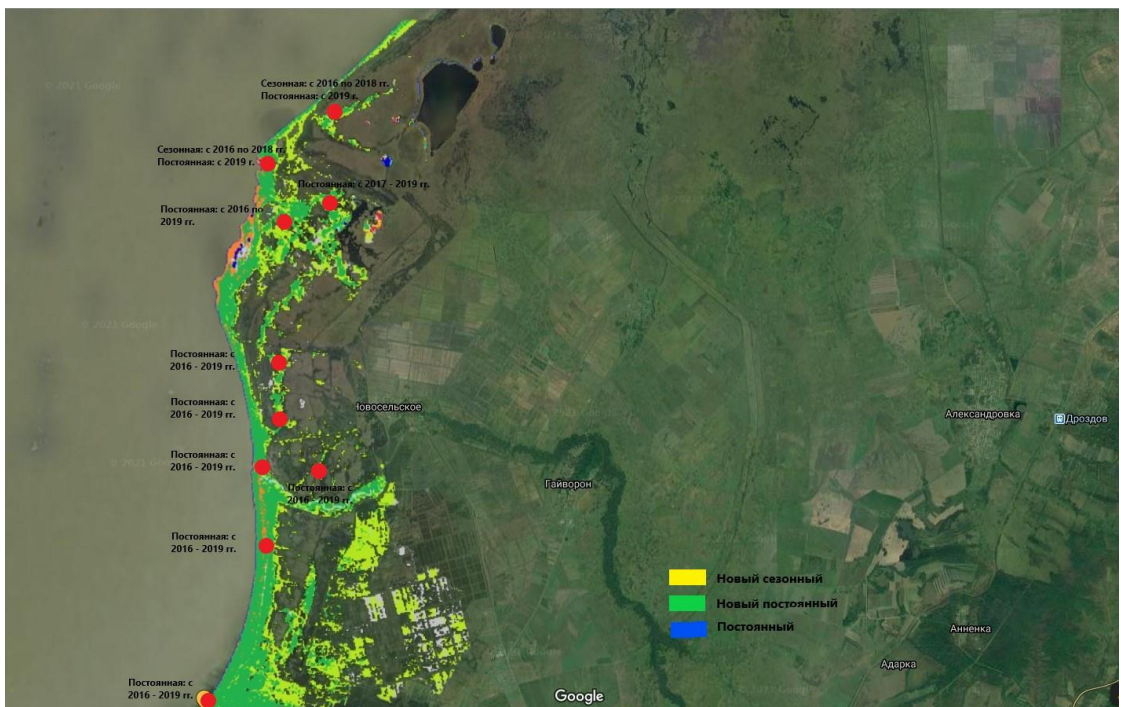


Рис. 4 Места затопления прилегающих территорий (Global Surface Water Explorer)

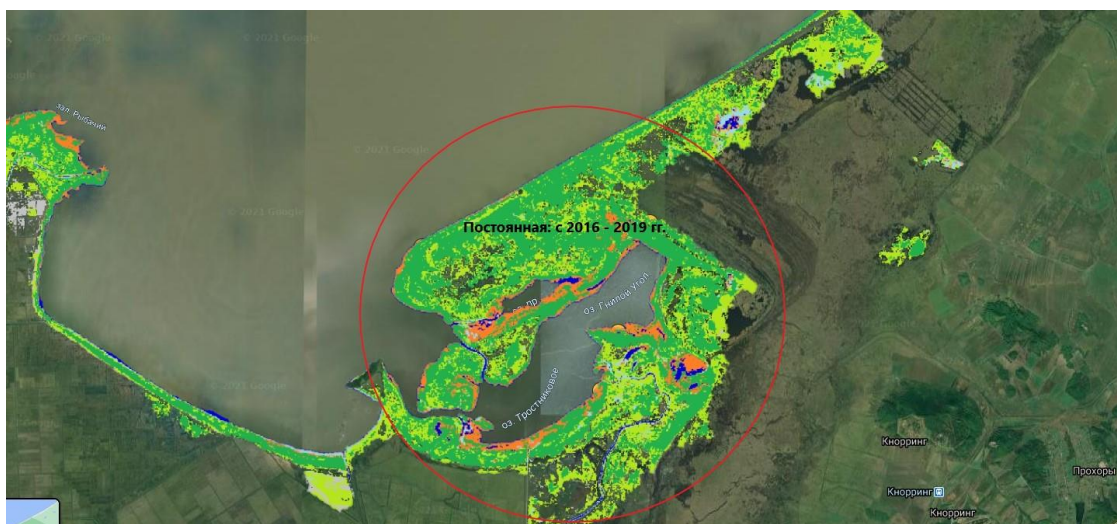


Рис. 5 Места затопления прилегающих территорий (Global Surface Water Explorer)

В последние 10 лет в режиме уровня оз. Ханка наметилась тенденция его непрерывного повышения (рис. 6). Основным антропогенным фактором, влияющим на уровень озера, является использование водных ресурсов на китайской части бассейна озера Ханка и реке Мулинхэ. Основное назначение системы использования водных ресурсов КНР на оз. Ханка, Малая Ханка и р. Мулинхэ заключается в борьбе с наводнениями и в обеспечении водой рисовых оросительных систем (РОС), площадь которых составляет более 0,66 млн га. Водоресурсная система включает:

- вододелиитель на р. Мулинхэ;
- канал Мусин, подающий воду из реки Мулинхэ в район расположения РОС и бассейн Малой Ханки;
- распределительное водохранилище;
- два сбросных канала, отводящих воду из водохранилища на РОС и в р. Сунгача;
- оз. Малая Ханка, используемое как водоем-накопитель;
- три гидротехнических сооружения (ГТС) на перешейке между оз. Малая Ханка и оз. Ханка, осуществляющие сброс излишков воды и перекачку воды из озера Ханка в Малую Ханку.

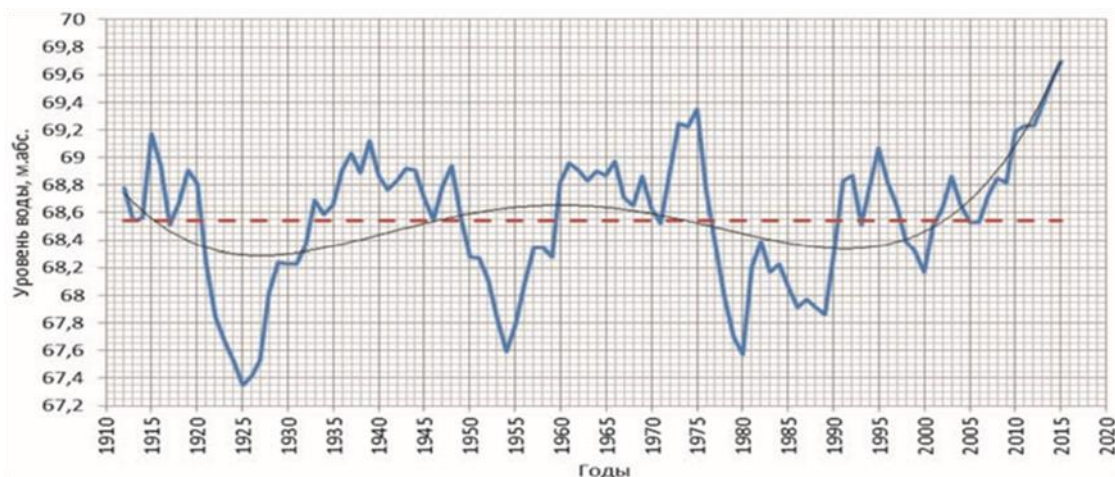


Рис. 6 Динамика среднегодового уровня воды в озере Ханка [7].

Вододеление осуществляется с помощью регулирующего сооружения на р. Мулинхэ и канала Мусин, по которому вода этой реки направляется в сторону оз. Ханка. Основное назначение водodelителя – подача воды в систему водохранилищ (включая оз. Малая Ханка) для дальнейшего использования на оросительных системах, а также защита от затопления территорий в бассейне р. Мулинхэ ниже водodelителя при прохождении дождевых паводков. За счет подпора, создаваемого водodelителем, значительная часть стока р. Мулинхэ направляется в канал Мусин (другое название – японский канал), на котором регулирующие сооружения отсутствуют. Ширина канала в районе автодорожного моста составляет около 60 м. Канал Мусин в нижней части разветвляется на несколько рукавов, часть которых заканчивается в оз. Малая Ханка. Основной рукав канала Мусин заканчивается водохранилищем, связанным с оз. Малая Ханка несколькими протоками. Из водохранилища часть воды используется непосредственно на примыкающих оросительных системах, а остальная вода отводится двумя каналами в р. Сунгача, по пути распределяясь также на оросительные системы. Сбросы воды с оросительных систем также осуществляются в р. Сунгача. [8].

Озеро Малая Ханка отделено от оз. Ханка перешейком, на котором расположены туристические базы, причалы, рыболовецкие хозяйства, автомобильная дорога, а также три гидротехнических сооружения,

регулирующие водообмен между озерами (водосбросы и насосные станции). Уровень воды в оз. Малая Ханка на момент обследования (4.06.2016 г.), по устным сведениям, предоставленным китайской стороной, составлял 71,36 м в системе высот Желтого моря, принятой в Китае. В оз. Ханка уровень был 70,90 м. Перепад уровней составил 46 см. Приходными составляющими водного баланса оз. Малая Ханка являются: осадки на водную поверхность, сток с собственной водосборной территории, переброска стока из р. Мулинхэ по каналу Мусин, закачка воды насосными станциями из оз. Ханка при недостатке воды в озере для водообеспечения оросительных систем. Расходные составляющие баланса: испарение с водной поверхности, забор воды в оросительные системы, а также сбросы в оз. Ханка при росте уровня воды выше критического значения 71,2 м (устное сообщение китайских специалистов). Возможна также фильтрация через перешеек, сложенный песчаными отложениями, однако при небольшом перепаде уровней воды этой составляющей можно пренебречь.

Имеющиеся сведения о конструктивных решениях системы переброски стока позволяют сделать вывод о том, что оз. Малая Ханка выполняет функцию водоема накопителя для водоснабжения рисовых оросительных систем. Вместе с тем, наличие водосбросных сооружений общей пропускной способностью до 200 м³/с свидетельствует о том, что китайской стороной они предназначены для сброса именно паводковых вод реки Мулинхэ, т.к. собственный водосбор оз. Малая Ханка очень мал, и сток с него не может достигать таких больших значений. Анализ функционирования существующей водохозяйственной системы КНР на оз. Ханка с использованием стока р. Мулинхэ и имеющиеся характеристики ГТС указывают на то, что возможно заметное негативное воздействие этой системы на уровеньный режим оз. Ханка. [8].

Для предотвращения ухудшения ситуации необходимо наметить основные варианты мероприятий по регулированию уровня озера, например:

- сокращение переброски части стока р. Мулинхэ в Малую Ханку;
- на основе учета климатических изменений рассмотреть варианты изменения системы природопользования в бассейне;
- определить нормы безвозвратных изъятий вод в бассейне для нужд экономики и населения [2].

1.4. Климат

Бассейн озера Ханка расположен в континентальной муссонной климатической зоне, при этом климатические характеристики региона зависят от муссонного характера циркуляции воздушных масс (Приложение, рис.2). На территорию бассейна озера в основном влияют очень холодные, сухие воздушные массы, образующиеся в районе сильных азиатских антициклонов. В этот период погода преимущественно ясная и морозная. Продолжительность холодного периода составляет около 200 дней, самый холодный месяц - январь (среднемесячная температура воздуха ниже -18°C). Продолжительность безморозного периода в водосборном бассейне озера составляет 153–161 день в годовом цикле. Годовое количество осадков в водосборном бассейне озера Ханка составляет в среднем 530-630 мм, постепенно уменьшаясь с юга на северо-запад. Сильные ветры являются обычным явлением и вызывают значительное перемешивание этого мелкого озера, что частично приводит к высокой мутности и низкой прозрачности [13].

Метеорологические наблюдения в бассейне оз. Ханка ведутся десятилетиями на 8 метеостанциях: Астраханка, Хороль, Жариково, Халкидон, Спасск, Свягино, Кировский, Лесозаводск. Среднеянварская температура практически одинакова на всем побережье оз. Ханка. При удалении от него видно уменьшение среднегодовой: на западном и

восточном побережье она составляет 3 °С, а восточнее и севернее (в Спасске и Лесозаводске) 2,4 °С и 2,0 °С соответственно [13].

В июле и августе на Приханкайской равнине удерживается сравнительно устойчивая температура воздуха от 20 °С до 21 °С. Самая низкая средняя температура в январь отмечается в Лесозаводске и пос. Кировский: -21,8 °С. Более высокая январская температура характерна для Гродековской котловины (пос. Пограничный): -16,5 °С. Влияние оз. Ханка на температурный режим приозерья сказывается лишь осенью и весной, когда на озере происходит образование и таяние ледяного покрова. Так, по данным наблюдений, за последние десятилетия, средняя температура воздуха за период ледостава на озере по всем станциям Приханкайской равнины равна -4,8 °С; -5,3 °С. Обратная зависимость зависима в период вскрытия озера: на удаленных от него станциях средняя температура воздуха изменяется в пределах 4,4 ... 4,8 °С выше нуля; в приозерье (Турий Рог, Астраханка, Новосельское) она равна 3,0-3,8 °С т. е. здесь воздух холоднее на 1-1,5 °С [13, 29].

Режим осадков в оз. Ханка определяет условия муссонной циркуляции, циклонической деятельности и характер рельефа. В зимний период северо-западный муссонный ноток приносит холодный и сухой воздух, проходящие в это время континентальные циклоны обычно слабо выражены в барическом поле и сопровождаются небольшими осадками (в среднем 5-10 мм за месяц). Летний муссонный поток в приземном слое оставляет свои запасы влаги на окружающих склонах гор. Значительное количество осадков в бассейне оз. Ханка выпадает в это время лишь при прохождении циклонов [13, 29].

Образование снежного покрова происходит в восточной части равнины 23–26 ноября, в западной - 29–30 ноября. Общее количество твердых осадков, выпадающих за холодный период (ноябрь март). На максимальной высоте снежного покрова наблюдается в восточной части бассейна Ханки: 20-25 см на равнине и 30-40 см в лесных предгорьях.

Минимальная высота снежного покрова в западной части Приханкайской равнины - 5-10 см. Глубина промерзания грунта достигает максимума в конце марта. Так, в районе Турего Рога и Астраханки за зиму в среднем грунтах промерзают на 150 см, на восточной окраине равнины, где больше слоя покрова, грунты промерзают: в Спасске-Дальнем на 127 см, в Халкидоне на 107 см, в пос. Кировский - на 120 см [13, 29].

В течение года повторяемость и направление ветров меняется по сезонам года, преобладающим направлением является южное - от 33 до 42% (по станциям Хороль и Халкидон). Весной и ветры имеют неустойчивое направление, что связано с уменьшением барических градиентов и переменной знака атмосферного давления над материком и океаном. Штилевая погода наиболее часто встречается в июле-августе и декабре часто. Наибольшая среднемесячная скорость ветра в приозерье отмечается в апреле-мае: от 4 до 6 м / с [13, 29].

1.5. Биота

Уникальные природные комплексы международного значения в водосборном бассейне озера, состоящем из заболоченных территорий, степных дубрав и редколесья (включая *Pinus densiflora*). Остаточные уссурийские лиственно-кедровые леса сохранились в юго-восточной части бассейна. Растительность бассейна оз. Ханка разнообразна по своему составу (Приложение, рис.1). Для побережья озера характерны заросли тростника, цицании, рогоза. В старицах рек богато представлена разнообразная водная растительность. В числе ее видов много теплолюбивых и древних форм вроде лотоса, эвриалы устрашающей, водяного ореха – чилима [2, 13].

Во флористическом отношении Приханкайская равнина имеет наиболее тесные связи с Маньчжурией (705 общих видов), восточной Монголией и северо-западным Китаем (429 видов), Северной Кореей (550 общих видов), Забайкальем (444 общих вида), Японией (главным образом о.

Хонсю) – 385 общих видов, с Прихотьем и о. Сахалин (264 вида), в меньшей степени с Европой (191 вид) и Северной Америкой (90 видов).

На китайской стороне озера на начало 2000-х годов зарегистрировано 1460 видов растений и 282 вида диких животных. С российской стороны на этот период выявлено 620 видов только сосудистых растений, зарегистрирован 61 вид млекопитающих, 342 вида птиц, 185 из них отмечены достоверно гнездящимися, 7 – предположительно гнездуются, 93 вида отмечены в зимний период, 28 являются залетными, а остальные бывают в период сезонных миграций (на территории Ханкайского заповедника зарегистрировано 333 вида птиц). Из них 44 вида включены в Красные книги МСОП и России, 58 видов птиц имеют статус редких, 44 вида занесены в Красную Книгу России и 12 в Красную Книгу МСОП, что является самым высоким показателем не только для России, но и для зарубежных районов рассматриваемой физико-географической зоны. Зарегистрировано распространение 8 видов амфибий, 10 видов рептилий. Озеро Ханка является основным рыбным ресурсом региона и содержит 65 видов рыб. К основным видам относятся карповые (*Cyprinus carpio*, *Carassius auratus*, *Erythroculter erythropterus*, *Erythroculter mongolicus* и др.) [2, 10].

Подходящие климатические условия и плодородные земли способствовали сельскохозяйственному развитию водосборного бассейна озера Ханка. Площадь сельскохозяйственных угодий в шести озерных районах России составляет 4642 км², при этом важными сельскохозяйственными культурами являются соя, рис, овощи и картофель, помимо кормовых площадей. Общая площадь сельхозугодий составляет около 1669 км² в китайской части водосборного бассейна, на которой выращивают сою, рис, кукурузу и пшеницу, а также технические посевы свеклы. Механизированное сельское хозяйство используется примерно на 85% площадей сельскохозяйственных угодий в китайской части водосборного бассейна [10].

