

Казахский Национальный университет им. аль-Фараби

УДК 581.6:550.7(574.51)

на правах рукописи

ЗАПАРИНА ЕЛЕНА ГЕННАДЬЕВНА

**Изучение биоразнообразия высших водных и прибрежно-водных растений
соленых и содовых озер Алматинской области**

8D05108-Геоботаника

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Отечественный научный консультант:
к.б.н., профессор Инелова З. А.

Зарубежный научный консультант:
PhD Борос Э. Э

Республика Казахстан
Алматы, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	4
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	5
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	6
ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	11
1.1 Изучение содовых и соленых озер на территории Казахстана.....	11
1.2 Изучение высшей водной и прибрежно-водной растительности соленых и содовых озер Казахстана.....	13
1.2.1 Классификация высших водных и прибрежно – водных растений	14
1.2.2 Факторы среды, влияющие на развитие прибрежно-водных растений.....	16
1.2.3 Реакция растений на содовый и солевой стрессы: адаптивные механизмы.....	19
1.2.4 Роль и значение водной и прибрежно-водной растительности.....	23
1.2.5 Высшие – водные и прибрежно-водные растения, как индикаторы соленых и содовых экосистем.....	24
1.3 Краткий очерк природных условий соленных и содовых озер Алматинской области Казахстана.....	26
1.3.1 Географические условия изучаемых соленых и содовых озер Алматинской области.....	26
1.3.2 Климатические условия.....	27
1.3.3 Почвенный покров.....	28
1.3.4 Водные ресурсы.....	29
1.3.5 Ветровые течения.....	31
2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.....	32
2.1 Закладка маршрута.....	32
2.2 Методика отбора проб воды.....	34
2.3 Методика отбора проб почвы и их подготовка к проведению химического анализа.....	37
2.4 Геоботанические и флористические методы.....	37
2.5 Методика выявления индикаторных видов.....	41
2.6 Методика расчета индекса сатурации, зависящая от потенциальных линейных независимых переменных.....	43
2.7 Статистическая обработка результатов.....	44
3 РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ.....	46
3.1 Изучение состава воды соленых и содовых озер Алматинской области (Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь, Балхаш, Ушколь)...	46
3.1.1 Физические параметры воды исследуемых соленых.....	46
3.1.2 Химический анализ воды соленых и содовых озер.....	49
3.2 Состав почвы прибрежной зоны исследуемых соленых и содовых озер.....	57
3.2.1 Механический состав почвы прибрежной зоны.....	57

3.2.2	Химический анализ почвы прибрежной зоны соленых и содовых озер.....	62
3.2.3	Агрохимический анализ почвы.....	67
3.3	Анализ видового разнообразия высших водных и прибрежно-водных растений содовых и соленых озер Алматинской области (Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь, Балхаш, Ушколь).....	71
3.3.1	Таксономический состав выявленной водной флоры.....	77
3.3.2	Сравнительный анализ видового разнообразия высших водных растений исследуемых озер	91
3.3.3	Экологический анализ водной растительности.....	94
3.4	Корреляционная взаимосвязь химических переменных и биологического разнообразия высших водных и прибрежно-водных растений.....	106
3.5	Индикаторные виды высших водных и прибрежно-водных растений для соленых и содовых озер.....	108
3.5.1	Территориальное распространение специфичных видов растений	108
3.5.2	Специфичные виды растений для соленых и содовых местообитаний.....	110
3.5.3	Экологическая модель индекса насыщения растений.....	116
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	120
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	122
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	136
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б	154
	ПРИЛОЖЕНИЕ В	158

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Данная диссертация написана и оформлена в соответствии со следующими стандартами:

1. ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

2. ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертационной работе применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Высшие водные растения – это сосудистые растения, анатомически и морфологически приспособленные к жизни в водной среде в погруженном, плавающем на поверхности воды или полупогруженном состоянии.

Прибрежно-водные растения – группа, объединяющая воздушно-водные растения и растения уреза воды.

Гидрофиты – настоящие водные растения, постоянно растущие в воде

Гигрофиты – наземные растения влажных, переувлажненных и периодически затопляемых местообитаний с высокой влажностью воздуха.

Околоводные растения – растения, приспособленные к обитанию в береговой полосе водоемов, характерные для низких и средних уровней зоны затопления, часто встречающиеся в сырых прибрежных отмелях при глубине до 40 см.

Гелофиты (воздушно-водные растения) – виды, у которых часть побегов находится в водной среде, а другая – возвышается над поверхностью воды.

Гидатофиты (погруженные растения) – виды, весь жизненный цикл которых проходит под водой, а также растения, у которых генеративные побеги возвышаются над поверхностью или плавают на поверхности воды, но основная растительная масса находится в толще воды.

Индикаторный вид – вид, указывающий на изменение среды обитания.

Галофиты – солетолерантные растения, способные к полноценной жизни в присутствии высоких концентраций NaCl более 200 мМ.

Алкалофиты – щелочетолерантные растения, способные проходить весь жизненный цикл в среде, где рН варьирует в пределах от 5 до 12.

Гликофиты – растения, которые не могут расти в присутствии высоких уровней солей, их рост подавляется или даже полностью предотвращается концентрацией NaCl 100–200 мМ.

Акцессорные виды – неспецифичные виды растений, способные произрастать в средах как с высокой соленостью, так и с высокой щелочностью.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

AMF	–	Арбускулярные микоризные грибы
Cond	–	проводимость
DCA	–	бестрендовый анализ компонентов
DOC	–	растворенный органический углерод
FNU	–	мутность
LMM	–	линейная модель смешанных переменных
O _x	–	кислород
PCA	–	анализ главных компонентов
TDN	–	общий растворенный азот
TDP	–	общий растворенный фосфор
TDS	–	общее количество растворенных твердых веществ
TN	–	общий азот
TOC	–	общий органический углерод
TP	–	общий фосфор
TSS	–	общее количество взвешенных твердых частиц
АФК	–	активные формы кислорода
БПК	–	биологическое потребление кислорода
ВВР	–	высшие водные растения
г.	–	город
КОКСОН	–	комитет по обеспечению качества в сфере образования и науки министерства образования и науки
мМ	–	единица измерения молярной массы (миллимоль на литр)
мС/см	–	единица измерения проводимости (миллисименсы на сантиметр)
Оз.	–	озеро
ОЭСР	–	организация экономического сотрудничества и развития
ПБР	–	Паннонский биогеографический регион
е%	–	эквивалентная концентрация (мг/л) / М/z

ВВЕДЕНИЕ

Общая характеристика работы. Диссертационная работа посвящена комплексному исследованию биоразнообразия высших водных и прибрежно-водных растений соленых и содовых озер Алматинской области. Основной акцент был направлен на изучение и выявление индикаторных видов, специфичных для соленой и содовой среды. Кроме того, в рамках данной работы были проанализированы физико – химические свойства воды и изучен почвенный состав прибрежной зоны исследуемых озер.

Актуальность исследования. Изучение биоразнообразия высших водных и прибрежно-водных растений в соленых и содовых озерах Алматинской области является важной задачей мониторинга в рамках программы устойчивого управления природными ресурсами, проведение которого актуально, согласно целям устойчивого развития (ЦУР) №14 «Сохранение морских экосистем», №15 «Сохранение экосистем суши условиях антропогенного воздействия». С экологической точки зрения, соленые и содовые экосистемы считаются экстремальными местообитаниями для произрастания высших водных и прибрежно - водных растений [1-2]. Сильная минерализация, стабильно высокий рН являются основными структурирующими факторами, которые оказывают прямое влияние на видовое разнообразие растительного покрова [3-4]. Солевой стресс возникает из-за присутствия NaCl , Na_2SO_4 и других нейтральных солей, тогда как щелочной стресс вызывается за счет присутствия NaHCO_3 и Na_2CO_3 [5-6]. Адаптация растений, устойчивых к соли (галофиты) и щелочи (алкалофиты) обусловлена ионной компартиментализацией, осмотической регуляцией, суккулентностью, работой антиоксидантных систем, поддержанием окислительно-восстановительных реакций, выведением поглощенных солей [7-8, 9]. Наличие вышеперечисленных механизмов адаптаций делает эти растения способными не только выживать в экстремальных условиях, но и проходить весь жизненный цикл, тогда как растения, не способные адаптироваться – погибают [10]. Таким образом, высокая концентрация солей и щелочей существенно влияет на видовой состав и структуру растительных сообществ, вызывая доминирование специфичных видов растений, таких как галофиты и алкалофиты. Понимание этих изменений позволит прогнозировать последствия засоления и защелачивания почв и водоемов, а также разрабатывать стратегии для сохранения биоразнообразия в экстремальных средах.