Высокопродуктивные экосистемы водосборного бассейна озера являются источником многих видов и популяционно-генетического разнообразия. Они состоят из множества ценных видов растений и животных, имеющих выдающееся ландшафтно-формирующее, климатическое, хозяйственное, рекреационное и эстетическое значение.

Глава 2. Природопользование в бассейне озера Ханка

2.1. История природопользования Приханкайской равнины

В течение нескольких последних тысячелетий основным источником причин перемен в природной среде стал процесс хозяйственного освоения территорий. А поскольку он протекает не только в пространстве, но и во времени, определённый интерес представляет изучение ранних этапов освоительской деятельности в пределах того или иного региона. При этом исследования могут вестись в двух аспектах. Один из них – временной. С его помощью вскрываются причинно-следственные связи в логике освоения определённых земель, выявляются общие закономерности последнего, его этапность и характер преемственности. Другой аспект связан с пространственными категориями. Он позволяет всесторонне восстановить состояние территории на конкретный момент времени и детализировать в выделенных границах реконструкцию рассматриваемого явления. Оба эти приёма использованы при выделении в верхнем неолите бассейна Амура одноименной ресурсно-освоенческой области [17].

Разветвлённая речная система Амура в значительной мере обусловила своеобразие местных рельефа и ландшафтов, а также - оказала разностороннее организующее влияние на жизнь и деятельность живших здесь человеческих сообществ. Согласно древним китайским трактатам, с «незапамятных времён» к северу от Поднебесной империи проживали варвары «сушени». Освоенческая деятельность неолитических сообществ обладала характерными особенностями: - органично сочетать производящую хозяйственную деятельность с присваивающей; -

максимальным стремлением «вписать» это сочетание в задающие рамки природных условий своего места проживания. Первоначально это объяснялось высокой степенью зависимости первобытного человека от окружающей среды. Но затем данное явление определялось уже тем, что ранние социумы вырабатывали оптимальную систему жизнеобеспечения (следовательно – выживания) в условиях привычного природного окружения. В данной связи отметим те главные компоненты, которые изначально формировали хозяйственную специализацию аборигенов Амурской РОО в верхнем неолите. Над данной территорией взаимодействуют три типа воздушных масс: арктические, умеренные и тропические, что обусловило преобладание в области неустойчивого погодного режима. Приспосабливаясь к этому климатическому своеобразию, местный флористический комплекс генерировал значительное число эндемичных видов растений. Многие из них, в первую очередь – злаки, подверглись в неолите окультуриванию – гаолян, чумиза, пайза, мышей, гречиха, а из бобовых – соя. Высокой урожайностью они не отличались, зато обладали особой устойчивостью к частым и резким перепадам местного климата. Начало мотыжной обработки почвы в бассейне Амура датируется VI тысячелетием до н.э. Автохтонность его происхождения доказана археологически. На важность земледелия указывает тот факт, что 85 % взятых из неолитического культурного слоя проб почвы содержат споры и пыльцу культурных злаков. Иных следов культурных растений не обнаружено. Очевидно, их отсутствие восполнялось сбором дикоросов. Своеобразна структура присущего для этого времени животноводства. В обнаруженной возле суньских посёлков остеомассе, из костей одомашненных видов, резко преобладают останки свиней и собак. Находки крупного рогатого скота редки, лошадей – единичны, овец, коз, домашней птицы – отсутствуют. Следовательно, неолитическое животноводство в Амурской РОО имело «усечённый» характер. Это объясняется тем, что жители области имели иной, стабильный

и достаточный источник животного белка. Каждой осенью на Амуре начинается ход лососёвых, которые ранее поднимались вверх по его течению на 2 тыс. км с заходом во все без исключения притоки. Затем открывался нерестовый ход осетровых, и, в завершение – частичковых рыб. В неолите это время года было для аборигенов сезоном массовой путины, когда они на целый год вперёд запасались высококалорийным, обладающим противощигольными свойствами, продовольствием. По расчётным оценкам, за один сезон неолитические рыбаки вылавливали до 100 тыс. т. одной лишь кеты. Их путинный промысел оставил после себя огромное количество артефактов – от предметов лова рыбы (крючки, грузила для сетей) до оборудования для её заготовки (ёмкости для хранения икры, следы зданий коптилен и т.д.). Таким образом, значение Амура для аборигенов было столь велико, что даже его современное название представляет собой трансформацию древнего словосочетания «Маа-Мур» - Мать-река. В своё время И.А. Витвером было сформировано понятие о речных культурах, основой зарождения и существования которых служил особый хозяйственный уклад, базировавшийся на освоении ресурсного потенциала как самой реки, так и образованного ею ландшафтного комплекса. В этой связи можно утверждать, что сушениями была создана уникальная культура, основой которой стало равновесное сочетание земледелия и путинного рыболовецкого промысла. В подобной пропорции эти хозяйственные занятия среди древних культур нигде в мире не встречались [14, 17].

Южно-Приморский район имел наименьшую площадь, размещаясь в прибрежной части Приханкайской равнины и простираясь от неё вдоль морского побережья до устья реки Туманной и Ольгинской бухты. Повышенная влажность этой территории создавала определённые трудности для земледелия. С одной стороны, термальный режим благоприятствовал его развитию, в результате чего в верхнем неолите распашке подверглось почти 1/4 площади выделенного района. Но с другой, здесь всегда существовала опасность вымокания урожая на корню. К этому

следует добавить, что нерестовый ход имелся во всех местных реках. Однако поскольку те невелики, то и масса идущей по ним рыбы была относительно невелика. Данные обстоятельства заставили древних жителей Южно-Приморского района обратиться к иному источнику жизнеобеспечения – морепромыслу. Кухонные отбросы их приморских посёлков по преимуществу сформированы линзами раковин двустворчатых моллюсков. Довольно много этих специфических остатков обнаружено и в древних населённых пунктах на значительном (до 100-150 км) отдалении от берега моря, что, скорее всего, свидетельствует о продовольственном обмене излишками производимых продуктов питания. При этом отметим некоторые важные особенности. Отсутствие в верхних слоях кухонных отбросов раковинных остатков моллюсков, обнаружение под водой каменных сооружений, похожих по планировке на современные морские садки, позволяют предполагать, что приморские суши перешли от простого собирания моллюсков к их разведению [18].

В связи с находками вблизи устья реки Мельгуновки интересна находка А. В. Елисеева около поселка Камень-Рыболов, на озере Ханка, ножей сенташельского типа, то есть орудий, похожих на ручные рубила ашельского типа. Вполне могло быть, что Елисеев нашел такие же галечные рубящие изделия-орудия в виде рубил, какие, были найдены в 1953—1956 годах в Осиновке, у Горного Хутора и на Ильюшкиной сопке. Общий облик миндалевидных рубил и нуклевидных чопперов настолько архаичен, что их можно было бы отнести, с первого взгляда, к еще более отдаленному времени, — к среднему или даже нижнему палеолиту. Но характер сколов, узких и длинных, снятых с некоторых нуклевидных орудий, показывает, что здесь налицо более развитая техника обработки камня. Люди, оставившие следы своей деятельности в виде каменных изделий нижнего, четвертого, культурного слоя на Осиновском холме, жили в то отдаленное время, когда на нем не было еще суглинка и современного дернового покрова. Они

поселились прямо на голой поверхности гранитной глыбы, слегка выветрившейся сверху [14].

Судя по всему, на поселении продолжительное время оседло жил относительно большой коллектив. Оседлость — одна из основных особенностей, отличавших обитателей неолитических поселений Среднего Амура от неолитических племен Восточной Сибири, которые вели кочевой и полукочевой образ жизни. Основным занятием последних была охота, требовавшая непрерывных перемещений с места на место в поисках пищи, так как один небольшой район не в состоянии был прокормить большой охотничий коллектив. Обитатели Дальнего Востока, напротив, рано перешли к оседлому образу жизни. Это был мир оседлых людей, живущих настоящими деревнями, в прочных постоянных жилищах типа полуземлянок. Экономической основой оседлого образа жизни племен, обитавших в бассейне Среднего Амура, а также в Приморье и на Нижнем Амуре, было рыболовство. Многочисленные малые и крупные реки, впадающие в Амур, и озера были богаты рыбой. Особенно большое значение для экономики народов Амура имел массовый ход рыбы во время нереста [17, 18].

Исключительно важное значение рыболовства сказывается на всей материальной культуре дальневосточных племен. Черты такого жизненного уклада обнаруживаются на Амуре с очень раннего времени — с самого начала неолита. Рыба становится здесь основной пищей, а рыболовство — главным занятием и основным источником существования для местного населения, в особенности вблизи моря и вдоль крупных рек. Правда, как это ни парадоксально, но в инвентаре неолитических поселений на Амуре, в стране рыболовов, нет такого изобилия рыболовных орудий, как, скажем, в неолите Прибайкалья — например, крючков для ловли рыбы или наконечников гарпунов. Это объясняется, во-первых, тем, что крючки и гарпуны выделывались, как правило, из кости или даже из дерева — материалов, бесследно разрушившихся в условиях влажного амурского

климата. Не найдено на Амуре пока и неолитических погребений, а именно в них-то и встречены в Прибайкалье гарпуны и крючковая снасть. Тем не менее, в неолите Амура есть все же как прямые, так и косвенные свидетельства о характере орудий рыбной ловли и способах рыболовного промысла. Среди крупных каменных изделий, на Амуре часто встречаются просверленные круглые камни, палицы или кастеты из вулканических пород камня. Они предназначались, по разъяснению стариков ульчей и гиляков, для умерщвления пойманных в сеть или на крючок громадных рыб—осетров или калуг. С ними рыбак иначе не мог справиться в своей хрупкой лодке. Не только мелкая, но и крупная рыба здесь, таким образом, уже в самом начале развитого неолита было обычной добычей. Не менее характерны для амурского неолита крупные грузила с желобом или с отверстием на одном конце, которые должны были употребляться для оснащения не только сети, но и тяжелого невода на крупных реках с быстрым течением. Изобилие рубящих орудий, в том числе великолепно отшлифованных, предназначенных для обработки дерева, тоже не случайно — дерево служило, несомненно, не только для постройки жилищ, но и для изготовления разнообразных ловушек, заколов, а также для постройки долбленых лодок. В Кондоне, кроме того, найдены многочисленные узкие и длинные овальные гальки с просмоленными до сплошной черноты концами. Такими гальками могли проваривать березовым варом швы шитых легких лодок-берестянок. Каменные грузила указывают на коллективные способы лова рыбы, в которых участвовали десятки людей, а может быть, и вся община [18].

Позже территорию сушеной заняли племена илоу. Первые сведения об илоу (синонимы – уцзы, уги) датируются I в. н.э. Основной их характеристикой была необыкновенная воинственность: оставленный ими культурный слой буквально перенасыщен находками оружия и воинского снаряжения. На вопрос, кем были, и какие земли занимали илоу, отвечает кодекс «Цзинь Шу»: «Илоу есть древнее владение Сушень. Простирается на

1 тысячу ли от фуюй на северо-восток, на востоке прилегает к Великому морю, на юге смежно с воцзюй. Как далеко простирается к северу – неизвестно» (цит. по: Бичурин, изд. 1950, с. 24). Это свидетельство позволяет определить, что илоу, скорее всего, являлись обновлённым объединением лаоелин-чачгбейской и южноприморской группировок сушеней, которое выступило под новым самоназванием [18].

Племена мохэ образовались из двух этнических групп. Впервые этноним мохэ летописно датируется 330 г. Самые ранние из приписываемых им материальных находок обнаружены на территории Южного Приморья и современной ЕАО. На юго-востоке их предками могли быть южноприморские илоу, продолжавшие противодействовать попыткам диктата со стороны лаоелин-чачгбейской племенной группировки. В пользу этого предположения говорит тот факт, что Конфедерация Мохэ, в отличие от предшествовавших ей сушеньского и илоусского объединений, повернулась «лицом к морю». Её представители овладели навыками плавания в отрыве от береговой линии, вели активную заморскую торговлю, обладали сильным боевым флотом. С приходом мохэ полностью изменилось природопользование на данной территории. Началось активное применение в сельском хозяйстве тягловой силы лошади, железных орудий труда способствовало прогрессивному развитию хозяйства в целом. Наиболее удобными для земледелия были районы нынешней Зейско-Буреинской, Биробиджанской и Приханкайской низменности с плодородными и легко используемыми под посевы землями. У племен, населяющих эти районы, продукты земледелия были основными источниками не только питания, но, по-видимому, и торговли. Немалую роль в хозяйственной жизни мохэских племен играло скотоводство. Особенно большое значение у мохэсцев с переходом на плужное земледелие приобрело коневодство. «О большой роли, которую играл конь в жизни мохэсцев, свидетельствует обычай закалывания коня на могиле его хозяина. Конь, по представлению мохэсцев, должен был так же верно служить

своему хозяину после его смерти, как и при жизни». Большой интерес представляет и находка двух глиняных 'Конских статуэток в мохэском жилище вблизи села Осинки в Приморском крае. Статуэтки были спрятаны или, возможно, преднамеренно зарыты в небольшой ямке у стены землянки, что наталкивает на мысль об их ритуальном назначении. Мохэсцы разводили лошадей также и для торговли с соседними племенами. Наряду с этим, все летописные источники подчеркивают, что мохэсцы не имеют ни коров, ни овец. Еще с эпохи неолита и бронзы дальневосточные племена занимались разведением свиней. Мохэсцы, также как и их предшественники, были настоящими свиноводами. Остатки костей свиньи можно встретить при раскопках любого поселения мохэ [17, 18].

Сложившийся в верхнем неолите в Амурской РОО хозяйственный фон сохранился вплоть до второй половины II тысячелетия н.э. И это объясняется отнюдь не консерватизмом её жителей, а высокой степенью адаптации их занятий к условиям среды своего проживания. При этом обратим внимание на то, что система хозяйствования в области, сохраняя, в общих чертах, свою ранее приобретённую специализацию, достаточно гибко реагировала на разного рода внешние и внутренние перемены [14].

Когда на нижнем рубеже Новой эры изменения гидрологических условий Японского моря привели к сокращению численности моллюсков, древние жители Приморья достаточно оперативно переключились на возделывание риса – культуры, ранее для Амурской РОО не свойственной, но зато – устойчивой к переувлажнению. В целом, земледелие в пределах области поступательно прогрессировало. Так, площадь обрабатываемых земель с начала III тысячелетия до н.э к середине XVI века н.э. возросла в 15 раз. Технологическим новшеством стало внедрение плужной пахоты на гужевой тяге с использованием двух видов лемехов: тяжёлых – для целины и лёгких – для уже освоенных угодий. Кроме того, видовая номенклатура растениеводства существенно расширилась за счёт возделывания овощных и фруктовых культур.

В начале XII в. н.э., когда местные племена, объединившись, начали вторжения в Северный Китай их численность (включая, видимо, и пополнившее их ряды и бывшее бохайское население) оценивается в 2-3 млн. человек. Это означает, что они могли выставить не более 400 тыс. воинов, которым противостояли вначале киданьская, а затем – сунская армии по 1,5 млн. бойцов каждая, а также – многочисленные отряды северокайских повстанцев. Это потребовало предельного мобилизационного напряжения, когда в тыловое охранение, а иногда – и на театр боевых действий привлекались старики, подростки и даже молодые женщины. Начался регулируемый главной военной ставкой отток населения, когда целые племена приказным порядком снимались с мест проживания и следовали в Китай. Общий отток с мест их проживания на Юг тогда можно оценить в 80 % их общей численности. Нельзя исключить предположения, что из Среднего Приамурья, с Нижней Сунгари и верховий Нэнцзяна население ушло почти полностью, создав здесь состояние населенческого вакуума. В течение долгого времени оно не нарушался соседствовавшими с этими территориями племенами только из-за опасения, что местные племена могут вернуться. Впрочем, какая-то их часть не покинула южные предгорья Чачгбея и, в наиболее заметной степени – Южное Приморье. Южноприморское ядро в течение данного этапа, как таковое, не существовало. Занимавшаяся им территория в основном пустовала. Лишь к середине XVI в. сюда стали проникать со стороны Лаоелин-Чачгбея чжурчжэни, а с Сихотэ-Алиня – немногочисленные группы этнически труднораспознаваемого охотничье-кочевого населения. Пустовавшая территория имела огромную площадь (от современного Благовещенска до Комсомольска на Амуре и до Владивостока), на которой сформировался заповедник, долгое время находившийся только под властью природы [14, 18].

2.2. Современные проблемы устойчивого развития бассейна оз. Ханка

Бассейн озера Ханка разделяет Россия и Китай, причем обе страны являются прибрежными территориями озера. На провинциальном уровне озеро находится в провинции Хэйлунцзян в Китае и Приморском крае в России. В Китае озеро принадлежит Народному правительству города Мишань (который включает 2 города и 6 деревень), совхозу Синкайху, сельскохозяйственному предприятию Синкайху провинции Хэйлунцзян и армии. С российской стороны Приморский край состоит из 6 административных районов (Ханкайский, Спасский, Пограничный, Хорольский, Михайловский и Черниговский) с одним крупным городом Спасск-Дальний, расположенным в бассейне озера [3].

Водосборный бассейн озера Ханка относительно удален от главного центра каждой страны, с населением около 345 500 человек (1998 г.); около 68,7% населения проживает в сельской местности. В водосборном бассейне всего два основных города; а именно Спасск-Дальний в России и Мишань в Китае. Тем не менее, этот район является важной сельскохозяйственной зоной для обеих стран, где в экономике преобладает сельское хозяйство. Рыболовство также представляет собой важную экономическую деятельность в водосборном бассейне озера. На береговой линии российского озера расположены два рыбоводных предприятия и один рыбоперерабатывающий завод. Рыболовство в Китае ведется в озере, а также в реке, каналах и водохранилищах. В бассейне также есть горнодобывающая промышленность, промышленность, лесное хозяйство и туризм [19, 29].

2.2.1. Освоение озера Ханка

Хотя водосборный бассейн озера Ханка малонаселен, его подходящие климатические условия и плодородные земли способствуют развитию сельского хозяйства.

Китайская сторона бассейна. Население в китайской части водосборный бассейн озера Ханка меньше, чем в российской части, около 73 500 человек проживают рядом с озером (без учета населения в бассейне реки Мулинхэ). Большинство людей в регионе занимается сельскохозяйственной деятельностью, в то время как городское население в основном занимается бизнесом, производством и управлением сельским хозяйством. Хотя совхоз был создан для крупномасштабной рекультивации земель в 1945 году, этот район не получал широкого развития до 1949 года. В 1988 году в городе Дангбидянь был построен первоклассный порт (порт Мишань) вокруг озера и составляет примерно 233 км². На северном берегу Малой Ханки в 1955 году была создана племенная ферма с максимальным выловом рыбы 1046 тонн в год [19, 29].

Российская сторона бассейна. Военный пост Турий Рог был создан на границе озера Ханка и Маньчжурии в 1859 году, а первые русские пахари прибыли сюда в 1862 году. С этого момента началось освоение как бассейна озера Ханка, так и практически всего Приморского края, причем с начала заселения этот бассейн в основном являлся сельскохозяйственным районом.

Население российской части водосборного бассейна озера Ханка относительно невелико (около 272 000 жителей), 61% из них проживает в сельской местности. Российская часть водосборного бассейна является наиболее развитой территорией (преимущественно сельским хозяйством) в Приморском крае [10, 29].

Большое значение для развития сельскохозяйственного производства в Приморском крае имеют богатые земельные ресурсы, среди которых особенно ценятся луговые черноземовидные почвы южной части Приханкайской равнины. Рассматриваемая провинция - второй по значению, после Зейско - Буреинской равнины, сельскохозяйственный район Дальнего Востока России. Здесь находится основная база рисосеяния, выращивания пшеницы, ячменя, гречихи, кукурузы, сои, разнообразных овощных и садовых культур, в значительных объемах сборы меда. В

развитии сельскохозяйственного производства имеются и неблагоприятные факторы - малоснежность зимнего периода и глубокое промерзание грунтов, весенние засухи, обильные осадки во время уборки урожая, высокие летние паводки, приводящие к затоплению пахотных земель. Водные ресурсы представлены бассейном оз. Ханка. Большое значение могут иметь значительные запасы подземных вод [10].

2.2.2. Рисосеяние на Приханкайской низменности.

Сильное воздействие на изменение экосистемы Приханкайской низменности оказало рисосеяние. Еще лет 15 назад Приморье было единственным поставщиком белого зерна в Сибири и на Дальнем Востоке. В то же время рисосеяние в Приморском крае считается относительно молодым среди других отраслей сельскохозяйственного производства: ведет историю примерно с 1918-25 годов [13].

Активное развитие рисосеяния приходится на 1951-1980 годы. В начале 50-х были отпущены государственные средства для реконструкции рисовых систем в совхозах "Авангард", "Новосельский", "Жемчужный". Схема развития рисосеяния - в южных районах Приморского края была одобрена экспертизой Госплана СССР. Предусматривалось освоить под рисовые плантации 178,1 тыс. га земель, не требующих капиталовложений по регулированию стока. С улучшением агротехнических приемов повышалась культура рисосеяния, росла урожайность. Если в 1951 г. рис возделывался на площади 6,3 тыс. га, то в 1965 г. посевы занимали 8,2 тыс. га, урожайность возросла до 19,6 ц с гектара. В 60-е годы проектная урожайность для приморской пашни определялась в 35 ц/га, для Приамурья - 30 ц/га. Дальнейшие события убедили, что за неимением раннеспелых сортов севернее Приморского края рисоводство развивать нецелесообразно.

В 1985 году площади под рисом возросли до 49,4 тыс. га. Максимальная урожайность составила в производственных условиях 32 ц/га, а валовой сбор зерна - 113 тыс. т. Многие поливальщики на отдельных

распределителях получали урожай до 50 ц/га и выше. Успеху способствовало огромное внимание к отрасли государства (стабильное финансирование); при создании рисоводческого комплекса в Приморье, его проектировании и строительстве использовались лучшие достижения мировой и отечественной мелиоративной науки и практики. Имелся мощный производственный потенциал, создавались специализированные проектные институты. В предполагаемых зонах рисосеяния запроектировали 38 рисоводческих совхозов. Ученые и практики считают 70-80-е годы периодом стабилизации отрасли - рисовая система выросла до 66 тыс. га, в обороте, правда, было только 49 тысяч га. Реконструировали старые совхозы, построили среди болот несколько новых агропоселков с полной инфраструктурой. Последние 15-17 лет рисосеяние в Приморском крае в основном убыточно, в отрасли наблюдается катастрофический спад [13, 29].

На протяжении длительного времени рисосеяние в основном развивалось в Ханкайском районе. В период максимального расширения площадей, занятых под рисовые посевы, к Ханкайскому району по этому показателю стал приближаться Хорольский район и к 2015 г. здесь отмечается максимальная доля посевов риса – 41 %. Наименее развито рисосеяние в Черниговском районе. В периоды 2002–2005 гг. и 2011–2013 гг. посевы риса в этом районе не производились. С 1965 г. развитие орошения в Приморском крае происходило в основном за счет роста посевов риса именно в бассейне оз. Ханка. Уже к 1965 г. здесь размещалось свыше 60 % всех посевов риса Приморья. В дальнейшем расширение орошаемого земледелия осуществлялось также преимущественно в Приханкайской низменности и в период максимального развития рисосеяния – в середине 1980-х годов – здесь было сосредоточено более 80 % орошаемых земель Приморского края. Многолетняя динамика площадей посевов риса в Приморском крае и в бассейне оз. Ханка представлена на рис. 7 [5].

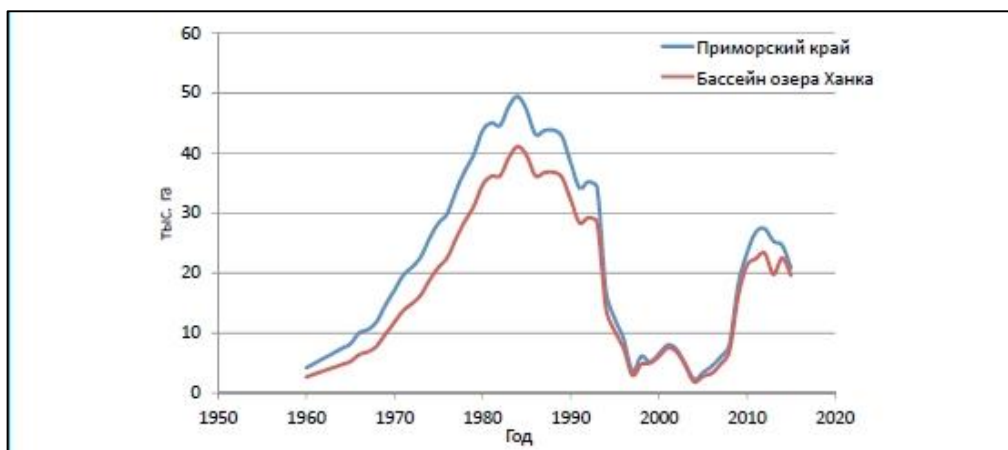


Рис. 7 Динамика орошаемых площадей в Приморском крае и бассейне оз. Ханка за период 1960-2015 гг. [5].

По обе стороны границы в бассейне оз. Ханка сельское хозяйство является одной из основных и важнейших отраслей экономики (Приложение, рис.3). В уезде Мишань в 2017 г. объем производства сельскохозяйственной продукции составил 5,2 млрд юаней, увеличившись с 2000 г. в 5 раз. Доля первой группы отраслей (включает в себя сельское и лесное хозяйства, рыболовство) в объеме ВРП уезда составила 43 %. На российской территории объем производства сельскохозяйственной продукции 6-ти муниципальных районов бассейна оз. Ханка (Ханкайский, Хорольский, Черниговский, Михайловский, Спасский, Пограничный) в 2017 г. составил 14,7 млрд рублей (в 2000 г. – 1,5 млрд. рублей) или 30 % всей продукции сельского хозяйства Приморского края, удельный вес этих районов в общей посевной площади края составил 56 %. Согласно данным дешифрирования космических снимков, общая площадь обрабатываемых земель (пашня и рисовые поля 2017 г.) в бассейне составила 451 тыс. га или 18,1 % территории, еще 10,4 % пришлось на залежь и заброшенные рисовые поля. Категорией земель с наибольшим удельным весом являются лесные территории, занимающие 29,2 % водосборного бассейна. Доля водных объектов (реки, протоки, озера, водохранилища) в структуре использования земель составила 17,9 %. Еще 20 % территории водосбора приходится на луга, сенокосы, пастбища (10,9 %) и сырые луга, болота (9,6 %). Оставшиеся

4 категории земель (кустарники и редколесья; карьеры; населенные пункты, постройки сельскохозяйственного назначения, промышленные и производственные объекты; лесные вырубки, гари) занимают менее 4 % площади водосборного бассейна оз. Ханка. Отличительной чертой структуры использования земель китайской части бассейна является высокая доля рисовых полей и пашни, в сумме составляющая 44,4 % территории. При этом площадь рисовых полей в 2,2 раза больше пахотных угодий, занятых другими сельскохозяйственными культурами. Если при расчете структуры не учитывать водные объекты, то доля обрабатываемых земель увеличится до 65,4 % от площади китайской части водосбора (Приложение, рис.4). При этом удельный вес залежи и необрабатываемых рисовых полей очень мал (табл. 2). Также можно отметить относительно большую долю сырых лугов и болот, которые сохранились здесь, вероятно, благодаря существованию природного биосферного заповедника «Синкайху» [11].

Таблица 2 Использование земель российской и китайской частях трансграничного бассейна оз. Ханка в 2017 г. [11].

Категория земель	Российская территория		Китайская территория	
	км ²	%	км ²	%
Пашня	2323,06	11,1	536,81	13,7
Залежь, в т.ч. многолетняя	1617,79	7,7	26,31	0,7
Рисовые поля (обработанные в 2017 г.)	448,7	2,1	1200,45	30,7
Рисовые поля заброшенные	911,78	4,4	32,27	0,8
Лесные территории	6937,94	33,1	316,27	8,1
Кустарники и редколесья	341,91	1,6	3,85	0,1
Лесные вырубки, гари	135,08	0,6	0,11	0,0
Луга, пастбища	2692,21	12,9	23,37	0,7
Сырые луга, болота	1943,34	9,3	452,35	11,5
Населенные пункты	353,76	1,7	58,3	1,5
Карьеры, недропользование	32,72	0,2	2,15	0,1
Водные объекты, в т.ч. оз. Ханка	3202,4 3089,97	15,3 14,7	1258,56 1225,35	32,1 31,3
Итого	20940,59	100	3914,8	100

В российской части бассейна оз. Ханка доля обрабатываемых земель в 2017 г. составила 13,2 % и, в отличие от китайской территории, это преимущественно пашни. Площадь рисовых полей в российской части бассейна почти в 3 раз меньше, чем в китайской. И основная их часть

расположена в Хорольском, Спасском, Ханкайском и Черниговском муниципальных районах (97 % всех обрабатывавшихся и 84 % заброшенных рисовых полей). В целом, структура использования земель китайской части бассейна оз. Ханка указывает на значительную антропогенную нарушенность его природной среды. 47 % этой территории относятся к глубоко измененным и преобразованным природным комплексам (пашни, включая залежь, рисовые поля, в т.ч. заброшенные, населенные пункты, лесные вырубki и гари, карьеры) (Приложение, рис. 5). Если из расчетов структуры земель убрать площадь оз. Ханка, включенную в водные объекты, доля антропогенно-преобразованных земель увеличится до 70 %. В российской части бассейна ситуация более благополучная, чем на сопредельной китайской территории, и удельный вес преобразованных природных комплексов составляет 28 % всей площади [11].

2.3. Экологическое состояние бассейна оз. Ханка с выявлением зон экологического неблагополучия и потенциальные источники загрязнения.

Многие глобальные озерные системы подверглись быстрой деградации за последнее столетие. Ученые со всего мира пытаются держать под контролем сильно деградировавшие озерные системы, чтобы справиться с возрастающим антропогенным давлением. Жизненно необходимо улучшение знаний о том, как озера и социальные системы совместно эволюционировали до настоящего времени, это важно для понимания, моделирования и прогнозирования текущего и будущего экологического состояния озер. Время и взаимодействие между социальными, экономическими и экологическими обратными связями определяют временную и долгосрочную динамику пресноводной экосистемы [9].

Экосистемы пресноводных озер являются одними из самых ценных и активно используемых природных систем во всем мире, и они обеспечивают

важные экосистемные услуги для многих миллионов людей. Из разных частей мира поступают сообщения о широкомасштабном ухудшении экологических условий, утрате биоразнообразия и резком изменении структуры и функций экосистемы. Люди сталкиваются с множеством проблем при управлении сильно деградировавшими экосистемами озер. Например, воздействие природных негативных факторов и деятельности человека на современные ландшафты может быть усилено событиями предыдущих десятилетий или даже столетий, а историческое наследие затрудняет полное понимание механизма нынешней деградации. В некоторых случаях восстановление и приведение экосистемы в «исходное состояние» может оказаться непрактичным, поскольку многие экосистемы были безвозвратно преобразованы в «новые экосистемы». Кроме того, текущие социально-экономические ограничения, связанные с производством продуктов питания и средствами к существованию людей в пределах водосбора озера, могут в конечном итоге затруднить полное восстановление экосистем пресноводных озер [1, 2].

Долгосрочная перспектива может помочь увидеть природу наследства и непредвиденных обстоятельств: таких как медленный и быстрый процесс, наличие порога, а также конвергенция и расхождение системных и переменных траекторий. Такое системное поведение может дать решающее представление о функционировании современных социально-экологических систем. Новые рамки и модели появляются для исследования взаимодействия между длительными периодами стабильности и резкими изменениями в социально-экологических системах [10].

Озеро Ханка характеризуется высокой концентрацией взвешенных веществ и низкой прозрачностью воды. Обычно прозрачность составляет менее метра, а иногда уменьшается до менее чем 10 сантиметров, в основном из-за ветров, которые легко перемешивают это мелкое озеро, вызывая взвесь материалов в толще воды. Хотя антропогенные изменения в землепользовании, а также прямое загрязнение, несомненно, влияют на

качество воды в озере, трудно оценить масштабы этой проблемы, учитывая скудность долгосрочных данных. UNEP (2001) определяет эрозию почвы, вызванную «нерациональной эксплуатацией» земель как в основном бассейне, так и в бассейне реки Мулинхэ, как очень серьезную проблему [29].

Токсичное загрязнение является важной проблемой как для российской стороны, так и для китайской. Однако в 2001 году UNEP сообщает о широком спектре загрязнителей, включая тяжелые металлы, пестициды (ДДТ, ГХЦГ), фенол и нефть на российской стороне бассейна. Связанно это с относительно более высокой промышленной и горнодобывающей деятельностью. Отмечается, что уровень меди, обнаруженной в определенных районах (Камень-Рыболов), примерно в 100 раз превысил ПДК 1 мкг / л. К сожалению, ни источники, ни временные тенденции этих загрязнителей, остались неизвестны [29].

2.4. История деградации озера

Водосборный бассейн озера Ханка претерпел значительное экономическое развитие, включая сельскохозяйственную деятельность, за последние 140 лет. Это привело к негативным экологическим последствиям, включая загрязнение поверхностных и (частично) подземных вод; эрозия почвенного покрова; и сокращение сообществ камыша на водно-болотных угодьях и связанная с этим деградация биоразнообразия. Появление стихийных бедствий в регионе еще больше усугубляет такое негативное воздействие [2].

2.4.1. Проблемы, связанные с природными условиями

Территория Приморского края в целом, в том числе и территория бассейна оз. Ханка, имеет очень близкие к идеальным условия для формирования речных паводков: сравнительно короткие реки с небольшими площадями водосбора и со слабоврезанными руслами, горный рельеф, сильно расчлененный речной сетью, муссонный климат с

интенсивной циклонической деятельностью и резкие переходы от горной части к равнинной. Для всего теплого периода года характерен паводочный режим. Дожди мая–начала июня на большей части территории еще формируют, как правило, паводки смешанного снегодождевого происхождения. Катастрофические наводнения вызываются осадками фронтальных и тропических циклонов (тайфунов), которые выходят на территорию края в летне-осенний период в среднем два раза в год. Общая сумма осадков за дождь может достигать 200–300 мм, а площадь их выпадения – десятков и сотен тысяч квадратных километров. Такие дожди вызывают катастрофические наводнения на средних и крупных реках, приводят к затоплению освоенных территорий [2, 29].

Отличительной особенностью наводнений является их стремительность. Так, за 36 часов в августе 1950 г. уровень воды на р. Илия поднялся на 4,2 м. Одной из серьезных проблем является колебание уровня оз. Ханка.

С 1975 по 1989 г. озеро «потеряло» 6,0 км³, период наибольшего спада совпал с расширением мелиоративных работ, в том числе с осушением Сунгачинских болот. Имеются материалы и об определенных изменениях в характере атмосферно-циркуляционных процессов в этот же период [2, 3].

Подъем уровня 1980–1982 гг. составил лишь 52% амплитуды 1970–1980 гг. С 1991 г. уровень воды выше среднего многолетнего, в 1997 г. среднегодовой уровень составил 304 см. Таким образом, подъем и спад уровня воды оз. Ханка обусловлен как природно-климатическими процессами, так и хозяйственной деятельностью [2, 3].

На основной ход уровня, обусловленный изменением объема воды в озере, накладываются также высокочастотные колебания в результате ветровых сгонно-нагонных денивеляций поверхности воды. В результате наблюдается сложная и разнообразная сезонная динамика уровней на фоне их общего высокого или низкого стояния. По данным многолетних наблюдений, величина положительных и отрицательных отклонений

уровня от среднего значения при сгонно-нагонных денивеляциях часто достигает 0,5–0,8 м, а при экстремальных ситуациях – до 1,5 м [2, 3].