Следует отметить, что в условиях нарастающих экологических вызовов, таких как изменение уровня солености и щелочности водоемов, становится все более актуальным выявление и изучение специфических видов растений, способных выступать в качестве индикаторов состояния этих экосистем. Исследование, направленное на выявление индикаторных видов, характерных для соленой и щелочной среды, позволит создать эффективные методы мониторинга и оценки состояния водоемов. Использование таких видов в качестве биомаркеров может значительно упростить процессы мониторинга, позволяя оценивать состояние водоемов без необходимости применения специального оборудования и проведения сложных и дорогостоящих анализов.

Объект исследования: высшие водные и прибрежно – водные растения, вода, почва.

Цель исследования: изучение современного состояния биоразнообразия высших водных и прибрежно-водных растений соленых и содовых озер Алматинской области.

Задачи исследования:

1. Исследовать физические параметры и химический состав воды соленых и содовых озер Алматинской области (Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь, Балхаш, Ушколь);

2. Изучить почвенный состав прибрежной зоны исследуемых озер;

3. Проанализировать видовое разнообразие высших водных и прибрежно-водных растений содовых и соленых озер Алматинской области (Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь, Балхаш, Ушколь);

4. Охарактеризовать таксономический состав выявленной высшей водной флоры и провести экологический анализ;

5. Идентифицировать индикаторные виды из высших водных и прибрежно-водных растений засоленной и щелочной среды обитания.

Методы исследования. Для проведения исследований использовались классические геоботанические и флористические методы, в частности маршрутно – рекогносцировочный [11-12]. Забор проб воды и почвы проводился согласно заложенному маршруту в период 2021-2024 гг, в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05-85 и ГОСТ 17.4.4.02-84. Сбор высших водных растений производился по методике Л.И. Лисициной [13] и В.В. Соловьевой [14]. В качестве основных источников при определении гербарных образцов высших водных и прибрежно-водных растений были использованы многотомные сводки флор «Флора Казахстана, 1-9 тома» [15-16], «Определитель растений Средней Азии» [17], «Иллюстрированный определитель, 1-2 тома» [18], Определитель некоторых водных высших растений флоры Северного Прикаспия [19]. Список растений был выверен согласно международной базе Plants of the World Online (POWO) [20]. Для оценки видового богатства выявленной водной флоры были использованы индексы разнообразия [21]. Для оценки степени сходства и различия озер по видовому составу высших водных растений был использован коэффициент Сёренсена [22]. Чтобы оценить долю гидрофитов в выявленной флоре был применен индекс гидрофитности флоры, предложенный Б.Ф. Свириденко [23]. В экологическом анализе водной флоры была применена классификация, введенная В.Г. Папченковым [24]. Принадлежность выявленных потенциальных видов к индикаторным была проверена с помощью упрощенного варианта анализа индикаторных видов (ISA) [25]. Для проверки достоверности полученных данных были использованы статистические методы анализа и программные обеспечения (Past 4, Statistics 6, ANOVA).

Научная новизна исследования. Впервые в сравнительном аспекте проведено систематическое исследование распределения высших водных растений по трем соленым (Алаколь, Сасыкколь, Балхаш) и двум содовым озерам (Жаланашколь, Ушколь) Алматинской области. Кроме того, данное

исследование представляет собой первый комплексный подход к изучению озера Ушколь, который включает физический и химический анализы воды, исследование механического, агрохимического почвенного состава, изучение высших водных и прибрежно-водных растений. На основании полученных результатов, впервые доказано, что видовое разнообразие прибрежно - водных растений озер Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь, Балхаш и Ушколь выше в щелочной среде обитания, чем в засоленной. Впервые в рамках крупномасштабного географического исследования проведен анализ, на основании которого выявлены 6 индикаторных видов, 3 из которых индикаторы соленой среды: *Juncus maritimus*, *Salicornia europaea*, *Suaeda salsa* и 3 содовой (щелочной) среды: *Aster tripolium*, *Puccinellia dolicholepis*, *Suaeda physophora*.

Теоретическая значимость. Комплексный подход выполненной работы объединяет таксономический, экологический и химический анализы, что позволяет выявить взаимосвязи между физико-химическими характеристиками водоемов, почвы и распространением высших водных и прибрежно – водных растений. Это дает более глубокое понимание экосистемных процессов и адаптационных механизмов растений к специфическим условиям среды, а также экологических связей, что создает новую методологическую основу для дальнейших исследований водных экосистем, особенно в экстремальных условиях. Выявление индикаторных видов для соленых и содовых озер позволит лучше понимать процессы, происходящие в этих экосистемах, и определять их влияние на биоразнообразие. Полученные результаты станут основой для расширения представления о высших водных и прибрежно – водных растениях в экстремальных условиях.

Практическая ценность работы. Полученные в ходе выполнения диссертационной работы результаты могут быть использованы для разработки стратегий сохранения биоразнообразия растений и устойчивого управления водными ресурсами. Результаты по изучению высших водных и прибрежно-водных растений могут стать основой для развития «гидрботаники», как самостоятельной науки в Казахстане. Коллекционный гербарный материал может быть использован для проведения практических занятий для бакалавров, магистрантов и докторантов высших учебных заведений. Идентифицированные в ходе работы индикаторные виды могут быть использованы в качестве биомаркеров для мониторинга экологического состояния соленых и содовых озер. Это поможет выявить ранние изменения в экосистемах и принять своевременные меры по их охране. Индикаторные виды соленой и содовой среды позволят определять тип почвы и водоемов быстрым экспресс – методом биомониторинга, используя визуальное наблюдение, без использования дорогостоящего оборудования и химических лабораторных анализов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Определен современный состав (102 вида) высших водных растений трех соленых (Алаколь, Балхаш, Сасыкколь) и двух содовых озер (Жаланашколь, Ушколь) с уточнением 13 толерантных видов.

2. В ходе исследования выявлены факторы, положительно влияющие на разнообразие прибрежно – водных растений - рН и карбонаты (CO_3^{2-} , HCO_3^-), ингибирующие – хлор и сульфаты (Cl^- , SO_4^{2-}).

3. Идентифицированы 3 вида - индикатора для соленой среды: *Juncus maritimus*, *Salicornia europaea*, *Suaeda salsa* и 3 вида индикатора для содовой: *Aster tripolium*, *Puccinellia dolicholepis*, *Suaeda physophora*.

Связь с планом основных научных работ: Диссертационная работа выполнена в рамках проектов грантового финансирования МНВО РК AP08856160 «Оценка экологического состояния уникальных содовых и солёных экосистем Казахстана» и AP19674623 «Инновационный мультипространственный комплексный подход к биомониторингу соленых экосистем озера Алаколь». Научный руководитель: Инелова З.А.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы представлены и обсуждены на международных научно – практических конференциях: Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Фараби Әлемі» (2021 – 2024 гг.); международная научно – практическая конференция, посвященная «30-летию независимости Казахстана: Аспекты сохранения биоразнообразия», (Алматы. 26 ноября 2021 г.); Международная научно-практическая конференция «Проблемы опустынивания территории РК и вопросы их решения», (22 сентября 2023 г.); BIO Web of Conferences 100, 04015 (2024). Результаты диссертационной работы частично включены в отчеты о научно – исследовательской работе по проектам AP08856160 и AP19674623.

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 13 печатных работах, в том числе: 2 статьи в международных рецензируемых журналах с импакт-фактором, индексируемых в Scopus и/или Web of Science: 1 статья опубликована в научном журнале, имеющем импакт-фактор по данным JCR – 1,2 (Q3, 52-й перцентиль), 2-ая статья в журнале, имеющем импакт-фактор по данным JCR – 1,6 (Q1, 96-й перцентиль); 2 статьи в изданиях, входящих в перечень научных изданий, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки (КОКСОН) МНВО РК, 9 тезисов в материалах международных конференций.