Таким образом, уровенный режим озера контролируется двумя основными факторами. Первый из них – водный баланс озера, динамику которого определяет общий сезонный и многолетний режим уровней, обусловленный величиной накопленного влагозапаса на каждый момент времени, в том числе и подземного.

Второй фактор – ветровые воздействия, вызывающие систематические сгонно-нагонные денивеляции уровня, различные и разнонаправленные в различных точках акватории, характерный временной масштаб которых измеряется часами– сутками.

Учитывая установленный факт глобального потепления климата и выявленные признаки климатических изменений и гидрологических последствий этого в Приморском крае, следует ожидать, что экстремально высокое стояние уровня озера последних лет может являться отражением определенной тенденции изменения его режима [2, 3].

2.4.2. Проблемы антропогенного происхождения

Наиболее значимой проблемой, напрямую связанной с современной антропогенной деятельностью, на настоящее время стало загрязнение окружающей среды. Основными загрязнителями среды в бассейне оз. Ханка на начало 2000-х годов являлись пестициды [10].

По фоновому гидрохимическому составу воды озера и рек его бассейна относятся к дальневосточному типу, который характеризуется малой амплитудой колебания во времени количества растворенных солей и отсутствием четко выраженной связи между расходами (уровнями) и минерализацией, которая в целом невелика. Величина минерализации воды озера изменяется в пределах 60–120 мг/дм³. Вода озера и рек бассейна относится к гидрокарбонатно-кальциевому типу. Величина водородного

показателя (рН) воды озера изменяется в небольшом интервале: 7,4–7,6 ед. рН в летний период и несколько падает в зимний – до 7,0–7,2 ед. рН [12].

Характерной особенностью воды озера является ее большая мутность и значительное содержание взвешенных веществ в течение периода с конца марта до конца октября, в период ледостава их содержание падает до 5–11 мг/дм³ [10, 12].

Среднегодовые концентрации взвешенных веществ в воде озера за период наблюдений 1985–1997 гг. изменяются в пределах 24,7–80,6 мг/дм³, максимальные концентрации, превышающие 300 мг/дм³, отмечены в летний период на вертикалях, расположенных вблизи от берега. Содержание взвешенных веществ в воде озера перед вскрытием не превышает 5–7 мг/дм³. Также как с российской, так и с китайской стороны имеют место воздействия на экосистемы озера, поступающие от точечных и площадных источников. К точечным источникам относятся в первую очередь города и промышленные предприятия, к имеющим площадное распространение – главным образом сельское хозяйство [10, 19].

Главной проблемой в состоянии поверхностных вод бассейна является их загрязнение биогенными веществами. Трофность водоемов характеризует содержание биогенных элементов. Распределение загрязняющих веществ в озере неравномерно. Если увеличение содержания нефтепродуктов отмечалось в северной части акватории, то пестицидов и фенолов – в южной. Область максимального биогенного загрязнения относится прежде всего к району, примыкающему к устью р. Спасовка [12].

Критерием оценки качества воды по гидробиологическим показателям служит индекс сапробности. По этому показателю вода озера на всей контролируемой акватории относится к классу «умеренно загрязненной». Учитывая различные компоненты в оценке качества среды в соответствии с эколого-санитарной классификацией, можно сказать, что в целом степень загрязнения оз. Ханка на начало 2000-х годов не превышало слабую, и лишь на отдельных участках загрязнение заметно увеличивалось.

Экономическое развитие прибрежной зоны и загрязнение воды, связанное в первую очередь с агрохимикатами, привело к серьезным биотическим изменениям. Например, впоследствии исчезли семь видов птиц, которые ранее гнездились в российской части водосборного бассейна, в том числе три занесены в Красную книгу России. Четыре других вида также находятся на грани исчезновения. Поскольку птицы обладают высокой экологической целостностью, неограниченной мобильностью и реагируют на изменения среды обитания, динамика прежних и существующих популяций птиц в водосборном бассейне представляет собой модель для оценки утраты биоразнообразия [12].

Согласно имеющимся данным, несколько видов птиц, включая *Nipponia nippon*, *Cygnus otot*, *Lyrurus tetri* и *Otis tarda*, либо исчезли, либо их численность в бассейне резко сократилась из-за охоты и изменений среды обитания, вызванных деятельностью человека [10, 19].

Также снизился улов рыбы. К 1987 году производство рыболовства упало примерно в 10 раз по сравнению с уровнем 50 лет назад (UNEP 2001). В целом, рыбные промыслы, как сообщается, находятся в относительно плохом состоянии из-за антропогенного загрязнения и чрезмерного вылова рыбы (особенно экономически важной рыбы) [29].

Важным источником загрязнения бассейна, особенно опасным для российской стороны является ветровая эрозия на сельскохозяйственных угодьях китайского сектора бассейна. Так по оценкам китайских специалистов на их территории ветровой эрозии почв подвержено около 1115 км². На пашнях эрозия достигает до 2 мм в год, что составляет почти 30 000 тонн с 1 км² в год. Общие потери почв по предварительным оценкам в китайском секторе достигают 235 * 10⁴ м³ в год. С этим объемом почвы теряется около 5000 тонн азотных соединений, столько же фосфорных, и до 40 000 т калийных. Около 80 % попадает в реку Мулинхэ и 20% в Малую Ханку. Состояние поверхностных вод китайского сектора бассейна озера Ханка оставляет желать лучшего. По китайским критериям воды р. Мулинхэ

относятся к типу сильно загрязненных. Что касается состояния вод озер, то воды Малой Ханки по основным макрокомпонентам в целом более загрязнены, чем воды озера Ханка [29, 30].

Экологическая ситуация в бассейне оз. Ханка благополучной не является. Регулярный сброс плохо очищенных или вовсе не очищенных сточных вод сельскохозяйственных и промышленных предприятий является основным антропогенным фактором, который неблагоприятно влияет на экологическую обстановку. Также часто происходит разлив канализационных стоков из-за изношенности и повреждений сетей водоснабжения и водоотведения жилых районов. Это приводит к попаданию загрязнений в почву, ручьи и в конечном итоге в озеро Ханка.

На российской части Ханки за последние 10 лет произошли мероприятия по активному использованию территорий бассейна озера в сельскохозяйственных целях. Площади обрабатываемых земель увеличились, а с ними и объёмы используемых удобрений и химических средств защиты сельскохозяйственных культур. Также разведение поголовья скота в Хорольском, Ханкайском и Спасском районах привело к росту отходов животноводства, являющихся источником загрязнения почвы и воды органическими и неорганическими веществами. В связи с этим становится актуальной оценка современного состояния среды озера [12].

Согласно отчёту о научно-исследовательской работе ФГБУН ТИГ ДВО РАН в августе 2019 г. минерализация воды в озере не превышала 100 мг/л. Минимальное содержание макроионов в воде – 59 мг/л - наблюдалось в районе села Троицкого в западной части озера и было вызвано паводком на р. Комиссоровка. Уменьшение минерализации воды в этой части озера обусловлено влиянием стока реки, несущей воды атмосферных осадков с пониженным количеством растворенных солей [12].

Среди растворенных форм азота в воде озера в 2012-2013 гг. и 2016-2017 гг. преобладал ион аммония. Содержание NH_4^+ в 2016-2017 гг. было в 2 раза больше, чем в 2012-2013 гг. Превышений санитарных норм по

нитратам не наблюдалось, по ионам аммония в 2016 и 2017 гг. превышающие норматив уровни отмечены в западной и центральной части озера (до 4 ПДК), по нитритам в 2012, 2013 и 2017 гг. периодически концентрации достигали уровня 2 ПДК. Это свидетельствовало об увеличении поступления в водосборный бассейн озера соединений азота в последние годы [12].

Динамика содержаний за последние 5 лет показывает тенденцию к росту загрязнителей, но кроме изучения уровней содержания биогенных элементов в воде озера также оценивалось загрязнение воды оз. Ханка микропластиком.

Глава 3 Особенности загрязнения водных экосистем микропластиком

В последние годы беспокойство по поводу безмерного количества пластического и микропластического мусора в водных объектах быстро растет. Это стало очевидным с точки зрения возросшего интереса со стороны правительств, межправительственных организаций (МПО), организаций по региональным морям, частного сектора, природоохранных групп, средств массовой информации и научного сообщества [28].

Микропластик (MPs; <5 мм) был признан одним из наиболее серьезных и опасных загрязнителей окружающей среды в океане. Если говорить о судьбе микропластика в пресноводных экосистемах, то имеющихся знаний недостаточно, особенно в отношении более мелких MPs (<0,1 мм). Знание источников, судьбы, явлений и динамики микропластика, а также их взаимодействие с биотой и загрязнителями постоянно расширяется, и мнения научного сообщества часто меняются. Тем не менее, научные работы, связанные с пластическим загрязнением (как макро-, так и микропластиком), в основном ориентированы на морскую среду. Удивительно, но акцент на загрязнение микропластиком в пресноводных

средах был очень ограничен. Динамика микропластика в континентальной водной среде практически неизвестна; их судьба, маршруты передачи в континентальных водах еще предстоит определить в деталях. Более того, несмотря на то, что в течение последнего десятилетия различные методологии определения загрязнения окружающей среды микропластиком претерпели огромные изменения, отсутствуют однородные и стандартизированные методы [6].

3.1 Виды и источники поступления микропластика в водную среду

Растущие объёмы мусора стали глобальной экологической катастрофой и проблемой с момента подъема индустрии производства пластмассы в середине 1950-х годов. Ежегодное мировое производство пластика неуклонно росло, и в 2014 году достигло 311 миллионов тонн. Использование пластмасс сопровождалось увеличением пластикового мусора в водной среде. Общее количество макро- и микропластических частиц может оказывать влияние на флору и фауну, что тесно связано с социально-экономическими последствиями. Важно определить источники пластикового мусора, который попадает в водную среду, это поможет выявить потенциальные риски (таблица 3) [28].

Таблица 3 Источники и размеры микропластика [28].

РАЗМЕР Категории пластикового мусора	Диаметр			
	Микро < 5 мм	Мезо < 2,5 мм	Макро < 1 м	Мега > 1 м
Источники:	Первичный микропластик Вторичный микропластик - Фрагментация крупных пластиковых объектов.	Прямые и косвенные: включая фрагментацию крупных пластиковых объектов.	Прямые: утерянные в процессе морской или речной деятельности объекты	Прямые: заброшенное снаряжение, катастрофы.

Примеры:	Первичный микропластик - бусины из ювелирной смолы; абразивные средства (микрошарики) используемые в косметических средствах по уходу за кожей.	Колпачки от пластиковых бутылок, фрагменты.	Пластиковые пакеты, упаковка, рыболовные поплавки, буйки, воздушные шары.	Заброшенные или утерянные рыболовные сети и ловушки, верёвки, корпуса лодок, полиэтиленовые плёнки.
	Вторичный микропластик – текстильные волокна, частицы пыли от автомобильных шин.			

Первичный микропластик включает производственные гранулы / порошки и микрошарики из инженерного пластика, используемые в косметических составах, чистящих средствах и промышленных абразивах. Напротив, вторичный микропластик образуется из более крупных пластиковых предметов, которые разрушаются и фрагментируются в микропластические частицы в основном под воздействием естественных факторов [20].

Из-за своего небольшого размера и низкой плотности, попав в водную среду, микропластик может преодолевать огромные расстояния и достигать почти всех экосистем с помощью природных факторов, таких как ветер, осадки, речные и океанские течения. Более того, площадь поверхности и высокая гидрофобность делают частицы пластика потенциальными переносчиками токсичных органических загрязнителей и тяжелых металлов. Поглощение микропластика может подвергать живые организмы неблагоприятному воздействию как самого пластика, так и адсорбированных токсичных загрязнителей [20, 21].

3.2 Фрагментация и деградация

Как уже было сказано ранее, главная опасная особенность пластика, это его фрагментация на мелкие частицы, что является одним из ключевых факторов, вызывающих повсеместное распространение микропластика в водной среде. Хотя существует большое количество информации о потере механической целостности пластмасс при выветривании как на суше, так и в воде, практических исследований, посвященных этому вопросу, не так много. Отчасти это связано с отсутствием исторического интереса к процессу деградации и разложения так как долговечность является ключевым качеством большинства пластмасс [25].

Биоразложение пластика происходит очень медленно, при ускоренном лабораторном разложении в течение 30-дневной продолжительности наблюдалось уменьшение массы только на 1–1,7% микроорганизмами, выделенными из морских вод. Фрагментация, вероятно, происходит на последних стадиях разложения, главным образом из-за воздействия солнечного ультрафиолетового излучения. На данный момент плохо изучен процесс фрагментации и деградации пластика различных типов, подверженных атмосферным воздействиям, либо на суше, либо в водной среде, при определенных условиях [27].

Общая методология, используемая в настоящее время в исследованиях, заключается в выявлении образцов в полевых условиях с последующей оценкой их механической целостности в лабораторных испытаниях. Несколько иной подход к изучению деградации и фрагментации пластмасс в океане был применен в недавнем проекте «Чистое море». Деградация различных «долговечных» видов пластмасс контролировалась с помощью изменений их электрического сопротивления, потери веса и образования микропластичных частиц [22, 28].

Хотя пока экспериментально это не выявлено, расчеты показывают, что более мелкие пластиковые частицы разлагаются и распадаются на ещё более мелкие фрагменты с большей скоростью. Большая удельная площадь

поверхности, создаваемая фрагментацией, позволяет улучшить контакт с водой / осадком с высокой скоростью выщелачивания или сорбции для химических веществ и дополнительным пространством для биологического обрастания. Кроме того, это предоставляет большую площадь для химических, физических и биологических реакций процесса деградации.

Процессы деградации, которые приводят к превращению макропластика или мезопластика в микропластик, вероятно, продолжаются и после этой стадии, образуя пластик наноразмеров (<100 нм) [26].

3.3 Источники поступления микропластика в водную среду

Макропластик и микропластик, поступающие в гидросферу, образуются из самых разнообразных наземных и водных источников. В таблице 4, приводится сводная информация об основных выявленных секторах, типах пластиковых изделий или отходах, точках входа в воду. Категории источников классифицируются по ответственности производителя / потребителя в течение срока службы пластикового продукта [28].

Таблица 4 Источники микропластика [28].

Категория	Исходный сектор	Описание	Точки входа	Значения
Производители Конвертеры	Производители пластика, Производители и Переработчики	Пеллеты и фрагменты	Реки, Береговая линия, Атмосфера	Высокое
Отраслевое потребление	Сельское хозяйство	Тепличные листы, горшки, трубки, питательные гранулы	Реки, Береговая линия, Атмосфера	Высокое
	Рыболовство	Рыболовные снасти, упаковка	Реки, Береговая линия (например, порты), моря	Среднее
	Аквакультура	Буи, стропы, сети, трубы ПВХ	Реки, Береговая линия, морская	Среднее

	Строительство	EPS, упаковка	Реки, Береговая линия, атмосфера	Низкое
	Наземный Транспорт	Пеллеты, шины, шинная пыль	Реки, Береговая линия, атмосфера	Среднее
	Доставка Оффшорная индустрия	Краски, трубы, одежда, разнообразные, пескоструйные, грузовые	Реки, Моря, Береговая линия, атмосфера	Среднее
	Индустрия туризма	Потребительские товары, упаковка,	Реки, Береговая линия, моря	Высокое
	Текстильная промышленность	текстильные волокна, микрошарики	Реки, Береговая линия, Атмосфера	Низкое
	Спорт	Синтетический газон	Реки, Береговая линия, Атмосфера	Низкое
Физические лица потребители	Еда, напитки, одноразовые упаковки, Косметические средства & личная гигиена продукты	Контейнеры, полиэтиленовые пакеты, бутылки, крышки, чашки, тарелки, соломинки, ложки и т. д. Микрошарики, упаковка, зубные щетки и др.	Реки, Береговая линия, моря	Высокое
	Текстиль и одежда	Волокна	Реки, Береговая линия, Атмосфера, Моря	Среднее
Управление отходами	Твердые отходы	Неуправляемая или плохо управляемая утилизация отходов	Реки, Береговая линия, Атмосфера	Среднее
	Вода и сточные воды	Микрошарики, фрагменты, волокна	Реки, Береговая линия	Среднее

3.4 Производители и преобразователи

Пластиковые гранулы смолы для производства изготавливаются и транспортируются на перерабатывающее предприятие, где пластик смешивается и перерабатывается в готовые продукты. Всякий раз, когда происходит транспортировка гранулированной смолы, существует

вероятность случайных потерь гранул на суше и на море. Использование мощных поверхностей и поддонов для разлива во время погрузки / разгрузки железнодорожных вагонов или грузовых автомобилей, а также использование вакуумных систем часто помогают уменьшить потери [20, 21].

На производственных объектах, где используются гранулы, в обязательном порядке устанавливаются фильтры для ограничения их попадания в окружающую среду. Хотя существуют программы, направленные на предотвращение потерь, гранулы обнаруживаются в пресноводных и морских. Например, в пробах донных отложений, проанализированных в европейских реках, 18% обнаруженного микропластика состояли из гранул PS (полистирол). Все образцы были взяты в реках, которые протекают рядом с заводами по производству полимеров. При изготовлении изделий из пластика фрагменты упаковки остаются после процессов обрезки. Обработка твердых блоков из пластика с использованием сверл и фрезерных инструментов приводит к образованию мелкодисперсной стружки. Эти фрагменты могут быть любого размера, от очевидного микропластика до наночастиц, которые попадают в виде пыли в атмосферу [24].

3.5 Наземные секторальные потребители

3.5.1 СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Существует много потенциальных механизмов, благодаря которым сельское хозяйство может стать источником микропластика. Например, пластмассы используются в сельском хозяйстве для орошения и в качестве мульчи. Пластик, находящийся в течение многих месяцев под воздействием ультрафиолетового излучения солнца, подвергается процессу деградации и фрагментирования на мелкие частицы. Такой микропластик может на долгое время остаться в составе почвы или со стоком поверхностных вод, дальше транспортироваться в реки, озёра, моря [20, 21].