Личный вклад докторанта заключался в сборе данных по теме исследования, выполнении основного объема теоретических и экспериментальных исследований, включая анализ, интерпретацию, оформление полученных результатов, подготовку рукописей для публикаций и написание диссертационной работы.

Объём и структура диссертации. Диссертация изложена на 159 страницах и состоит из разделов, включающих обозначения и сокращения, введение, обзор литературы, материалы и методы, результаты и обсуждения, заключение, список использованных источников из 197 наименований из них 112 на английском языке. Диссертационная работа содержит 35 таблиц, 47 рисунков, 3 приложения.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Изучение содовых и соленых озер на территории Казахстана

В настоящее время исследованию соленых и содовых озер уделяется повышенное внимание, в виду их уникального химического состава воды и биологического разнообразия жизни. Кроме того, они служат важными природными ресурсами со значительными эстетическими, культурными, экономическими, рекреационными, научными, природоохранными и экологическими ценностями [26].

Солёные озёра относятся к уникальным природным экосистемами, в которых отмечается значительное количество минеральных солей. Особым видом таких водоёмов считаются и содовые озёра.

Во многих работах зарубежных авторов представлены результаты по изучению химического состава воды соленых и содовых озер, микробного и биологического разнообразия флоры и фауны [2, 27-30].

Имеются сведения об изучении концентрации рН, ионного состава, мутности, прозрачности воды соленых и содовых озер Европы и Центральной Азии. В соленых водах во всем мире преобладают восемь основных растворенных веществ: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- и SO_4^{2-} [31-34]. Содовые озера характеризуются наличием сочетания натрия (Na^+) и карбонатов (HCO_3^- , CO_3^{2-}) в качестве доминирующих ионов, и стабильно высокого значения рН > 9. Содовый тип воды обычно имеет высокие концентрации хлоридов, различные концентрации сульфатов и калия, но низкие концентрации щелочноземельных металлов из-за равновесного состояния с карбонатными минералами (кальцит, высокомагнезиевый кальцит, стронцианит и др.). Поскольку образование содовых озер зависит от низких уровней растворенного кальция и магния, а также от преобладания бикарбонатов ($\text{HCO}_3^- \gg \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), они представляют собой наиболее стабильную среду с высоким рН (рН > 9) на Земле, что четко отличает их от других внутренних соленых вод [35].

На территории Казахстана также проводились исследования по изучению соленых озер, большинство из которых были направлены на изучение химического состава воды [32, 36-37]. Однако, должного внимания исследованию содовых озер до настоящего времени уделено не было.

Изучение озер Казахстана началось еще в конце XVIII столетия. В этот период основной фокус исследования был направлен на изучение возможности организации солевых промыслов. При обследовании соленых озер были получены статистические данные о составе донных отложений, характере рассола и способах добычи соли.

С 1940 по 1950 гг. изучением соленых озер в Казахстане занимался Е.В. Посохов (1948, 1949). Обобщенные данные его исследований опубликованы в книге «Соленые озера Казахстана» [36].

В конце 60-х – начале 70-х гг. XX в. было исследовано значительное количество водоемов и водотоков в физико-географическом, гидрологическом и

гидрохимическом отношении. Результаты комплексных гидрологических экспедиционных исследований были опубликованы в обширной монографии [37].

В начале 90-х гг. Институтом географии АН КазССР по заданию Госкомприроды КазССР проводились комплексные исследования озер южного и юго-восточного Казахстана [36].

Первые данные об озере Балхаш были обнаружены в китайских письменных источниках.

В начале XIX века сведения об озере Балхаш появились в отчетах путешественников, таких как Петр Семенов-Тянь-Шанский и Николай Пржевальский. Они проводили исследования флоры, фауны и географии региона, что стало основой для последующих научных работ [37].

В начале XX века начались более систематические исследования озера, включая экспедиции под руководством Советской Академии наук. В этот период были проведены гидрологические и метеорологические наблюдения, изучение водного баланса и уровня минерализации озера.

В 1903-1904 гг. большой вклад в исследование озера Балхаш и примыкающих к нему территории внёс русский географ Л.С. Берг [37].

В середине XX века были начаты комплексные экологические исследования, изучавшие влияние антропогенных факторов на озеро, включая сельское хозяйство и промышленность [37].

В последние десятилетия (XXI век) исследования сосредоточены на экологических проблемах озера Балхаш, таких как снижение уровня воды, повышение минерализации и загрязнение. Ученые также разрабатывают программы по сохранению и восстановлению экосистемы озера [38]. Исследования проводятся по изучению водного баланса, динамики уровня воды, минерализации [39], по оценке состояния экосистем, а также влиянию антропогенных факторов [40] и др.

Эти исследования играют ключевую роль в понимании текущего состояния озера Балхаш и Прибалхашья для разработки стратегий в целях его сохранения и устойчивого использования.

В XIX веке первыми исследователями, которые обратили внимание на озеро Алаколь, были российские путешественники и ученые. Одним из них был Петр Семенов-Тянь-Шанский, который описал озеро в своих трудах. Его экспедиции дали первые научные данные о географическом положении и характеристиках озера [37].

Ряд исследовательских работ в течение XIX и первой половины XX вв. были направлены на изучение озер Алаколь-Сасыккольской системы. В это время Алакольские озера неоднократно посещали и обследовали географы, геологи, топографы, ботаники и гидробиологи. Особого внимания заслуживают исследования А. Шренка (1840 – 1845 гг.), А. Голубева (1867 г.), В.В. Сапожникова (1904 – 1907 гг.), В.А. Обручева (1905-1906, 1909 гг.), Б.К. Терлецкого (1931 – 1940 гг.), Э.А. Сваричевской (1933 г.), К.В. Курдюкова (1940 г) [41].

Впервые химический анализ состава воды оз.Алаколь был проведен в 1914 г. Э.А. Свирчевским, а озер Сасыкколь и Жаланашколь – в 1927 г. Б.К. Терлецким. Регулярный отбор проб на химический анализ из оз.Алаколь производился гидрометеослужбой Казахстана с 1959 г., а на остальных озерах с 1960 – 1961 гг. [41].

С 1961 г по 1964 гг. на всех озерах Алакольской системы были выполнены гидрохимические исследования Алакольской гидрологической экспедицией Алма-Атинской гидрометеорологической обсерватории. Начиная с 1967 г в течение многих лет Казахский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства проводил на Алакольских озерах широкомасштабные гидрохимические и токсикологические исследования, которые продолжались и в 2000-х годах.

До 1987 г. в основном изучался гидрохимический режим озер. С 1987 г. по 1993 г. наряду с гидрохимическими были проведены и токсикологические исследования, которые продолжались до 2002 г [42].

В сентябре 2004 г. был проведен обширный химический анализ воды озер Алаколь-Сасыккольской системы озер. После проведенных исследований, был сделан ряд заключений. В целом, уровень и гидрохимический режимы в водоемах зависят от ряда природных и антропогенных факторов. На химический состав воды оказывают большое влияние колебания уровня водоемов. Специфической особенностью оз.Алаколь является необычно сильное перемешивание водной массы, особенно в осенний период. Из-за сильного перемешивания воды сложно определить истинное содержание растворенного кислорода, окисляемости органических веществ [37]. В 2007 году была опубликована книга «Глобально-значимые водно-болотные угодья Казахстана (Алаколь – Сасыккольская система озер)», в которой приведены результаты оценки экологического и природоохранного значения водно – болотных угодий Казахстана. Работа такого характера была выполнена в Казахстане впервые, так как было проведено комплексное исследование водной и наземной среды обитания, почвенно-растительного покрова, флоры и фауны. В настоящее время на озере Алаколь постоянно проводятся исследовательские работы на различных уровнях организации, что необходимо для мониторинга его состояния и оценки качества биоты [43-44].

Однако, отдельных сведений по изучению содовых озер в Казахстане не имеется, за исключением обобщенного сборника трудов о химическом составе озера Казахстана Е.В. Посохова [36].

1.2 Изучение высшей водной и прибрежно-водной растительности соленых и содовых озер Казахстана

Закономерностям формирования состава и пространственной структуры растительности водных экосистем в последние десятилетия уделяется большое внимание [45].

Изучение высших водных и прибрежно-водных растений, макроскопической флоры и растительности водоёмов, попадающих под

определения Конвенции о водно-болотных угодьях (г. Рамсар, Иран, 1971 г.) [46-47], представляет интерес, как с точки зрения выявления уровня фиторазнообразия региона, так и для выявления кормовой базы животных.

1.2.1 Классификация высших водных и прибрежно – водных растений

В настоящее время в литературе по гидробиологии вместе с терминами «водные растения» и «макрофиты» применяются и другие - «высшие водные растения», «водные сосудистые растения», «водные цветковые растения», однако все эти термины объединяют растения, существование которых связано с водной средой [48].

В работах А.П. Садчикова, М.А. Кудряшова за 2002 – 2004 гг. применяется термин «прибрежно-водные растения», который объединяет все растения, обитающие в толще воды и на ее поверхности, а также прибрежные растения [48].

Трудности, возникающие из-за разграничения водных и наземных растений, а также наличие прибрежно-водных видов, которые способны произрастать на границе двух ниш, привели к еще одной проблеме - наименованию данной группы растений, а именно необходимости различать «растения водоема» и «водные растения». Эти устойчивые выражения не являются синонимичными, так как в первом случае, говоря о растениях водоема, к ним следует относить не только гидрофиты и гелофиты, но и промежуточные формы, которые могут произрастать в прибрежной зоне (это могут быть деревья, кустарники, полукустарники). Ко второй группе «водных растений» стоит относить исключительно гидро-, - гигро и гелофиты, которым для роста и развития необходима вода [49]. К примеру, гидрофиты и гигрофиты, характеризуются гидроморфным строением стебля и листьев, что усложняет их разделение на две разные экологические группы. Именно поэтому, исследователи в одних и тех же регионах могут насчитывать различное количество высших водных и прибрежно – водных растений.

До настоящего времени, в научной и учебной литературе, отсутствует единая классификация прибрежно-водной растительности. Нет и общепринятого понятия «прибрежно-водной флоры». Отсутствие единой общепринятой классификации значительно усложняет проведение экологического анализа водной растительности. Поэтому ниже будут приведены понятия и определения, которые наиболее часто встречаются в литературе и используются специалистами. Чаще всего, водные растения подразделяют на гидрофиты и гигрофиты. В некоторых случаях выделяют и группу прибрежных мезофитов. Другие исследователи прибрежно-водные растения делят на следующие группы: воздушно-водные, растения с плавающими листьями и погруженные растения. В последних двух группах выделяют прикрепленные растения и свободноплавающие. Помимо приведенных примеров, в литературе существует много иных терминов и классификаций.

1. В зональной классификации водной растительности выделяют 4 основных вида [50]:

- Донная растительность;
- Затопленная укорененная растительность;
- Зона подводной свободно плавающей растительности;
- Зона поверхностной растительности.

Донная растительность чаще всего представлена водорослями. Затопленная укорененная растительность укореняется в почве пруда, но погружаются в воду. Примером растений может быть *Potamogeton alpinus*, *Najas minor*. Корни растений в зоне погруженной свободно плавающей растительности не укореняется на каком – либо субстрате, но и не плавает: *Ceratophyllum demersum*, *Ceratophyllum submersum*. Растения в зоне поверхностной растительности плавают на поверхности водоема: *Salvinia natans*, *Lemna minor*.

2. Классификация, основанная на среде обитания [50]. Водные растения занимают разные экологические ниши в водной среде. Гидрофиты - настоящие водные растения. К ним относятся *Najas minor*, *Ruppia maritima*. Береговые сорняки растут в основном вдоль берегов водоема: *Typha angustifolia*, *Phragmites australis*. Болотные сорняки появляются на заболоченной почве, могут расти как на суше, так и в воде: *Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris*.

3. Классификация по биологическим группам [50]. В этой классификации выделяют полупогруженные, плавающие на поверхности и погруженные растения. К полупогруженным относятся *Typha angustifolia*, *Phragmites australis*. Их особенность заключается в том, что они только на половину погружены в воду, при этом их верхушка может находиться высоко над водой.

Плавающие на поверхности макрофиты - относительно крупные растения, которые видны невооруженным глазом, встречающиеся на поверхности водоема: *Salvinia natans*, *Lemna gibba*. Погруженные макрофиты также являются относительно крупными растениями, которые видны невооруженным глазом, но погружены полностью: *Myriophyllum verticillatum*, *Potamogeton perfoliatus* [50].

Имеется значительное количество трудов [51-52], в основу которых при классификации гидрофитов берутся те или иные признаки: эколого – физиономические, эколого – биологические, эколого – морфологические и др.

В данной работе за основу взята классификация, разработанная А.Г. Лапировым и В.Г. Папченковым [49], которую также широко использует в своих трудах Н.В. Шадрина [53] (таблица 1).

Таблица 1 - Классификация водных растений, введенная В.Г. Папченковым, основанная по приуроченности к водным экологическим группам [49].

Тип/группа	Экология	Глубина произрастания
1	2	3
Гидрофиты	настоящие водные растения	

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Группа 1	свободно плавающие в толще воды	глубина от 0,5 до 2,5 м
Группа 2	погруженные, укореняющиеся гидрофиты	
Группа 3	свободноплавающие на поверхности воды	
Группа 4	укореняющиеся гидрофиты с плавающими листьями	
Гелофиты	воздушно-водные растения	до глубины 1 – 1,2 м
Группа 5	высокотравные гелофиты (средняя высота побегов 180-250 см)	
Группа 6	низкотравные гелофиты (средняя высота побегов 60-100 см)	
Группа 7	приземные гелофиты (высота побегов менее 10 см)	
Околоводные растения	типичны для низких уровней береговой зоны затопления	прибрежные отмели, при глубине 20-40 см
Группа 8	гигрогелофиты	прибрежные отмели при глубине 20-40 см
Группа 9	травянистые гидрофиты	средние уровни береговой зоны
Группа 10	гигромезофиты	произрастают на отмелях

Данная классификация является одной из наиболее детально разработанных и широко используемых систем классификаций, учитывающая как экологические, так и морфологические особенности растений, что позволяет точнее определить их роль и место в экосистеме.

1.2.2 Факторы среды, влияющие на развитие высших водных и прибрежно-водных растений

Несмотря на наличие общих закономерностей распределения макрофитов, растительные сообщества в пределах каждого водоема имеют ряд индивидуальных особенностей: различаются флористическим составом, обилием, занимаемой площадью и распределением по территории (рисунок 1).

Водная и прибрежно-водная растительность относится к азональному типу растительности и определяется в первую очередь связью растений с водной

средой. Однако, климатические, почвенные и другие условия биотопов, свойственные природной зональности, не могут не сказываться на флоре и характере зарастания водоемов и водотоков рассматриваемой территории.

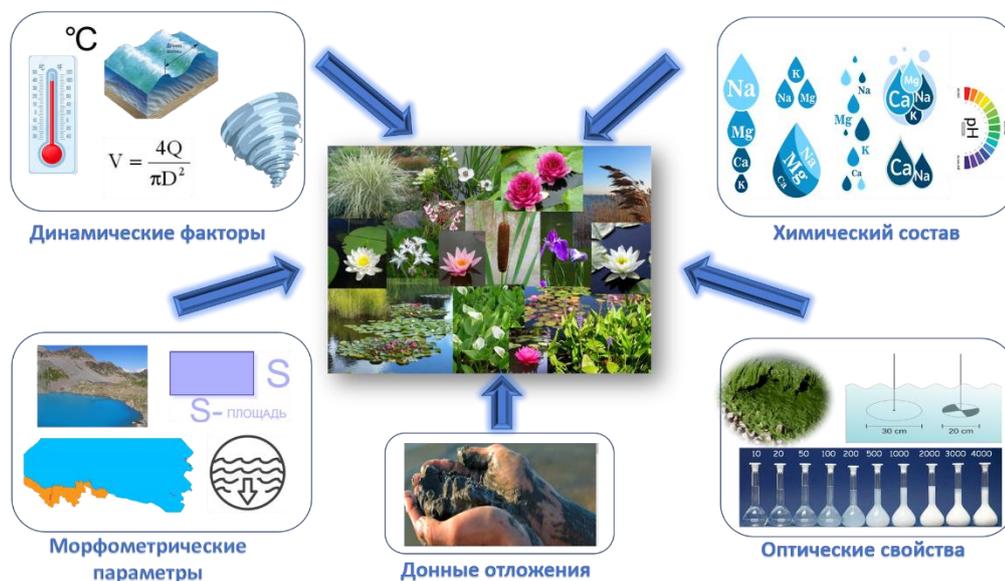


Рисунок 1 – Влияние внешних факторов на рост и развитие высших водных и прибрежно - водных растений