Площади, отведённые под сельское хозяйство, занимают большие территории по всему миру, но многие из них обладают истощёнными, неплодородными почвами с низким содержанием питательных веществ в составе, поэтому необходимо использование разнообразных удобрений для повышения урожайности.

Финансовые и временные затраты, связанные с использованием удобрений (азот, фосфат и калий), были непомерно высокими. Одна из новейших технологий удобрения, удобрения с контролируемым высвобождением (**CRF** - controlled-release fertiliser), предлагает метод для уменьшения количества удобрения, необходимого на единицу площади пахотных земель, а также сокращения времени, затрачиваемого на усилия по внесению удобрений. CRF имеют преимущества для сельского хозяйства в снижении затрат и в снижении уровня биогенных веществ в водных системах, но они оказывают другое, неблагоприятное воздействие на окружающую среду, загрязнение микропластиком [28].

CRF инкапсулируют комбинации питательных веществ (азот, фосфат, калий) в покрытие, часто состоящем из полимера (например, полисульфона, полиакрилонитрила и ацетата целлюлозы). Удобрения проникают в почву через этот барьер в течение заданных периодов времени (от 3 до 18 месяцев), обеспечивая непрерывную подачу питательных веществ корням растений. Общий требуемый уровень удобрений снижается, по сравнению с традиционными методами, потому что он достигает растений по мере необходимости, устраняя проблему чрезмерного загрязнения окружающей среды, в особенности водных объектов, опасными веществами содержащихся в удобрениях. Со снижением уровня биогенного стока, уменьшается эвтрофикация водоёмов, которая часто происходит из-за подобных источников загрязнения. Однако, после высвобождения питательных веществ, в почве остаются полимерные пластиковые капсулы, которые не разлагаются. Кроме того, поскольку более длинные периоды высвобождения являются более желательными, толщина этого полимерного

слоя должна быть увеличена пропорционально предполагаемой продолжительности высвобождения. Поверхностный сток, в результате дождевых осадков, вымывает почвы из сельскохозяйственных районов и весь накопленный пластик переносится вместе с ним прямо в речные и устьевые системы [28].

Несмотря на то, что на сегодняшний день нет доступных оценок потенциала CRF, способствующего загрязнению микропластиком водной среды, существует тенденция к увеличению этого риска из-за растущего использования подобных удобрений в сельском хозяйстве.

3.5.2 СТРОИТЕЛЬСТВО

Потенциальные источники микропластика, связанные со строительством, должны учитывать три фазы, используемые для описания жизненного цикла инфраструктуры: а) строительство, б) срок эксплуатации и в) вывод из эксплуатации / снос. Строительство представляет собой основное использование более новых видов пластика, обеспечивая более 20% годового производства в Европе в 2013 году (плюс пластмассы используются для упаковки предметов в строительной отрасли). Этот пластик достигает конца своего срока службы и / или становится фрагментированным, если надлежащим образом не была произведена его переработка или утилизация. Следовательно, в существующих конструкциях имеется значительный запас пластика, и в зависимости от использования и управления он может попасть в окружающую среду уже в виде микропластика [28].

Изделия из пластика, используемые в строительстве, должны иметь длительный срок службы по сравнению с другими применениями, где такие изделия, как одноразовые пакеты для транспортировки, могли быть спроектированы таким образом, чтобы портиться от воздействия тепла, света и кислорода. Тем не менее, существует вероятность выброса микропластика на этапе строительства, связанного с очисткой, истиранием

или шлифованием. На любом этапе жизненного цикла объекта инфраструктуры, дробеструйная обработка микропластиком, может использоваться для очистки краски с поверхностей, перед дальнейшим строительством или техническим обслуживанием.

Изолирующая пена, обычно полиуретан, часто используется в строительстве как сплошная плита или применяется в жидкой форме внутри стен и между потолочными балками. По мере того, как пена затвердевает, она всплывает между балками стены и потолка, которые обычно обрезаются вручную с помощью пил. Этот процесс производит огромное количество микропластических остатков, которые, как правило, просто сметаются и выбрасываются с остальными твёрдыми отходами [20, 21].

Во время строительства, все необходимые компоненты могут доставляться упакованными в одноразовую пластиковую пленку, кусочками или гранулами, такими как полистирол. Некоторые из этих упаковочных материалов могут быть рассчитаны на повышенную скорость разложения, а другие могут быть изготовлены из обычного полимера. Если упаковочные материалы не хранятся в специально защищённых от внешних факторов местах и не утилизируются надлежащим образом (например, путем переработки), то существует вероятность фрагментации упаковки, что приводит к появлению вторичного микропластика. Предполагается, что упаковка является продуктом с коротким сроком службы, но в некоторых случаях она может существовать месяцами или годами в зависимости от продолжительности этапа строительства. Кроме того, единственным доступным средством утилизации может быть обычный большой контейнер, который никак не защищает от погодных факторов. Такой способ не подходит для хранения лёгких, мелких пластиковых материалов, особенно в условиях ветра [28].

Вывод посторойки из эксплуатации или снос также могут быть источником выбросов пластика в окружающую среду. Пластиковые компоненты всех форм, размеров и состава вероятно, будут распределены

по всей конструкции. Поэтому разделение, сортировка и переработка могут вызвать большие трудности. Даже в процессе утилизации всё ещё существует вероятность выброса микропластика в результате утечки.

Несмотря на разнообразные, потенциальных источников первичного и вторичного микропластика в результате строительных работ, опубликованных экспериментальных исследований на эту тему не существует [28].

3.5.3 ИНДУСТРИЯ ТУРИЗМА

Туризм является важным сектором экономики. Всемирная конференция по побережью (1993 г.) определила туризм как крупнейшую в мире отрасль, оценив, что она составляет от 5 до 6% совокупного валового национального продукта (ВНП) всех стран. Кроме того, за последние годы туризм превратился в глобальную индустрию, и Всемирная туристская организация (ВТО) оценивает более одного миллиарда туристов, прибывающих по всему миру.

Поскольку многие популярные туристические направления являются прибрежными и в качестве главного объекта для отдыха используют не только побережья морей и океанов, но также рек и озёр, разумно предположить, что районы с высокой туристической активностью важно рассматривать в качестве косвенных источников пластического загрязнения. Пластик является неотъемлемой частью жизни людей, поэтому логично предположить, что в местах с наиболее высокой концентрацией туристов, будет зафиксирован высокий уровень пластикового мусора [28].

Кроме того, можно утверждать, что использование пластика усугубляется, поскольку туристы, находясь вне дома, могут с большей вероятностью использовать одноразовые пластиковые предметы быта (например, бутылки с напитками, контейнеры для пищевых продуктов и т. д.). Во многих странах, в том числе нашей, менталитет людей характеризуется отсутствием беспокойства о неблагоприятном воздействии

на окружающую среду в местах, где они не живут. Но обычно в странах, где туризм является главным экономическим фактором, программы, законы и мероприятия по охране окружающей среды являются более целенаправленными и многочисленными. Туризм все чаще распространяется на менее населенные и более «нетронутые» условия, в которых может отсутствовать инфраструктура, необходимая для правильного обращения с отходами. Это также относится ко многим малым островным развивающимся государствам [28].

3.5.4 РЫБОЛОВСТВО

Рыболовные снасти могут быть потеряны в результате аварии, оставления или преднамеренного выброса в водную среду. Пластиковый мусор, образующийся в результате промысла, включает сети, ловушки, тросы, веревки, поплавки, буи, обвязочные ленты, коробки и мешки с наживкой, шнуры для упакованных приманок, резиновые перчатки, отходы судна, домашний мусор и т. д. [21].

Способ обращения с рыболовными снастями может зависеть от нескольких условий: район / район промысла, тип промысла, тип и размер судна, количество членов экипажа. Умышленное выбрасывание орудий лова также связано с незаконным, нерегулируемым промыслом. Рыболовы любители (непрофессионалы), также известные как мелкие рыболовы, отличаются большим разнообразием, и поэтому нет единого согласованного определения для этого подсектора. Они особенно распространены в развивающихся и многонаселённых странах, где ощущается постоянная нехватка пищевых ресурсов или отсутствие хорошо оплачиваемой работы. Во многих густонаселенных регионах мира, помимо плохого управления пластиковым мусором вдоль побережья или неадекватности / недоступности систем удаления / управления отходами, кустарный промысел может не регулироваться надлежащим образом. Это происходит из-за того, что не существует адекватного законодательства или политики, касающихся этих вопросов, либо законы или нормативные акты не

обновляются и не применяются. Следовательно, кустарный промысел может быть важным источником обычного и промыслового пластика в водной среде в разных масштабах. Старые конструкции и орудия лова также опасны, поскольку они легко фрагментируются под воздействием природных факторов, образуя микропластичные частицы [28].

Согласно отчету ФАО (FAO 2014), общее количество коммерческих рыболовных судов в мире, по оценкам, составило около 4,72 млн. В 2012 году. Флот в Азии был самым большим, состоящим из 3,23 млн. судов, что составляет 68% мирового флота. Пластиковая упаковка, пищевые контейнеры и другие твёрдые бытовые отходы часто просто сбрасываются за борт. Конечно, это незаконно, но проследить за добросовестным обращением с отходами на каждом судне, невозможно. Несмотря на существующие законы, регулирующие управление пластиковым мусором, образованным на судах, не существует известных протоколов или стандартных операционных процедур (СОП), которые бы обеспечивали повседневное управление мусором.

Мониторинг, контроль и наблюдение (MCS), один из нескольких инструментов управления рыбным хозяйством, направленным на управление деятельностью рыбаков, а не рыболовства. У программы MCS есть наблюдатели и инспекторы по рыболовству, которые собирают данные о деятельности судов по вылову и выбрасыванию мусора, чтобы поддержать реализацию правил и политики по защите водной среды [28].

3.5.5 АКВАКУЛЬТУРА

Роль аквакультуры, как важнейшего процесса поддержания продовольственного потенциала водной среды, постоянно растёт.

Исследования, посвященные изучению воздействия аквакультуры и марикультуры на окружающую среду, в основном фокусируются на эффектах эвтрофикации и растворенных загрязнителях и редко изучают типы и количество утраченного культурного инвентаря. Существуют некоторые данные, в которых сообщается об утраченных или выброшенных

орудиях аква/марикультуры и вызванном ими загрязнении районов с обширным разведением, выращиванием гидробионтов, а также районов, расположенных дальше от них. Нет количественных оценок вклада аква/марикультуры в загрязнение воды пластиком, хотя на местном уровне эти вложения могут быть существенными [28].

В большинстве мероприятий по аква/марикультуре используются линии сетей или клетки, подвешенные на плавучих конструкциях, состоящие из пластиковых буйев, таких как заполненный воздухом полипропилен и EPS (пенополистирол). Эти конструкции также требуют много линий (в основном не плавучие пластмассы) и клетки различных типов (тонкие и толстые пластиковые нити, плавучие или не плавучие). Необходимо точно знать типы пластмасс, используемых в этих видах деятельности, и их потенциал стать источниками микропластика для водной среды.

Аквакультурное снаряжение может быть потеряно по тем же причинам, что и рыболовные снасти, например, износ и запутывание конструкций. Основные потери могут быть вызваны штормовыми явлениями, а также из-за отрыва или поломки. Во многих случаях неиспользованное снаряжение хранится на берегу рядом с аквакультурными снастями, и в результате выветривания или других природных факторов, может образовываться микропластик, который через сток или волновую активность попадает в пресноводные или морские экосистемы [20, 21].

Буи EPS (пенополистирол) часто используют в Республике Корея, Японии и Китае, для разведения устриц, мидий и других моллюсков. Один буй из EPS может фрагментироваться на несколько тысяч штук. Организмы могут также вызывать деградацию снаряжения аквакультуры, что приводит к фрагментации и образованию микропластика. Износ канатов на пластиковой основе в тесном контакте с растущими мидиями может влиять на количество высвобождаемого микропластика, по сравнению с другими

методами с меньшим количеством пластических структур (например, донный или метод стойки). Потоки и движение воды могут рассеивать микропластик и аквакультурные приспособления, которые могут влиять на экосистемы [20, 21].

3.5.6 СУДОХОДСТВО

Судоходная отрасль также рассматривается в качестве основного источника микропластика, поскольку обычная очистка корпусов судов с помощью пластиковых абразивов приводит к высвобождению микропластика непосредственно в океан. Неправильное обращение с грузом или случайные разливы считаются основной причиной, по которой высокий уровень содержания микропластика был обнаружен в некоторых донных отложениях, особенно в смоляных гранулах. Химические вещества, которые используют в качестве сырья для производства полимеров, могут стать источником микропластика, при транспортировке на судне [28].

Аналогичным образом, деятельность на нефтегазовых платформах может привести к появлению предметов, которые преднамеренно или случайно попадают в морскую среду, включая каски, перчатки, бочки для хранения, личные отходы. Подводная разведка и добыча ресурсов также способствуют образованию мусора.

3.5.7 ТЕКСТИЛЬ И ОДЕЖДА

Освобождение волокон от текстиля считается потенциальным источником микропластических частиц. Недавнее исследование, проведенное в Нидерландах, показало, что в сточных водах стиральных машин в среднем было $2,09 \times 10^8$ волокон / м³, а 62% составляли синтетические волокна. Промышленные стирки и прачечные, вероятно, выбрасывают микроволокна в атмосферу в неизвестных количествах. Подобно микрошарикам из косметики, волокна будут поступать через сточные воды в очистные сооружения, где будет удалена лишь часть из них. Однако во многих частях мира, особенно в развивающихся странах,

подавляющее большинство общин не имеет возможности очистки сточных вод, и загрязненные микропластиком сточные воды непосредственно сбрасываются в поверхностные воды. Относительно заметная природа волокон по сравнению с другими природными частицами может повлиять на их обнаружение в отложениях [28].

3.5.8 ТВЕРДЫЕ ОТХОДЫ

Если твёрдые отходы с истекшим сроком эксплуатации не утилизируются должным образом, то они неизбежно станут источниками загрязнения окружающей среды. Варианты обращения с отходами могут быть разными от открытых свалок до различных способов сжигания или переработки. Мусор со свалок или мест захоронения часто разносится ветром и впоследствии попадает в реки и море. Кроме того, в некоторых странах существуют прибрежные свалки, где отходы размещаются непосредственно на береговой линии, а затем уносятся морем (ЮНЕП 1999) [28].

Улучшение качества обращения с отходами признано одним из наиболее важных шагов по сокращению выбросов мусора в водную среду, особенно в развивающихся странах. Это зависит от наличия хороших систем сбора отходов и инфраструктуры. Все необходимые меры по сокращению количества отходов, требуют увеличения инвестиций. Как следствие, в странах с развивающейся экономикой более вероятны утечки больших объёмов отходов. Рециркуляцию широко рассматривают как предпочтительный вариант в переработке отходов. Это позволит продукции с истекшим сроком эксплуатации приобретать новую ценность, а не превращаться в отходы, однако для этого потребуются сложная и дорогостоящая инфраструктура рассортировки. Но гораздо предпочтительнее уменьшить количество пластика путём сокращения использования (особенно одноразовой упаковки) и повторного

использования более долговечных изделий, где это практически возможно [20, 21].

3.5.9 СТОЧНЫЕ ВОДЫ

Сточные воды обеспечивают путь для транспортировки твердых пластиковых частиц в водную среду. Крупный пластик чаще всего попадает в систему сточных вод через канализацию (например, участились случаи выбрасывания в унитаз ватных палочек, которые не только полностью состоят из пластика и являются причиной загрязнения, но и накапливаясь в сетях на очистных сооружениях, приводят к сбою в работе очистной техники).

Путём первичной очистки, из сточных вод удаляется весь крупный мусор, но в периоды сильных дождей объем воды, проходящей через канализационные системы, может превышать их, позволяя отходам попадать в окружающую среду. Попадая в окружающую среду, предметы макро-мусора могут распадаться на более мелкие кусочки и, в конечном итоге фрагментироваться на микропластик [20, 21].

3.6 Реки - как точки входа в океан

Все чаще сообщается о микропластике в пресноводных экосистемах, причем некоторые имеющиеся исследования позволяют предположить значительное загрязнение во всем мире. Выяснение источников и путей распространения микропластика в пресноводных экосистемах станет серьезной проблемой для будущих исследований, поскольку эта информация будет основой для стратегий управления и мер по сокращению загрязнения. Надежные данные о концентрациях, потоках и типах полимеров в континентальной водной среде, включая городские водные системы, по-прежнему необходимы, поскольку пресноводным экосистемам уделяется гораздо меньше внимания, несмотря на то, что большая часть пластикового мусора производится на берегу и поступает в морскую среду

по рекам. В некоторых исследованиях сообщается не только о наличии микропластика в пресноводных экосистемах, но и о том, что загрязнение такое же серьезное, как и в океанах. В континентальных водах, микропластик наблюдался как в донных отложениях (преимущественно берега озер и рек), так и в пробах воды (преимущественно поверхностные воды озер и рек) [28].

Как первичный, так и вторичный микропластик может проникать в континентальную водную среду несколькими путями. Первый, самый распространенный, это сточные воды. Например, частицы гранулированного полиэтилена (PE), полипропилена (PP) или полистирола (PS), используемые, например, в очистителях кожи (скрабах). Кроме того, стиральные машины сбрасывают большое количество синтетических волокон в сточные воды. Промышленная или сельскохозяйственная деятельность также способствует увеличению количества микропластика в пресноводных экосистемах. Высокое количество микропластичных частиц и волокон также были обнаружены вблизи промышленных предприятий, занимающихся производством бумаги. Известно, что первичный микропластик и синтетические волокна также загрязняют осадок сточных вод. Они могут стекать с ливневой водой и попадать в пресноводные места обитания. Как правило, исследования указывают на пространственную связь между типами обнаруженного пластика и деятельностью человека.