Распространение высших водных растений, интенсивность их развития, численность зависят от следующих абиотических факторов [54]:

- морфометрические особенности водоемов (глубина, площадь, изрезанность береговой линии, крутизна уклонов, заводи и мелководья);
- оптические свойства (прозрачность, мутность, цветение воды);
- динамические факторы (температура воды, ветер, скорость течения и т.д.);
- химические факторы (содержания в водоеме биогенных макро- и микроэлементов, газового состава вод, величины рН и др.);
- донные отложения (механический и химический составы и т.д.);

К основным климатическим факторам среды, оказывающим влияние на рост и развитие водной растительности, также относятся:

- *Температура водоемов*: температура воды оказывает большое влияние на интенсивность фотосинтеза и распространение растений в толще воды. Оптимальными для развития прибрежно-водной растительности являются теплые (+25°C) и умеренные воды (+18-20°C). В теплых водах (тропики, субтропики) вегетация водных растений продолжается практически круглый год. В умеренных широтах с резкими годовыми колебаниями температуры воды вегетация растений начинается сразу же после освобождения водоема от льда. Однако, рост растений из-за низких температур воды происходит достаточно медленно [55].

- *Ветер*: создаваемая ветром гидродинамика воздействует на водные растения через опыление, круговорот питательных веществ, выкорчевывание и вымывание. В зависимости от интенсивности, силы и частоты ветра и волны могут иметь положительные или отрицательные эффекты на водные растения.

- *Движение воды*: вода обладает значительной плотностью, поэтому, волнение, вращательное движение, течение – очень важные, часто лимитирующие факторы в жизни растений. С другой стороны, перемешивание воды благоприятно, так как способствует равномерному распределению растворенного в воде кислорода и минеральных солей. Движение воды может вызвать у растений образование особых форм, приспособленных к жизни на сильном течении и противостоящих действию прибоя [56].

- *Минеральное питание растений*: азот является наиболее важным элементом питания растений. От его количества зависит продуктивность растений, как на суше, так и в водоемах. В процессе круговорота азота в природе он переходит из одной формы в другую [57-58]. Фосфор относится к числу наиболее дефицитных элементов, определяющих развитие растений. По значимости он занимает второе место после азота. Основное физиологическое значение этого элемента состоит в том, что он входит в состав макроэнергетических соединений, участвующих в запасании и расходовании энергии в процессе клеточного обмена.

- *Прозрачность воды*: свет является необходимым условием существования всех фотосинтезирующих организмов, в том числе и прибрежно-водной растительности. Солнечные лучи, падающие на водную поверхность, частично отражаются от нее, другая часть, преломляясь, проникает вглубь. Количество отраженного света зависит от угла, под которым солнечные лучи падают на водную поверхность. Основная часть проникающего в воду солнечного света поглощается молекулами воды, растворенными и взвешенными в ней веществами. Наибольшее препятствие к проникновению света в водную толщу оказывают растворенное органическое вещество, прежде всего водный гумус, минеральные частицы и планктонные организмы [59].

- *Свет*: является критическим фактором фотосинтеза и лимитирующим фактором распространения водных растений. Теневыносливость и связанные со светом морфологические вариации некоторых видов могут обеспечить конкурентное преимущество в условиях ограниченного света, тем самым оказывая влияние на структуру сообщества. Имеются сведения, что если уменьшается прозрачность или увеличивается глубина, то соответственно уменьшается и количество света, доступного для фотосинтеза. Способность водных растений выживать в различных условиях доступности света отчасти связана с их формой и ростом. В целом, условия низкой освещенности в мелководной прибрежной зоне способствуют преобладанию гелофитов в то время, как на большой глубине преобладают растения со свободно плавающими листьями - гидрофиты [60-61].

- *Мутность*: является показателем измерения непрозрачности, которая может быть вызвана взвешенными частицами или же растворенными в воде,

рассеивающими свет, делая воду мутной или непрозрачной. Имеются сведения, что высокая мутность воды ограничивает покрытие водной растительностью [62-64], в то время, как многие мелкомасштабные эксперименты показывают, что растительность может уменьшить мутность за счет уменьшения потока воды, стабилизации отложений и конкуренции с фитопланктоном за питательные вещества [65]. Важно отметить, что для неглубоких содовых и соленых озер, мутность является одним из основных, ключевых факторов, которые наряду с такими параметрами, как соленость, рН, концентрация полигумического органического углерода, высокая щелочность создают экстремальные условия для водоемов [66].

- *рН водоемов*: в природных водоемах величина рН зависит от многих физико-химических и биологических факторов. Из физико-химических факторов наибольшее значение имеет наличие в среде углекислоты и углекислых солей – карбонатов и бикарбонатов. Эти вещества в основном регулируют рН среды. Величина рН оказывает прямое влияние на водную растительность, в первую очередь - погруженную. Наиболее благоприятные условия для развития прибрежно-водных растений – это слабощелочные воды; в кислых водоемах они растут значительно хуже. Погруженная водная растительность в большей степени зависит от величины рН, состава и концентрации газов, химического состава илов, чем растения с плавающими и надводными листьями.

Однако, следует отметить, что высшие водные и прибрежно-водные растения, ведут прикрепленный образ жизни и лишены возможности мигрировать в более благоприятные условия, разработали ряд адаптационных механизмов, которые позволяют им выживать в экстремальных условиях содовых и соленых озер [67].

1.2.3 Реакция растений на солевой и щелочной стрессы: адаптивные механизмы

Засоление – одна из наиболее серьезных экологических проблем, ограничивающих продуктивность растений, особенно в засушливом и полузасушливом климате [68].

Соленые и содовые водно-болотные угодья, также являются экстремальными местообитаниями для сосудистых растений [2], поскольку соленость и щелочность являются основными структурирующими факторами, сильно влияющими на видовое богатство растительного покрова [4].

Стрессовые эффекты засоления или защелачивания среды зависят от их ионного состава. Основными ионами, передающими сигналы стресса засоления, являются катионы: Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и K^+ и анионы: Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} и NO_3^- , а их взаимодействие напрямую влияет на клеточный гомеостаз [69]. Солевой стресс возникает главным образом в результате взаимодействия NaCl , Na_2SO_4 и других нейтральных солей, тогда как щелочной стресс индуцируется NaHCO_3 и Na_2CO_3 , которые, в свою очередь, повышают рН из-за присутствия большого количества солей [70].

Влияние солевого или щелочного стресса на различные виды растений ранее изучалось и имеет оценку в многочисленных исследованиях. Однако большинство доступных исследований было сосредоточено на конкретном этапе жизни растений, например, прорастание семян, ранний или вегетативный рост и т.д. [71-73].

В зависимости от способности растений расти в засоленных средах они классифицируются, как гликофиты и галофиты. В то время, как растения, произрастающие в условиях повышенной щелочности, называются алкалофиты. Большинство механизмов адаптации растений к засолению и защелачиванию, сопровождаются определенными морфологическими и анатомическими изменениями [74].

Гликофиты, к которым относится большинство сельскохозяйственных культур, не могут расти в присутствии высоких уровней соли; их рост подавляется или даже полностью предотвращается концентрацией NaCl 100–200 мМ, что приводит к гибели растений [75]. Такое торможение роста может произойти даже в краткосрочной перспективе.

Напротив, галофиты способны не только выживать в присутствии высоких концентраций NaCl более 200 мМ, но и способны к полноценной жизни в экстремальных условиях [10]. Галофиты разделяют на облигатные и факультативные. Так, в отличие от факультативных галофитов, облигатные галофиты могут расти исключительно в засоленных местообитаниях: их рост и развитие возможны только в условиях высокой засоленности [76].

Алкалофиты способны расти и развиваться в щелочной среде, где pH варьирует в пределах от 5 до 12. Облигатные алкалофиты произрастают в пределах pH 8,5 – 11, факультативные – 5 – 12.

Чтобы выдержать солевой и щелочной стресс, растениям требуется задействовать разнообразные физиологические и биохимические механизмы. Среди них: изменения в морфологии, анатомическом строении, гормональном профиле, перераспределение токсичных ионов и биохимическая адаптация, например, активация антиоксидантного метаболизма [77-78].

У солеустойчивых видов (галофитов) есть следующие физиологические механизмы: перемещение соли внутри растения (например, от чувствительных побегов к более старым листьям или корням), осмотическая регуляция клеток (то есть разбавление за счет увеличения поглощения воды), внутриклеточная компартментация соли (т.е. накопление в промежутках между клетками) или выделение соли (например, через солевые железы), что позволяет им справляться с высокими концентрациями соли в окружающей среде. У чувствительных к соли видов нет этих механизмов выживания, и поэтому они подвержены увяданию из-за снижения водопоглощения, подавления роста, и как следствие, возможной гибели, в зависимости от уровня соли и степени толерантности конкретного вида. В связи с этим, по мере увеличения засоления почвы и воды, начинают доминировать более солеустойчивые виды растений [79]. Видовое разнообразие гликофитов резко снижается с увеличением солености от 0,8 до 6,4 г/л [80]. Для нормального роста и развития галофитам не всегда нужна

засоленная среда. Однако, в условиях отсутствия засоления, гликофиты, как правило, более жизнеспособны, чем солеустойчивые, и конкурируют с ними за воду и питательные вещества (рисунок 2).

Процессу засоления часто сопутствует процесс защелачивания, механизмы воздействия которых достаточно схожи [81].

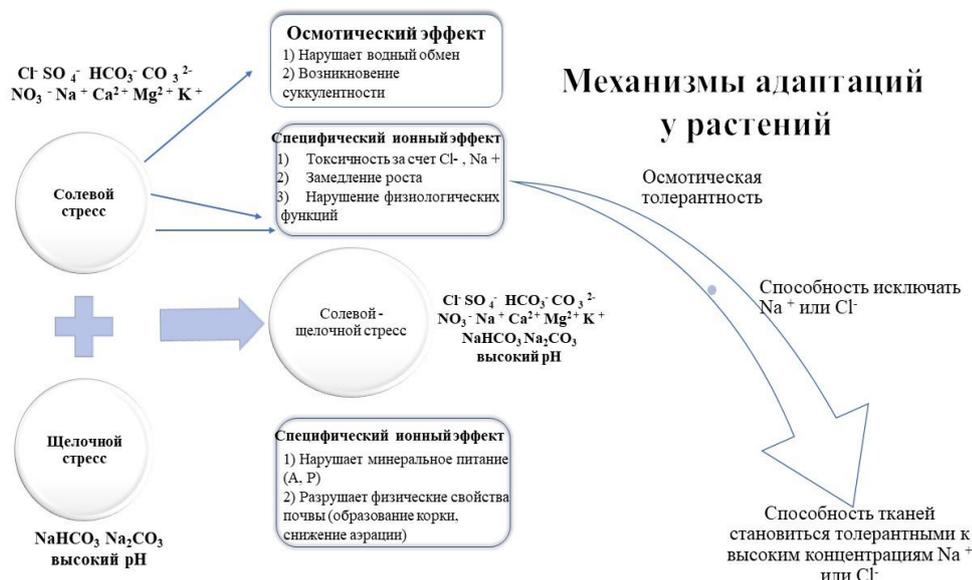


Рисунок 2 - Влияние солевого и щелочного стрессов на растения и механизмы их адаптаций

Солевой и щелочной стрессы могут подавлять рост и развитие растений; наиболее заметным симптомом является увядание растений и пожелтение обезвоженных листьев [82]. Большое количество экспериментальных исследований показало, что солевой стресс может привести к ослаблению фотосинтеза, в основном, включая снижение чистой скорости фотосинтеза, устьичной проводимости, скорости транспирации и фотосинтетических пигментов растений. Это тесно связано с уменьшением биомассы и урожайности при солевом и щелочном стрессах [83]. В качестве механизма защиты процесса фотосинтеза толерантные виды реагируют поддержанием или увеличением содержания хлорофилла [84].

Засоление снижает рост растений за счет осмотического и токсического воздействия, а высокие значения коэффициента поглощения натрия вызывают образование соды, которое увеличивает сопротивление почвы, снижает рост корней и уменьшает движение воды через корень с уменьшением гидравлической проводимости [85]. Исключение соли и ее компартиментализация в вакуолях и накопление осмолитов являются важными механизмами толерантности к соли или соде. Известно, что длительный солевой или щелочной стрессы могут вызвать изменение анатомии листа. Обычно толерантные виды реагируют увеличением толщины листьев. Анатомические изменения листьев также включают увеличение палисадной паренхимы, межклеточных

пространств и уменьшение губчатой паренхимы, что способствует диффузии CO_2^- в ситуации с уменьшенным устьичным отверстием [86]. В прикорневой зоне накопление токсичных ионов также провоцирует снижение осмотического потенциала корня. В целом, увеличение плотности корней происходит у толерантных видов, которые способствуют удержанию токсичных ионов в корнях, ограничивая накопление этих ионов в пологе. Наконец, хорошо известно, что присутствие арбускулярных микоризных грибов (AMF) и солеустойчивых подвоев дает синергетический эффект, который может смягчить негативные последствия солевого или щелочного стрессов.

Избыток соли может привести к снижению водного потенциала почвы и затруднить поглощение воды растениями из почвы [87]. Следовательно, солевой и щелочной стресс могут вызвать осмотический стресс у растений. Растения могут адаптироваться к осмотическому стрессу, накапливая и синтезируя осмотические вещества [88]. Однако, щелочной стресс не будет вызывать строго осмотических эффектов. Солевой и щелочной стрессы могут привести к жесткой конкуренции между ионами натрия и ионами калия за проникновение в клетки растений. Избирательное поглощение Na^+ и K^+ зависит от солевого и щелочного стресса и нарушает ионный баланс. Поэтому содержание Na^+ и K^+ и Na^+ или K^+ являются ключевыми показателями для определения устойчивости растений к соли и щелочи. Было обнаружено, что растения обычно накапливают больше Na^+ и теряют больше K^+ при щелочном стрессе, чем при солевом стрессе [89]. Растения могут вырабатывать активные формы кислорода (АФК) в ходе фотосинтеза, дыхания и фотодыхания, но сохраняют баланс между выработкой и нейтрализацией АФК в нормальных условиях. Как солевой, так и щелочной стресс может вызывать избыточное накопление активных форм кислорода: перекись водорода (H_2O_2), супероксидный радикал, синглетный кислород и т. д., которые могут атаковать мембранную систему растительных клеток и оказывать неблагоприятное воздействие на рост растений. Защита растений от окислительных повреждений осуществляется за счет активации антиоксидантных ферментов: супероксиддисмутазы, каталазы, пероксидазы, пероксидазы аскорбиновой кислоты и выработки неферментативных антиоксидантов. И солевой и щелочной стресс сопровождаются увеличением продукции активных форм кислорода, и, как следствие, окислительными повреждениями, при этом, активность антиоксидантных ферментов в большей степени повышается у растений при щелочном стрессе чем при солевом [90]. Имеются сведения, что щелочная соль наносит растениям более сильный вред, чем нейтральная соль. Обычно считается, что основной причиной этого является очень высокий рН-фактор щелочной соли, и эта точка зрения широко принята [9]. Однако, высокий рН может быть не единственным ключевым фактором, вызывающим разницу между соляным и щелочным стрессом, но в настоящее время понимание механизма реакции растений на соляно-щелочной стресс недостаточно. В частности, редко говорится о роли CO_3^{2-} и HCO_3^- при щелочном стрессе. Полное понимание механизмов реакции растений на солевой и щелочной стрессы, а также выявление основного фактора щелочного стресса

являются важными для повышения эффективности использования солончаков и щелочных почв в сельскохозяйственном производстве.

1.2.4 Роль и значение водной и прибрежно-водной растительности

В настоящее время изучению водной и прибрежно-водной растительности уделяется значительное внимание. Наибольший интерес среди исследователей вызывают перспективы их использования [92].

Высшие водные растения в водоемах выполняют ряд основных функций:

- фильтрационную (способствуют оседанию взвешенных веществ);
- поглощительную (поглощение биогенных элементов и некоторых органических веществ);
- накопительную (способность накапливать некоторые металлы и органические вещества, которые трудно разлагаются);
- окислительную (в процессе фотосинтеза вода обогащается кислородом);
- детоксикационную (растения способны накапливать токсичные вещества и преобразовывать их в нетоксичные).