Природа, состав или относительное содержание микропластического материала иногда могут помочь в его идентификации. Например, необработанный пластик (пеллеты и хлопья) был обнаружен в Дунае, реке, к которой примыкают участки для производства пластмасс. Более того, гранулы смолы и микрошарики были наиболее распространены в промышленном регионе озера Гурон и в густонаселенном промышленном озере Эри. Отсутствие первичного пластика, но обилие вторичных фрагментов на берегах малонаселенных горных озер (Гарда и Хубсугул) указывает на происхождение от распада предметов домашнего обихода [28].

Первоначальные исследования пресной воды показывают, что физические, химические и биологические факторы, аналогичные тем, которые предлагаются для морских систем, способствуют переносу и рассеиванию микропластика, включая скорость потока, глубину, тип субстрата, рельеф дна и сезонную изменчивость потоков воды. Факторы, которые могут иметь временной аспект, включают штормы, наводнения или антропогенную деятельность. В устьях, однако, внимание уделяется микропластическому изобилию, но, учитывая сильное влияние градиентов солености и приливных движений в этих системах, все еще трудно понять локальное разделение, роль, которую играют ресурсы пресной воды, и степень, в которой устья могут представлять «горячие точки» накопления. Поскольку реки показали, что они представляют собой важный путь попадания микропластика в океан, эти взаимосвязи важны для дальнейшего понимания путей источника и потенциального восстановления, которое можно предпринять, чтобы избежать выброса микропластика в гидросферу [28].

Глава 4 Материалы и методы

Большинство научных работ, посвящены распространению микропластика в морской среде, поэтому в качестве объекта для исследований нами была выбрана одна из крупнейших пресноводных экосистем Дальнего Востока, бассейн озера Ханка.

Озеро Ханка - пограничное озеро между Китаем и Россией (рис. 8). Ханка является не только самым большим пресноводным водоемом на территории Дальнего Востока России это также самое большое пресноводное озеро на востоке Азии. Озеро Ханка и его бассейн соединяет отдаленные районы двух великих держав: России и Китая. Основная хозяйственная функция озера Ханка это аквакультура и сельскохозяйственная ирригация. Экологические проблемы в бассейне

порождены, как недоучетом особенностей природных условий, так и несовершенными формами хозяйствования в агропромышленном и минерально-сырьевом комплексах, нерациональным использованием вод, загрязнением природной среды химическими веществами. Одним из главных объектов изучения стал исток Сунгачи, единственной реки, вытекающей из озера Ханка. Речной бассейн Сунгачи охватывает территорию двух стран России и Китая, следовательно, весь микропластический мусор она несёт к своему устью – реке Уссури.

В данной работе освещаются последние сведения о микропластическом загрязнении в крупнейшем пресноводном и трансграничном озере Российской Федерации, озере Ханка, путём оценки численности, пространственного распределения, размера, формы, полимерного состава MPs в воде.

4.1 Методика отбора проб.

Отбор проб в 2019-2021 гг. происходил в 4 основных точках (таблица 5 и рис.8).

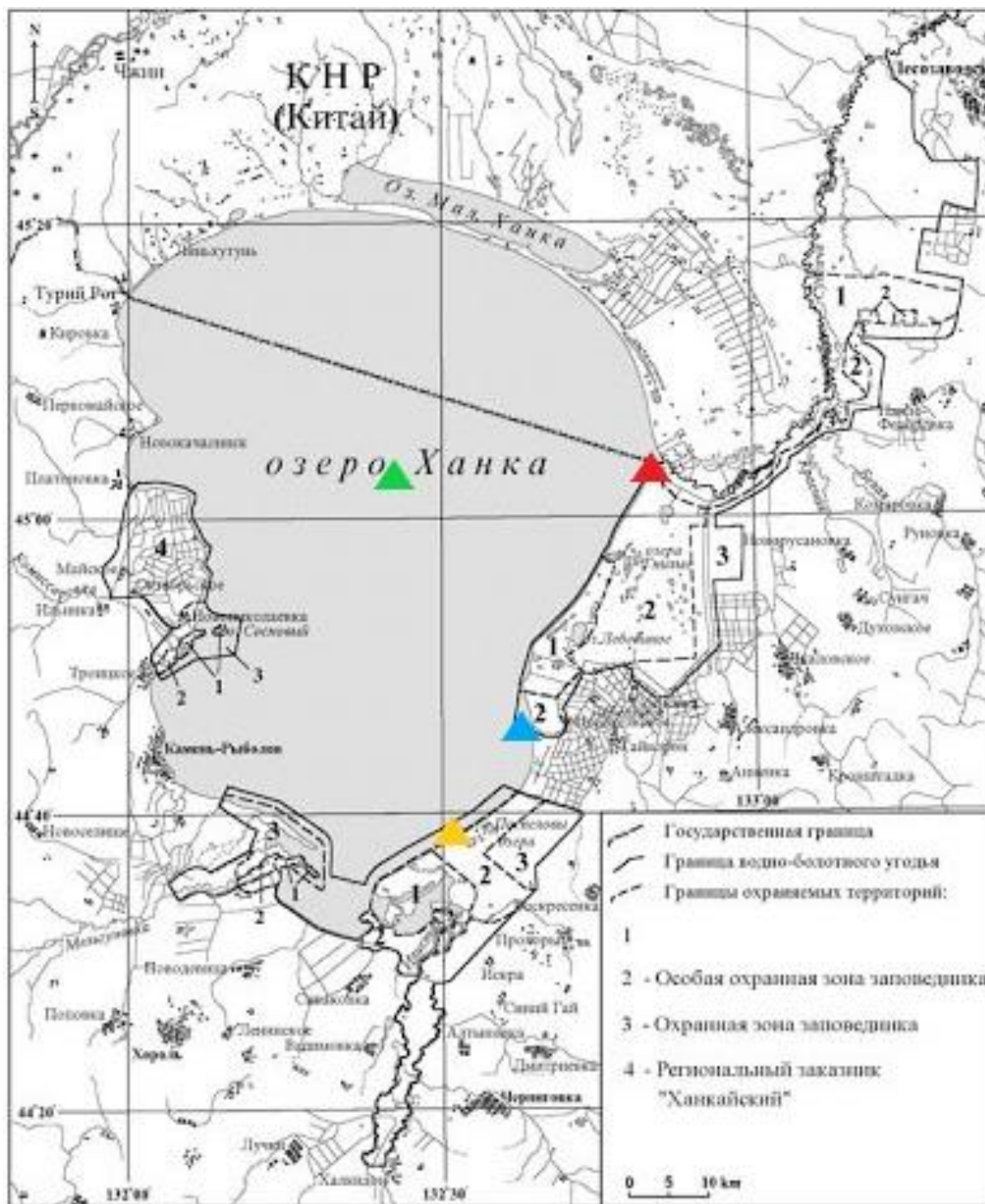






Рис. 8 Карта схема отбора проб воды в 2019-2021 гг.

Таблица 6 Точки отбора

№	2019/2020	Координаты	Место положение
1		N 45° 03' 27.5'' E 132° 51' 21.4''	Исток реки Сунгача
2		N 45° 02' 07.0'' E 132° 24' 16.5''	Центр Озера
3		N 44° 45' 40.3'' E 132° 39' 07.4''	Устье реки Спасовка
4		N 44° 39' 19.6'' E 132° 33' 49.6''	Кордон Восточный

Пробы отбирались фильтрацией воды через нейстонную сеть с диаметром ячейки 100 мкм. А также при помощи электронасоса через последовательно расположенные планктонные сети (диаметр ячейки 100 мкм и 10 мкм). По истечению времени осадок, оставшийся на сетке, путем внешнего ополаскивания стенок сетей аккуратно смывался в заранее заготовленную ёмкость.

Отобранные пробы воды были транспортированы в ТИГ ДВО РАН лаб. геохимии для этапа обработки.

Этап обработки включает в себя:

- Для проб, отобранных через сеть с ячейкой 100 мкм - повторную фильтрацию на ячейки целевой размерности для переноса сухого остатка в тару для последующей химической обработки, после чего:

- Твердые вещества подвергают мокрому перекисному окислению (WPO) в присутствии катализатора Fe(II) для растворения органического вещества (пластик не растворяется).

- Смесь подвергается разделению по плотности в NaCl (водн.) для выделения частиц пластика через флотацию.

- Плавающие твердые вещества отделяются от более плотных нерастворимых минеральных компонентов.

- Верхняя часть смеси переносится на фильтр для последующего визуального анализа и определения ИК- или Рамановских спектров частиц.

- Для проб, отобранных через сеть с ячейкой 10 мкм – вакуумную фильтрацию без предварительной химической обработки на фильтры, которые после высушивания отправляются на микроскопический спектральный анализ [22].

После микроскопического анализа, по формуле ($n_{\text{microplastic}}/V_{\text{m}^3}$, где n – количество найденного микропластика; V – объем воды, прокаченной через нейстонную сеть) определяется концентрация микропластика в 1 м³ воды. Важно помнить, что фоновая концентрация микропластика в пресной воде, которую можно считать допустимым уровнем загрязнения, составляет 0,1 частицы в 1 кубометре воды [15].

Глава 5 Результаты и обсуждения

В августе 2019 года были отобраны пробы с двух точек: центр Озера и кордон Восточный (рис.8). В данных пробах микропластик не был обнаружен.

В октябре 2020 года были отобраны пробы с 4 точек: исток Сунгачи, центр Озера, кордон Восточный, устье Спасовки (рис.8, таблица 6). Полный анализ проб ещё не завершён. По предварительным данным (таблица 7), наиболее высокие концентрации частиц размером более 100 мкм зафиксированы в истоке р. Сунгача (рис.9)

Таблица 7 Данные по микропластику

2020 год			
Название точки	Объём пробы V м ³	Количество микропластика	Концентрация
Исток реки Сунгача	42	≈ 140	3,33
Центр Озера	32	5	≈ 0,16
Устье реки Спасовка	39,2	3	≈ 0,08
Кордон Восточный	37,1	4	≈ 0,11

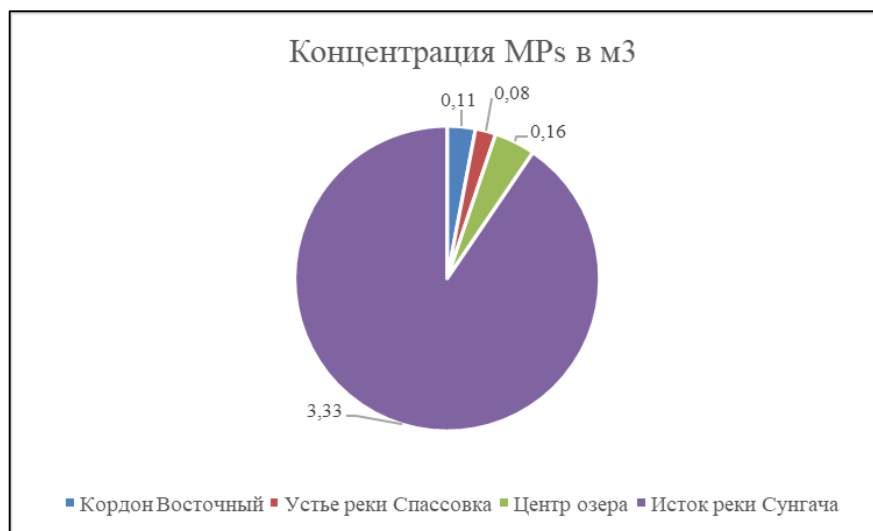


Рис. 9 Концентрация микропластика

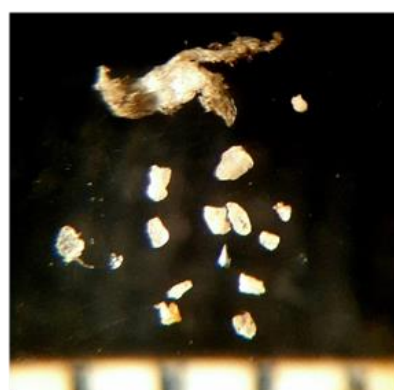
Найденный микропластик в зависимости от состава, условно делится на 4 группы: плёнка, фрагменты, волокна, пена (рис.10).



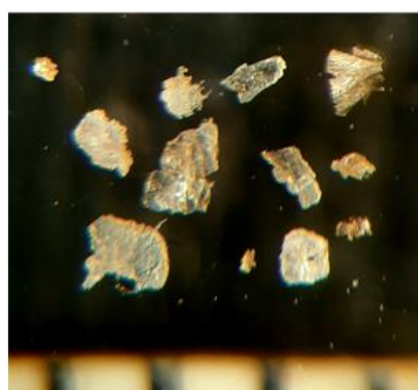
А) волокна



Б) пена (Полистирол)



В) фрагменты (обломки)



Г) плёнки

Рис. 10. Частицы пластика, отобранные в р. Сунгача

Размерный ряд представлен в четырёх разных диапазонах (от 0,1 до 0,3 мм; от 0,3 до 1 мм; от 1 до 5 мм; от 5 до 25 мм). На рис. 11 видно, что

наибольшая концентрация «плёнки» (более 0,1 частицы на м³) зафиксирована в истоке Сунгачи, размер варьировался от 0,1 до 5 мм.

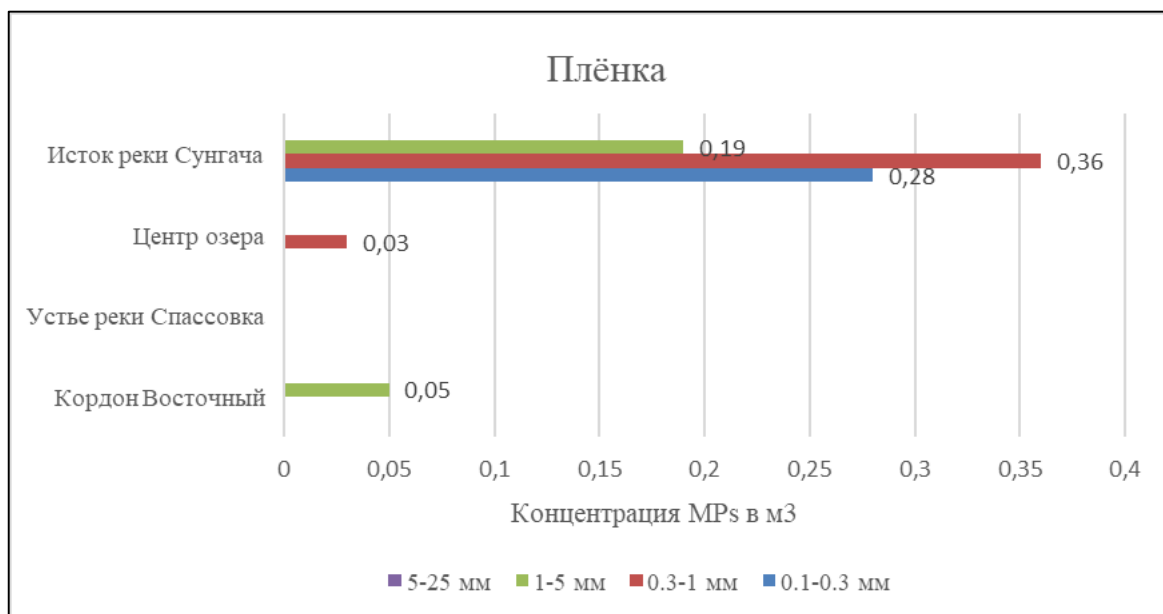


Рис. 11 Концентрация и размер «плётки»

Фрагменты были обнаружены только в пробе из истока Сунгачи (рис.12). Размеры микропластика не превышали 5 мм.

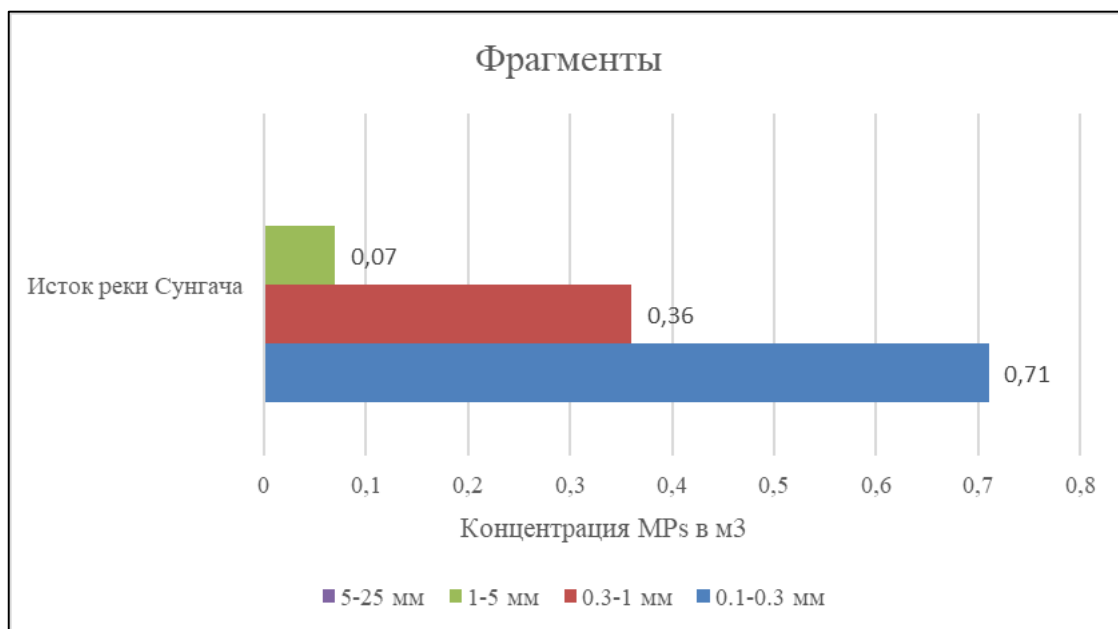


Рис. 12 Концентрация и размер «фрагментов»

Волокна были найдены во всех отобранных пробах. Повышенная концентрация зафиксирована в истоке Сунгачи (рис.13). Синтетических волокон, размером менее 0,3 мм, обнаружено не было.