-функция механической очистки, когда в зарослях растений задерживаются взвешенные и малорастворимые органические вещества.

К примеру, тростник, рогоз, рдест, сусак играют важную роль в улучшении качества воды. Их применение известно для доочистки сточных вод предприятий легкой, металлургической, угольной промышленности, животноводческих комплексов, хозяйственно-бытовых сточных вод. Поглощая значительное количество элементов питания, высшие водные растения снижают уровень эвтрофикации водоемов [93].

Согласно исследованиям Л.М. Кипряновой [94], макрофиты являются важным компонентом водных экосистем, принимая активное участие в процессе самоочищения водоемов от взвешенных частиц, биогенных веществ, нефтепродуктов, пестицидов и тяжелых металлов. Природные и искусственно созданные заросли высших водоемов и прибрежно-водных растений являются дешевым природным фильтром. Они эффективно используются во многих странах для укрепления берегов, доочистки сточных вод перед попаданием в водоемы, используемые в качестве источников промышленных и коммунальных водоснабжений.

Способность высших водных растений удалять из воды загрязняющие вещества – биогенные элементы (азот, фосфор, калий, кальций, магний, марганец, серу), тяжелые металлы (кадмий, медь, свинец, цинк), фенолы, сульфаты – и уменьшать ее загрязненность нефтепродуктами, синтетическими поверхностно-активными веществами, позволила использовать их в практике очистки производственных, хозяйственно-бытовых сточных вод и поверхностного стока во всем мире. При очистке сточных вод чаще всего используют такие виды высших водных растений (ВВР), как камыш, тростник озерный, рогоз узколистный и широколистный, рдест гребенчатый и курчавый, сусак, стрелолист обычный, уруть, хара. Как показали ранее проведенные исследования [95],

корневая система рогоза имеет высокую аккумулирующую способность относительно тяжелых металлов. Известно, что камыш имеет значительные адаптивные свойства и способен прорасти в очень загрязненных промышленными сточными водами водоемах. Он способен удалять из воды ряд органических соединений, в том числе фенолы, нафтолы, анилины и прочие органические вещества [96-97].

Некоторые виды макрофитов рассматривают, как источник незаменимых жирных кислот для животных водоемов. Поэтому в качестве биологически активных добавок к кормам, используемым в сельском хозяйстве (например, при рыборазведении), можно использовать высшие водные растения в виде экстрактов или сухого порошка [98]. Также водная растительность применяется в качестве сырья для целлюлозно – бумажной, медицинской, парфюмерной промышленности, строительных материалов, удобрений.

Таким образом, высшие водные и прибрежно-водные растения в естественной среде обитания обеспечивают важные экосистемные функции и услуги, такие как круговорот питательных веществ, сокращение наводнений, являются средой обитания для рыб и моллюсков, защитой молоди от хищников, кормом для водоплавающих птиц, рыб и млекопитающих, они поглощают энергию волн, производят кислород и улучшают прозрачность воды за счет стабилизации донных отложений. Косвенно, водные растения обеспечивают экономические выгоды, такие как поддержание рыболовства, водоснабжения и отдыха.

1.2.5 Высшие – водные и прибрежно – водные растения, как индикаторы соленых и содовых экосистем

Высшие водные и прибрежные растения, несмотря на их доступность для визуального наблюдения, остаются наименее изученными как индикаторы состояния окружающей среды. Эти растения позволяют легко проводить мониторинг водоемов и дают возможность визуально оценивать их экологическое состояние при гидробиологических исследованиях [99].

Согласно проведенным О.П. Мелиховой исследованиям [100], прибрежная растительность, особенно высокорослая, оказывает механическое и физико-химическое воздействие на водную среду, в которой она развивается. Именно по этой причине водные экосистемы с широко развитым поясом растительности наиболее устойчивы к антропогенному загрязнению. Состояние и разнообразие прибрежной растительности можно рассматривать как индикатор динамики природных и антропогенных процессов.

В своей работе «Экология прибрежно-водной растительности» А.П. Садчикова и М.А. Кудряшов [101] указывают, что прибрежно-водная растительность более консервативна, чем сообщества фито-, зоопланктона и бентоса, поэтому видовой состав макрофитов, их биомасса и проективное покрытие могут быть индикаторами изменения качества воды.

Учитывая избирательную способность растений к поглощению различных веществ, можно использовать водные растения, как индикаторы присутствия токсикантов в воде и донных отложениях [102].

Также имеются сведения, что среди высших водных и прибрежно-водных растений встречаются галофиты и солеустойчивые растения, которые хорошо адаптированы к таким постоянным абиотическим стрессам, как засоленность, нестабильный водный режим [103] и являются отличными индикаторами засоленной среды обитания [99, 104-105].

Необходимо отметить, что засоленные почвы Казахстана, в том числе солонцы и солончаки, распространены неравномерно, но занимают более 41% всей территории страны [106] и характеризуются специфической растительностью, которая называется галофитной, вызывающей широкий интерес среди исследователей. К примеру, Н.И. Акжигитова изучала многолетние солончаковые пустыни [107], Е.И. Рачковская, И.Н. Сафронова [37] занимались описанием экосистем с преобладанием галофитной растительности на солончаках. В.Н. Храмцов в своих работах отмечает, что растительность солончаков отличается сложностью пространственной организации. Основным условием роста растений на солончаках является залегание соленых грунтовых вод близко к поверхности. Поэтому водно-солевой режим почв является основным фактором, влияющим на распространение галофитной растительности [108].

Работы некоторых исследователей посвящены изучению отдельных галофитов. К примеру, группа ученых во главе с Р. Бейсеновой [109] рассмотрели возможность использования галофитных видов растений (*Salicornia europaea*, *Suaeda salsa*) для реабилитации засоленных почв. С.В. Брекль и В. Вучерер изучали способность накапливать ионы (Na^+ и Cl^-) суккулентными растениями родов (*Suaeda*, *Salicornia*., *Halocnemum*) [110]. Из вышесказанного следует, что галофитные растения могут служить индикаторами засоления территории и таким образом, могут быть использованы для мониторинга.

Важно отметить, что одним из основных ограничений в изучении закономерностей соле- и щелочеустойчивости в крупном географическом масштабе, является отсутствие исчерпывающих опубликованных списков галофитов, в частности алкалофитов [111-113]. К примеру, для Панноского биогеографического региона (ПБР), подобные исследования были проведены зарубежными учеными в отношении щелочнотолерантных видов [2,111, 113-122].

Это связано с тем, что на территории ПБР имеется значительное количество содовых озер и котловин [31, 66]. Однако, аналогичные исследования по изучению щелочеустойчивой растительности для Казахстана не проводились. Традиционно, исследования толерантности видов растений к засолению и щелочности носят видоспецифичный характер. Списки известных галофитов, вероятно, требуют доработки, тогда как полные списки видов, устойчивых к щелочи и вовсе отсутствуют.

Альтернативный подход к созданию таких списков заключается в прогнозировании видов растений, устойчивых к этим стрессам, на основе их географического распространения и геохимии [123-124].

Высшие водные растения, как индикаторы засоления или защелачивания, могут найти широкое применение при биологическом и экологическом мониторинге среды обитания (водоемов, почвы). Однако, необходимо учитывать тот фактор, что водные растения характеризуются широкими географическими и экологическими ареалами, причем в различных физико-географических условиях одни и те же виды могут иметь разное индикаторное значение. В связи с этим, наличие или отсутствие одного характерного вида не может дать полную картину качества среды. Помимо этого, для того или иного географического региона или группы водоемов следует выделять виды растений, которые проявляют индикаторные свойства в определенных условиях. Сложность выявления видов-индикаторов среди макрофитов также связана с недостаточной информацией об их экологии и физиологии [125].

Таким образом, выявление индикаторных видов может служить важным биомаркером для оценки состояния окружающей среды и ее пригодности для различных целей. В настоящее время широкое применение получила методика индикации воды по биологическим показателям, которую используют в практике гидробиологических исследований.

1.3 Краткий очерк природных условий соленных и содовых озер Алматинской области Казахстана

Казахстан расположен в центре Евразии, большая часть республики относится к Азии, меньшая – к Европе. Географический центр европейско-азиатского субконтинента находится именно в Казахстане. Республика занимает центральное связующее, транзитное положение [126].