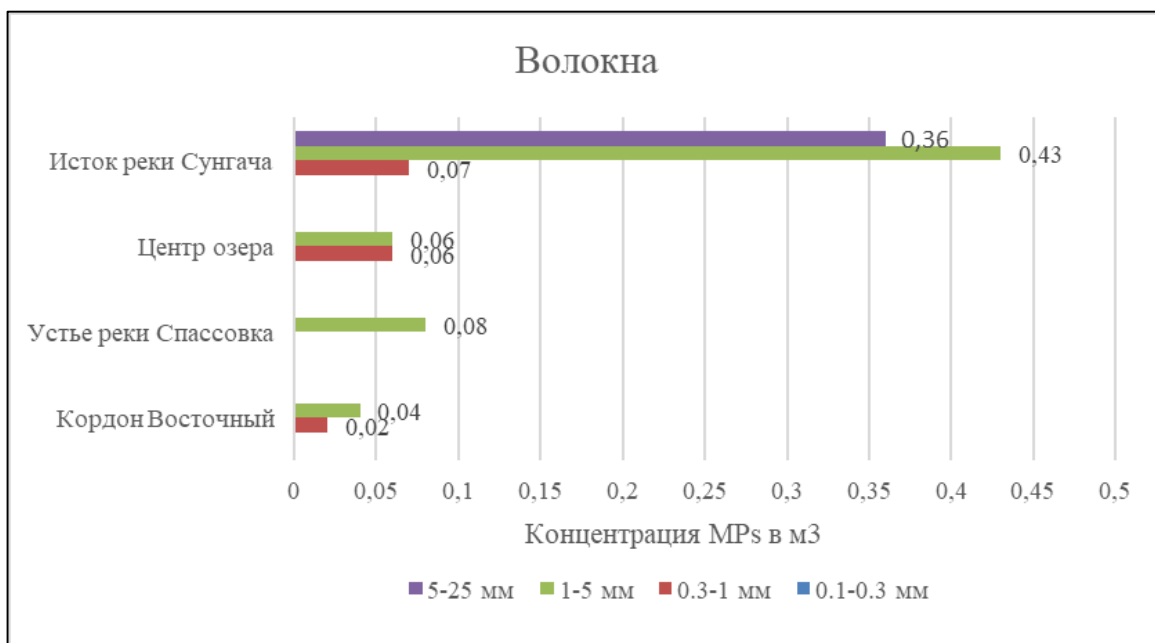


Рис. 13 Концентрация и размер «волокон»

Микропластик - «пена» был найден только в пробе из истока Сунгачи. Размеры не превышали 5 мм (рис.14).

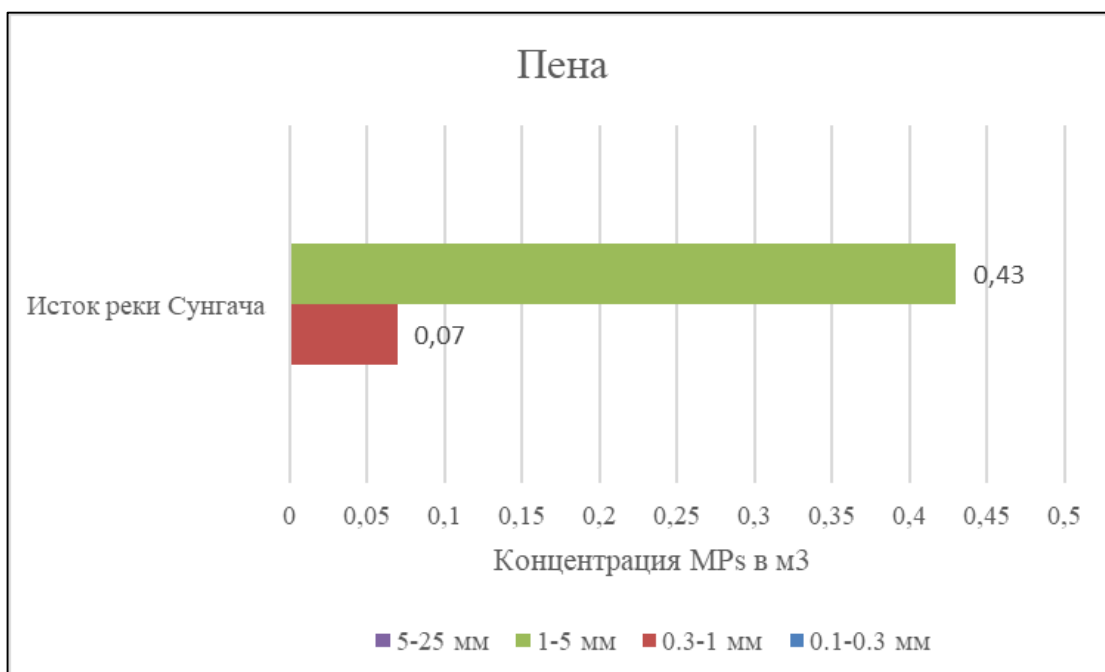


Рис. 14 Концентрация и размер «пены»

При помощи Инфракрасной спектроскопии, удалось идентифицировать качественный состав найденного микропластика (рис.15). Некоторые примеры микропластика, найденного в озере Ханка и р. Сунгача, показаны на (рис. 16).

Основной полимерный состав частиц – полиэтилен, полипропилен, полиэстер (ПЭТ), полистирол.

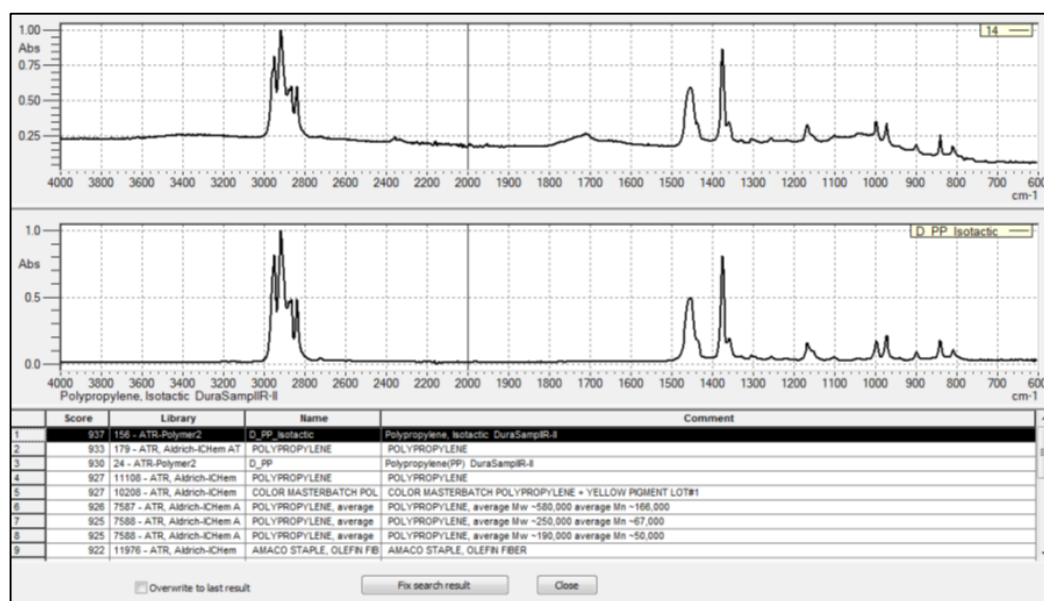


Рис. 15 Спектральный анализ



Рис. 16. Частицы пластика (от 30 до 200 мкм длиной), отобранные на 10 мкм, обнаруженные на фильтре с пробой из О. Ханка (фото сделано при помощи Рамановского микроскопа при определении спектрального состава).

Несмотря на то, что данные являются предварительными, уже можно с точностью сказать, что наиболее загрязненным, микропластиком, участком является исток реки Сунгачи. При этом пробы с некоторых участков озера не содержали частиц пластика или их концентрация была незначительна, что говорит о неравномерном распределении загрязнителя.

Выводы

1. Причина повышения уровня воды в озере Ханка комплексная и, вероятно, заключается в наложении нескольких явлений: естественного многолетнего цикла озера в условиях юга Дальнего Востока, климатических изменений в регионе, межбассейновой переброски вод из р. Мулингхэ. Также здесь возможен некоторый вклад и других факторов. Рассмотренные процессы, в первую очередь гидрологические и климатические, отрицательно сказываются на природопользовании в бассейне оз. Ханка. Аномальная ситуация с подъемом уровня воды в озере является основанием для корректировки проводимой политики, пересмотра плана развития территории с учетом различных сценариев дальнейшего развития событий – как для варианта повышения уровня или его стабилизации, так и для его понижения.

2. Экологическая ситуация в бассейне оз. Ханка не является благополучной. Неочищенные сточные воды промышленных и сельскохозяйственных предприятий являются ведущим антропогенным фактором, влияющим на экологическую обстановку в бассейне оз. Ханка. В настоящее время на китайской части бассейна сильно развито сельское хозяйство, особенно выращивание риса. Применяются пестициды и удобрения, что приводит к загрязнению окружающей среды.

3. Делать однозначные выводы о загрязнении озера Ханка микропластиком пока рано, необходимы более детальные и долговременные исследования. Но на сегодняшний момент можно сказать, что повышенная концентрация наблюдалась в истоке Сунгачи. Вероятно,

это связано с тем, что трансграничная река, протекающая на территории двух государств, принимает загрязняющие вещества как от российской, так и от китайской части водосборного бассейна.

Список литературы

1. Ананьева Е.Е. Озеро Ханка: Колебания уровня и их причины // Астраханский вестник экологического образования. 2016. № 4. С. 48-57.
2. Ананьева Е.Е., Бакланов П.Я., Качур А.Н. Проблемы озера Ханка и его бассейна на рубеже столетий // Трансграничное озеро Ханка: причины повышения уровня воды и экологические угрозы. Материалы I Дальневосточной конф. 27-29 апреля 2016 г. / ред. Ю.Н. Журавлёв, С.В. Клышевская. Владивосток: Дальнаука, 2016. С. 12-25.
3. Бакланов П. Я., Ганзей С.С. Трансграничные территории: проблемы устойчивого природопользования. Владивосток: Дальнаука, 2008. 216 с.
4. Бакланов П.Я., Качур А.Н., Ермошин В.В., Коженкова С.И., Бугаец А.Н., Базарова В.Б., Махинов А.Н., Ким В.И., Шамов В.В. Современные геоэкологические проблемы озера Ханка и пути их решения. / Доклад на II Всероссийской конференции с международным участием «Трансграничное озеро Ханка: современное состояние и перспективы развития», Владивосток 14-18 мая 2019 г.
5. Балонишникова Ж. А., Цыценко К. В., Крамарева Л. С. Использование водных ресурсов в бассейне озера Ханка // Водное хозяйство России. 2019. №3. С. 38 - 56
6. Блиновская Я.Ю., Состояние работ по изучению загрязнения пластиком, включая микропластиком (региональный обзор) // - 2016 – 43 с.
7. Бортин Н.Н., Горчаков А.М. Анализ факторов неустойчивости водного режима оз. Ханка и предлагаемых путей решения проблем // Трансграничное озеро Ханка: причины повышения уровня воды и экологические угрозы. Материалы I Дальневосточной конф. 27-29 апреля

2016 г. / ред. Ю.Н. Журавлёв, С.В. Клышевская. Владивосток: Дальнаука, 2016. С. 31-41.

8. Болгов М. В. Экстремальные уровни озера Ханка: природные вариации или антропогенное воздействие? // Вестник ОНЗ РАН. 2016. №8. С. 1 - 14

9. Геосистемы и их компоненты в Северо-Восточной Азии: эволюция и динамика природных, природно-ресурсных и социально-экономических отношений. Владивосток: Дальнаука, 2016, - 612 с.

10. Диагностический анализ состояния окружающей среды бассейна озера Ханки (российская часть). Национальный доклад Российской Федерации ДВО РАН. Владивосток, 2000, - 148 с.

11. Егидарев Е. Г., Базаров К. Ю., Мишина Н. В. Современное использование земель в бассейне озера Ханка // Геосистемы Северо-Восточной Азии: Особенности их пространственно-временных структур, районирование территории и акватории. Владивосток: ФГБУН Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 2019. С. 197 - 202

12. Коженкова С. И., Юрченко С. Г. Отчет о научно-исследовательской работе ФГБУН ТИГ ДВО РАН. Владивосток, 2019, - 13 с.

13. Кузнецова, Т. А. Ландшафтные основы устойчивого развития водно-болотных угодий Приханкайской равнины [Текст]: дипл. раб. / Т. А. Кузнецова; ДВГУ. – Владивосток, 2009. – 75 с.

14. Окладников А.П. Далекое прошлое Приморья и Приамурья / А.П. Окладников, А.П. Деревянко. - Владивосток: Дальневосточное книжное издательство, 1973. - 440 с.

15. Озеро Ханка – новый Арал? [Электронный ресурс] - Режим доступа: https://vl.aif.ru/society/ozero_hanka_-_novyy_aral, свободный.

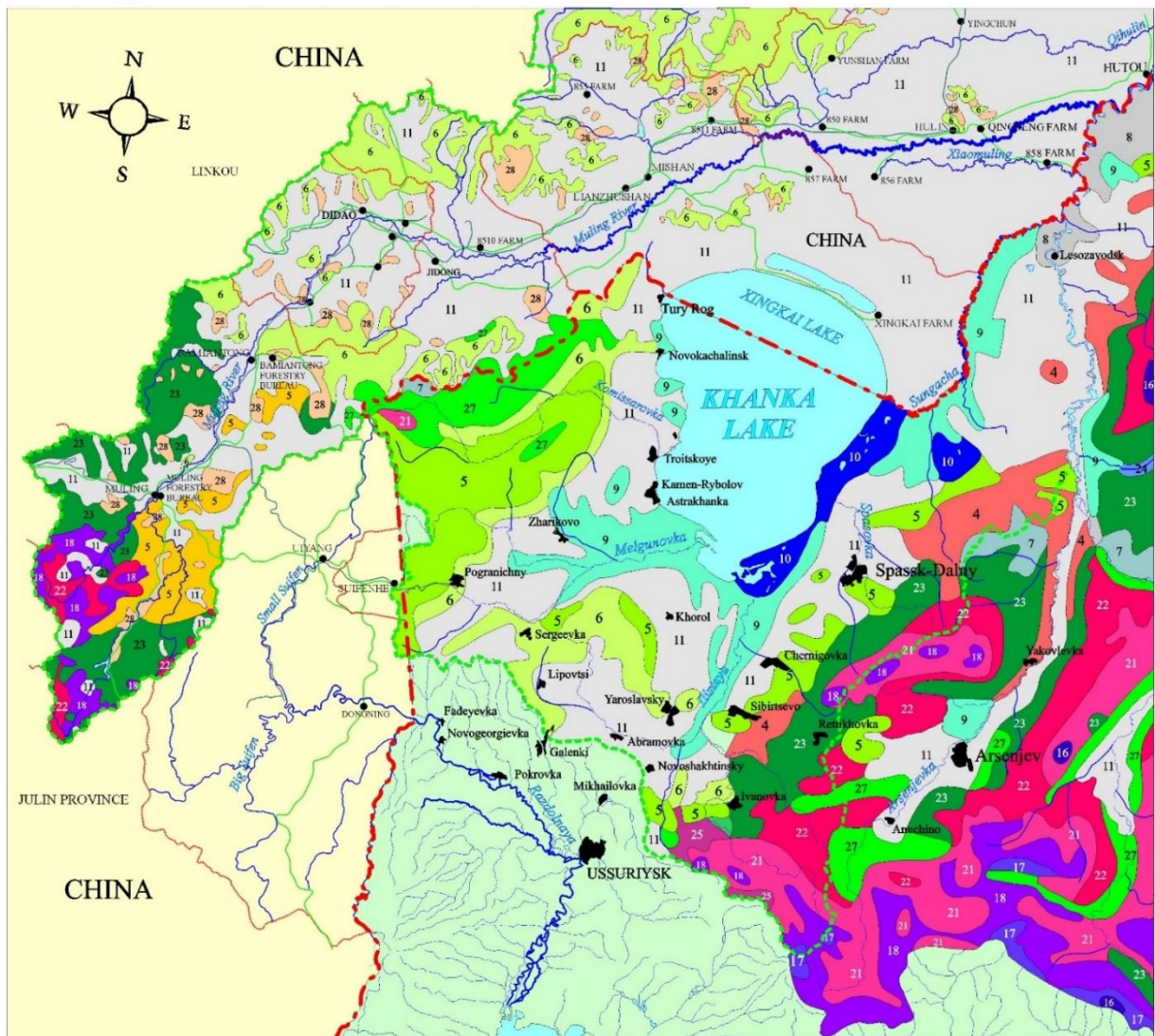
16. Попова А. Ю., Качур А.Н. Современные проблемы природопользования бассейна озера ханка (в связи с климатическими и гидрологическими изменениями) // Географические и геоэкологические исследования на Дальнем Востоке. 2019. №1. С. 96 – 106.

17. Шведов В. Г. Историческая политическая география: Обзор становления, теоретически основы, практика. Владивосток: Дальнаука, 2006. 259 с.
18. Шведов В. Г., Волынчук А. Б., Начальный этап формирования геополитического образа Дальнего Востока России // Территория новых возможностей. 2010. №2 (6).
19. Diagnostic analysis of Lake Xingkai/Khanka and it`s basin (Chinese side). China research academy of Environmental Sciences. 1999, - 89 p.
20. Dris, R., Imhof, K., Loder, M., Gasperi, J., Laforsch, C., Tassin, B. Microplastic Contamination in Freshwater Systems: Methodological Challenges, Occurrence and Sources // Microplastic Contamination in Aquatic Environments, Chapter 3. 2018. – 51 – 93 pp.
21. Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. Occurrence, Fate, and Effect of Microplastics in Freshwater Systems // Microplastic Contamination in Aquatic Environments, Chapter 4. 2018. – 95 – 132 pp.
22. Guideline for Plastics Measurement (Eng. Ver.) 2016. – 8 pp.
23. Global Surface Water Explorer (Режим доступа: <https://global-surface-water.appspot.com/>)
24. Horton, A., Walton, A., Spurgeon, D., Svendsen, C. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities // Science of The Total Environment, № 586, 2017. 127-141 pp.
25. Li, J., Liu, H., Chen, P. Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection // Water Research, №137, 2018. 362-374 pp.
26. Masura, J., et al.. Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. NOAA Technical Memorandu, 2015. 31 pp.
27. Michida, Y., et al Guidelines for Harmonizing Ocean Surface Microplastic Monitoring Methods. Ministry of the Environment Japan, 2019. 71 pp.

28. Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: part two of a global assessment // A report to inform the Second United Nations Environment Assembly GESAMP Working Group 40 2nd phase. – (№93) – 2017. 217 pp.
29. Xiangan, J. Lake Xingkai/Khanka. Experience and Lessons Learned brief. 447 – 459 pp.
30. Xiangan, J. Lakes in China – Research of their environment (vol. 2). China Ocean Press. 1995. – 482 pp.

ПРИЛОЖЕНИЕ

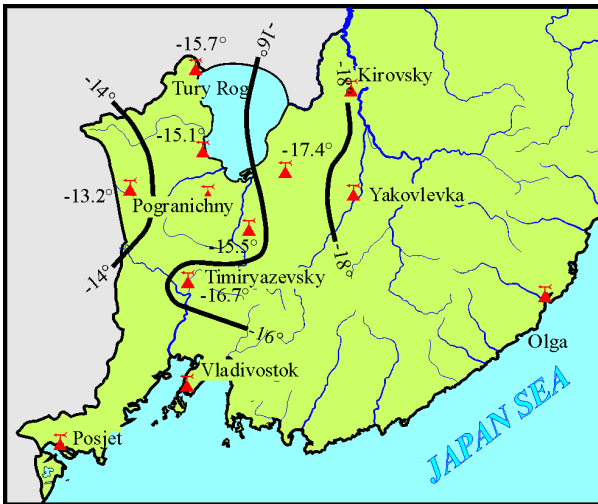
Vegetation of Khanka Lake Watershed.



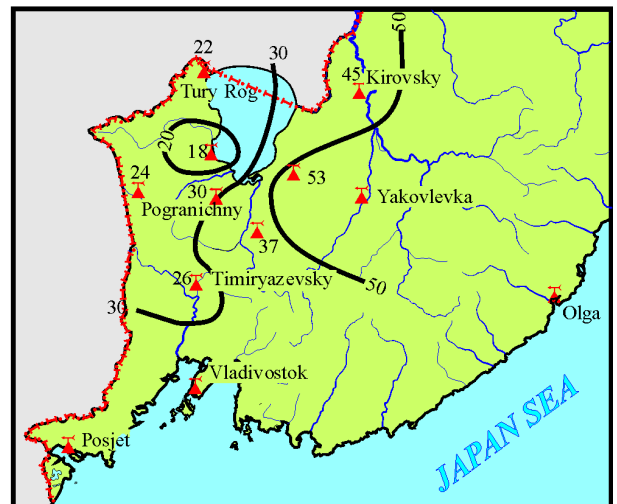
Vegetation of Khanka Lake Watershed

Рис. 1 Растительность озера Ханка [10, 19]

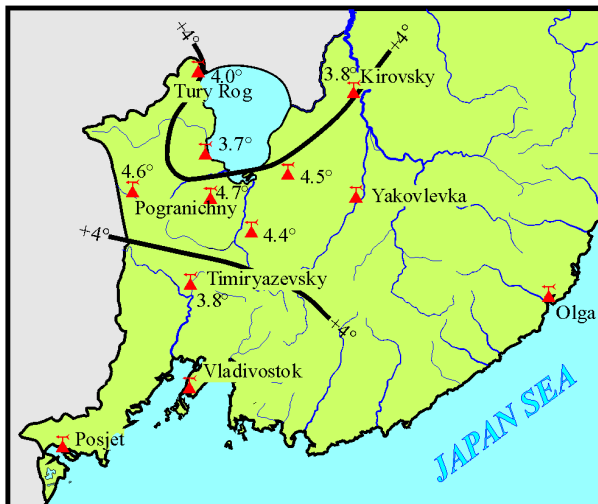
(карта подготовлена в рамках Национального доклада России и Китая по заказу UNEP)



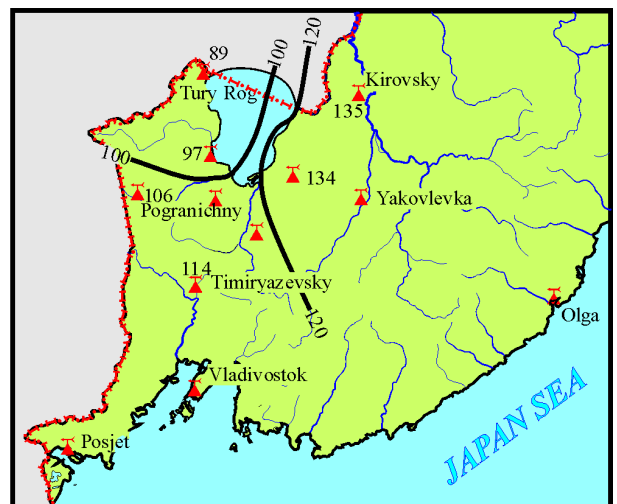
Distribution of average air temperature
in winter (XII, I, II)



Distribution of sum of precipitation
(mm) at Prikhankov'e in winter (XII, I, II)



Distribution of average air temperature
in spring (III-V)



Distribution of sum of precipitation
(mm) in spring (III-V)

Рис. 2 Распределение средней температуры воздуха (зима-весна)

[10,19]

(карта подготовлена в рамках Национального доклада России и Китая по заказу UNEP)

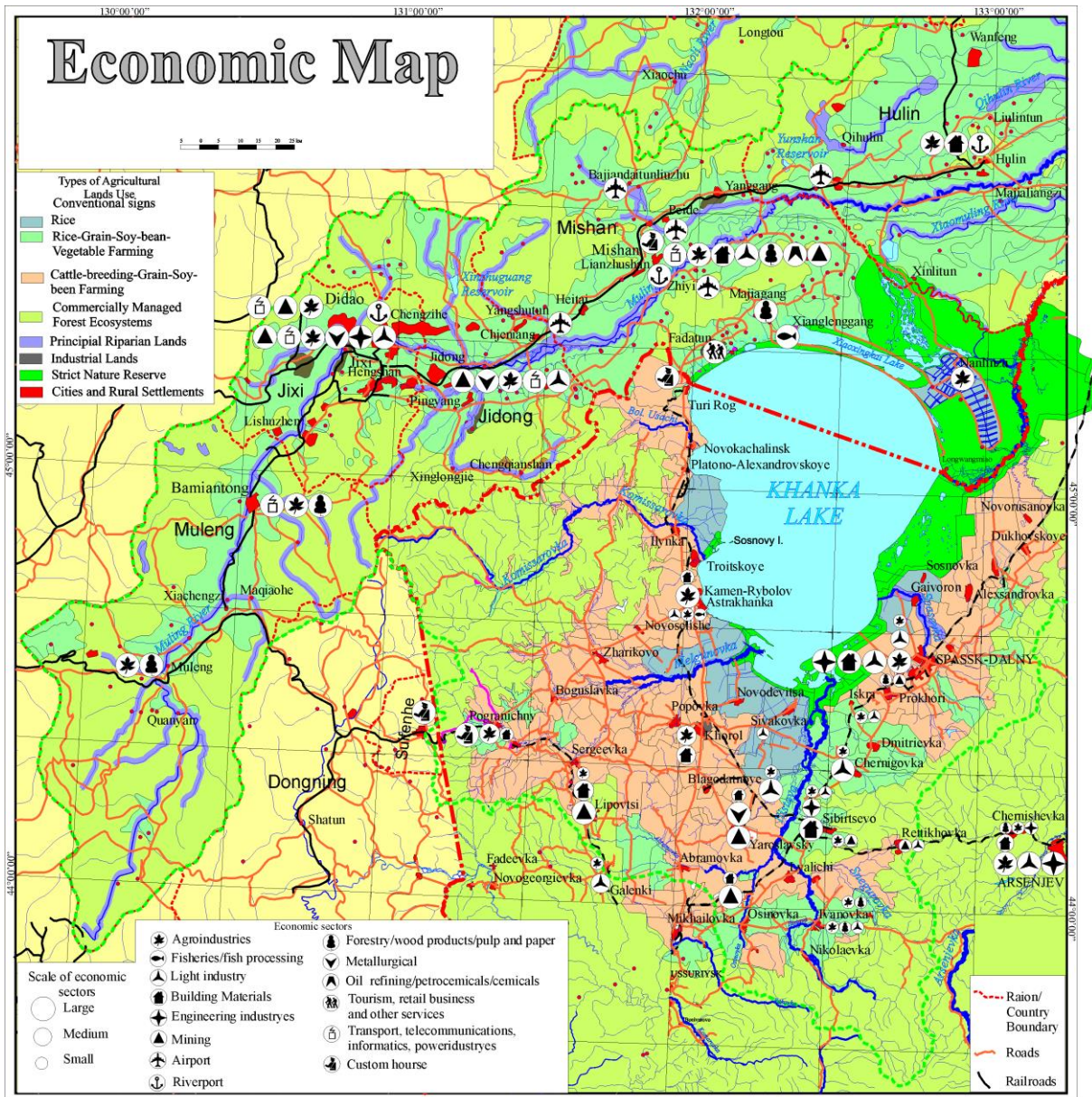


Рис. 3 Экономическая карта [10,19]

(карта подготовлена в рамках Национального доклада России и Китая по заказу UNEP)

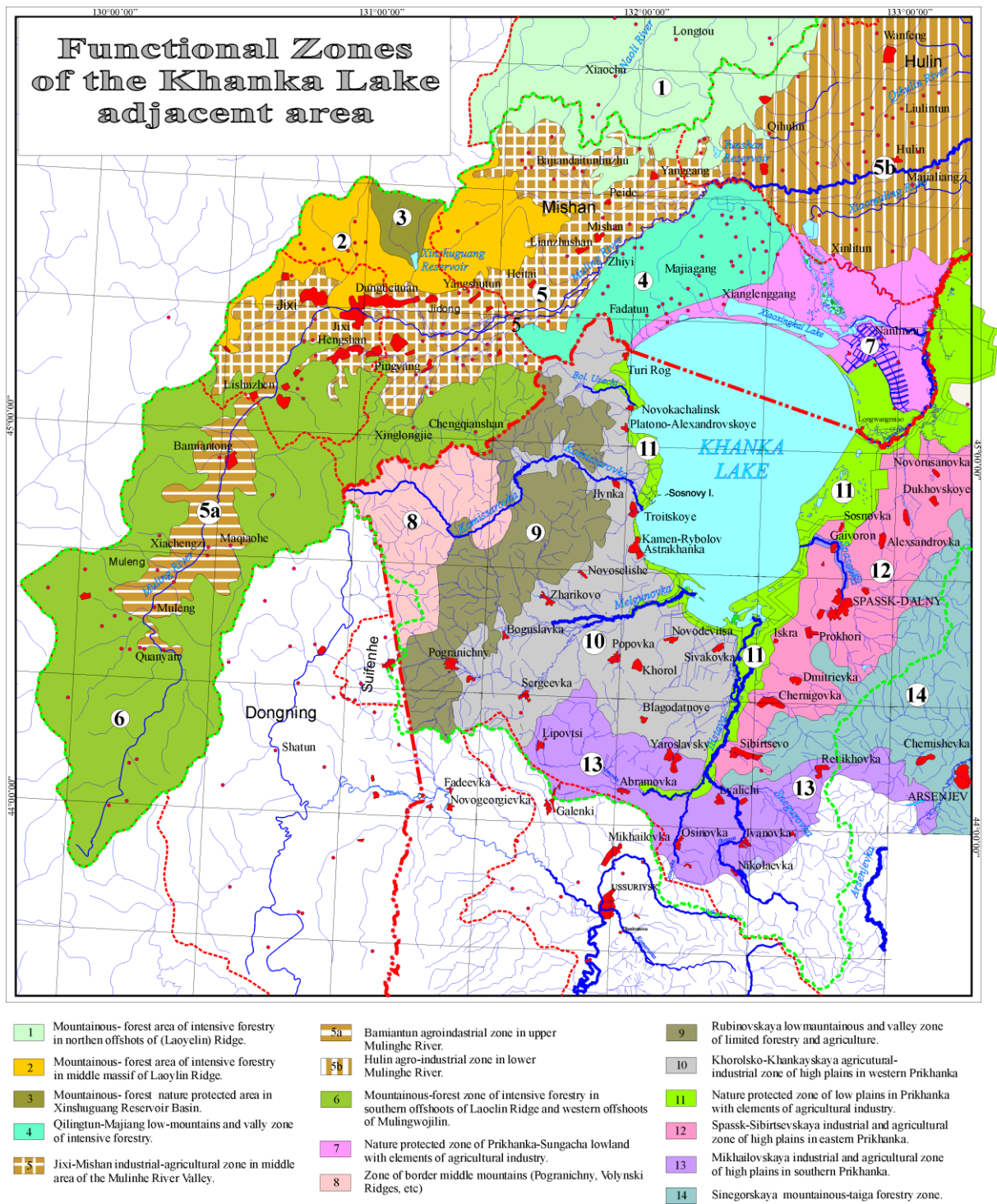


Рис. 4 Функциональные зоны на прилегающей к озеру Ханка территории

[10,19]

(карта подготовлена в рамках Национального доклада России и Китая по заказу UNEP)

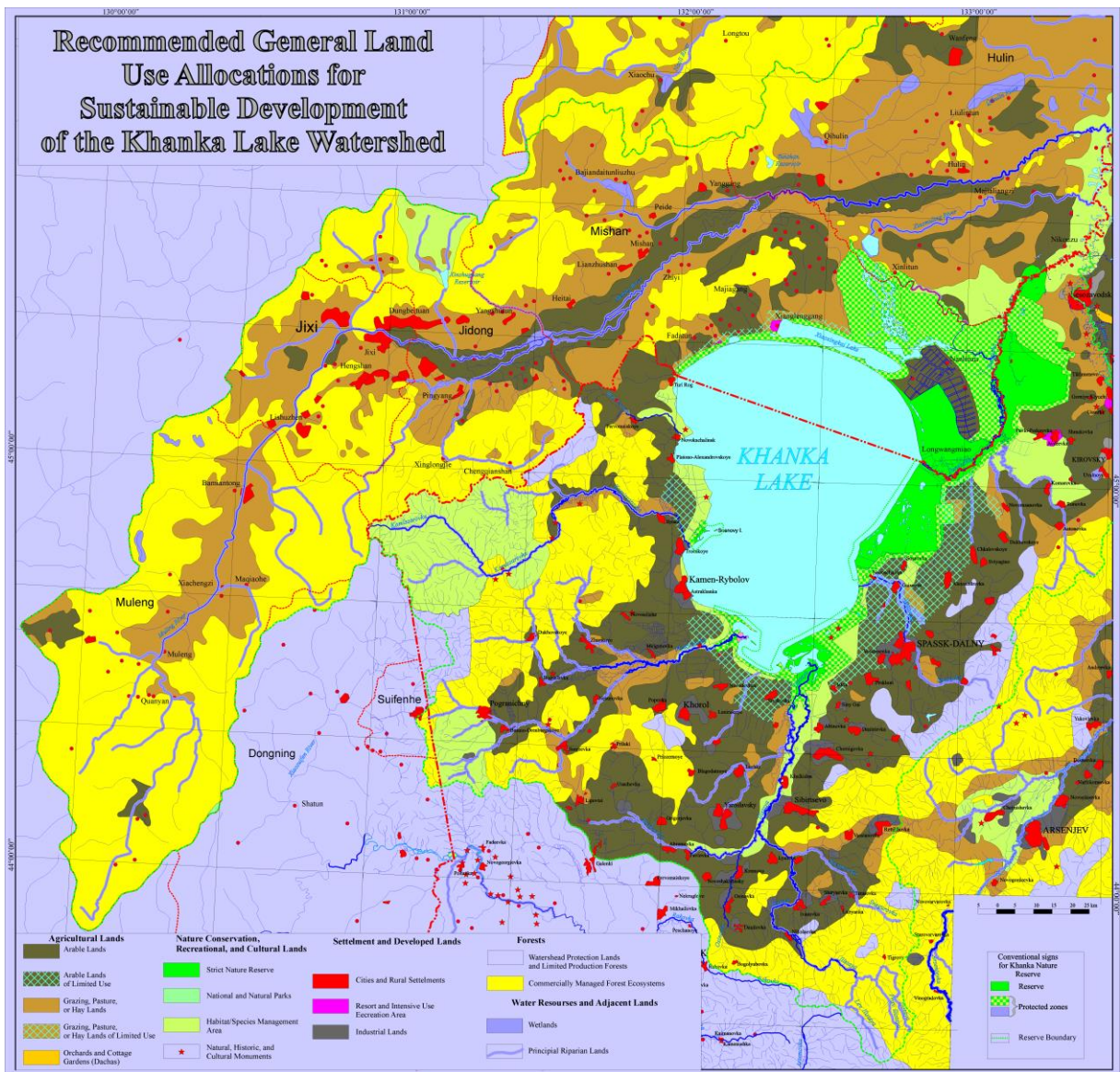


Рис. 5 Рекомендуемое природопользование для устойчивого развития бассейна озера Ханки [10,19]

(карта подготовлена в рамках Национального доклада России и Китая по заказу UNEP)