1.3.1 Географические условия изучаемых соленных и содовых озер Алматинской области

Алматинская область площадью в 224 тыс. км². занимала территорию на юго-востоке республики Казахстан. Однако, в 2022 г. во время проведения административно-территориальной реформы ее разделили на 2 отдельные области: Алматинскую, с центром области в г. Конаев и область Жетісу, центр которой находится в г.Талдыкорган [127].

В настоящее время территория Алматинской области простирается на 105,1 тыс. км² и границы обозначены следующим образом: северо-восточная граница проходит по имеющейся границе области Жетісу; северо-западная по границам Карагандинской области; юго-западная по границам Жамбылской области; юго-восточная граница проходит по казахстанско-китайской Государственной границе; южная граница – по казахстанско – кыргызской Государственной границе [127].

Территория области Жетісу составляет 118,6 км и границы обозначены следующим образом: северо – восточная граница тянется по имеющимся границам области Абай; северо-западная по границам Карагандинской области, юго-западная граница по границе Алматинской области; восточная граница проходит по казахстанско – китайской Государственной границе [128].

Территория обеих областей характеризуются своеобразием рельефа. На особенность рельефа оказывают влияние как геологическое строение, так и различные рельефообразующие факторы. Учитывая особенность географического расположения Республики Казахстан, на территории областей наблюдается резкоконтинентальный климат, своеобразие растительного покрова, неравномерное распределение водных ресурсов и местами засушливые ландшафты [128].

Бассейн Алакольской группы озер (озера Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь) расположен в одноименной межгорной впадине в юго-восточной части Казахстана. Сложная геология и орография исследуемого района, и большая амплитуда высотных отметок (от 300 до 4000 м) обуславливают разнообразие природно-климатических условий. По геологическому строению и морфологии местности равнинную часть впадины можно разделить на 3 основных района: предгорные наклонные равнины, бугристо – грядовые песчаные равнины и плоские – аллювиальные равнины [129].

Озера Балхаш с прилегающими к нему притоками, Ушколь, расположены на юго-востоке республики, в Балхаш-Алакольской впадине и со всех сторон окружены сооружениями палеозойской складчатости: мелкосопочником Сарыарка, хребтами Тарбагатай, Жунгарский Алатау и Чу-Илийский [130].

1.3.2 Климатические условия

Климатические условия Алакольского бассейна (оз. Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь) характеризуются резко – континентальным климатом, с жарким летом и холодной зимой. На территории исследования отмечаются значительные суточные и сезонные температурные колебания. Самый холодный месяц зимы – январь, температура опускается до -35°C , средняя температура в зимний период от -15 до -20°C . Самый жаркий месяц – июль, максимальные отметки температуры достигают -35°C . Средняя температура летнего периода – $24-25^{\circ}\text{C}$. Атмосферные осадки Алакольской системы озер распределяются неравномерно. В среднем годовое количество осадков в разных частях колеблется в пределах от 150 до 500 мм в год, основная часть которых приходится на весенний период [131].

Климат окрестностей озера Балхаш и Ушколь является пустынным. Средняя температура июля составляет $+30^{\circ}\text{C}$, января около -15°C . Среднегодовая температура западной части озера $+10^{\circ}\text{C}$. Ежегодно озеро замерзает, ледовый покров сохраняется с ноября до первой половины апреля. Среднее количество осадков – 150 мм в год. Относительная влажность воздуха составляет около 50 – 60 % [132].

1.3.3 Почвенный покров

Почвы Алматинской области (Алматинская область и область Жетісу) характеризуются рядом особенностей, обусловленных специфическими климатическими условиями: выраженной континентальностью, неравномерным распределением осадков и низким увлажнением почвы, засоленностью [133].

На территории Казахстана засоленные почвы, в том числе солонцы и солончаки, распространены неравномерно, но занимают более 41 % всей территории страны. Засоление почв является одним из главных факторов деградации почв, который также значительно снижает их плодородие [106].

В качестве причин засоления на территории исследования выделяют первичные и вторичные факторы, которые оказывают влияние на накопление солей в почвенном покрове. К первичным относят участие материнской породы в формирование солевого статуса почвы, ко вторичным относят влияние антропогенной деятельности на почвенный покров: орошение водами с повышенным содержанием соли, складирование отходов, снега и т.д. [134].

Засоление почвенного покрова и постоянное увеличение его площадей из года в год из-за плохого дренажа под влиянием, как климатических условий, так и антропогенной деятельности становятся одной из актуальных проблем, которые приводят к деградации почвенного покрова, сокращению численности биоразнообразия растений и животных. Данная проблема напрямую влияет на развитие сельского хозяйства, главной задачей которого является обеспечение продовольствием населения республики и кормами сельскохозяйственных животных [135].

Также имеются несколько основных источников соленакопления в почве:

- перенос частиц солей с водной поверхности на сушу;
- поступление солей посредством гидрохимического стока;
- сухой климат, незначительное количество осадков, ветровые нагоны;
- высыхание морских водоемов, бризы в прибрежных районах, дующие на близлежащие территории соленые воздушные массы [136].

На основе гало - геохимической структуры почв на территории Казахстана выделяют 4 провинции засоления, которые различаются по своему генезису, структуре и переносу солей. Однако, общим для них является наличие бессточных озер, которые служатместищем для соленакопления. Одна из этих провинций – это провинция содово – сульфатного соленакопления бассейна оз. Балхаш. В этой провинции в засоление вносят вклад растворимые соли бора с повышенным содержанием бикарбоната соды.

Прибрежная зона озера Балхаш представлена в основном песчаными, супесчаными и легкосуглинистыми разновидностями почв. Большая часть приходится на долю серо – бурых почв и интразональных, в особенности - солончаков [137].

Прибрежная территория Алакольской системы озер характеризуется зональными почвами, среди которых преобладают:

- *сероземы*, суглинистого и глинистого гранулометрического состава, с высоким рН и очень низким содержанием элементов питания растений. Своеобразие строения сероземов обусловлено слабой дифференциацией генетических горизонтов, т.е. малым содержанием органического вещества и полной его минерализацией;

- *бурые - пустынные и серо – бурые пустынные почвы* [138].

Почвы прибрежной зоны исследуемых озер (Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь, Балхаш, Ушколь) можно классифицировать, как средне и сильнозасоленные. Почвы с повышенным содержанием соли присущи степным и пустынным ландшафтам, однако процессы засоления почв также происходят на территориях с влажным климатом, чаще всего в прибрежной зоне, где морская вода влияет через речные протоки, так же подпитывает через грунтовые воды, что напрямую влияет на процесс засоления обширных территорий [106, 135].

1.3.4 Водные ресурсы

Наибольший интерес в изучении соленых и содовых озер представляет собой Алакольская группа озер и озеро Балхаш. Это связано с особенностью химического состава их вод. В целом, уровенный и гидрохимический режимы зависят от ряда природных и антропогенных факторов. На химический состав вод оказывают влияние колебания уровня водоемов. Многолетние изменения уровня больших бессточных озер зависят не от текущей метеорологической обстановки, а от изменения климата [37].

Алакольская система озер – это система из крупных озер – Алаколь, Сасыкколь, Кошкарколь, Жаланашколь и около 500 малых озер. На долю 4 больших озер, занимающих центральную, наиболее пониженную зону впадины приходится 95% общей площади водного зеркала и более 99 % запаса воды всех озер [139]. Озеро Кошкарколь не было выбрано в качестве объекта для исследования, так как только оно одно из системы озер, согласно литературным данным [37] является пресноводным.

Озеро Алаколь - крупнейшее из озер одноименной группы, является вторым по величине среди водоемов Казахстана и единственным глубоководным среди бессточных озер республики. Озеро имеет неправильную грушевидную форму, площадью около 2650 км, простирается с северо -запада на юго-восток. Длина озера составляет 104 км, ширина - 52 км. Береговая линия оз. Алаколь тянется протяженностью 384 км, отличается большой изрезанностью, образует многочисленные полуострова, мысы, косы, заливы и бухты. На озере имеется несколько островов общей площадью 80 км². Берега озера высокие, обрывистые за исключением некоторых частей, где преобладают низменные, отмельнопоросшие тростником берега. Максимальная глубина озера – 54 м, средняя глубина – 22 м. Минерализация воды в озере колеблется от 1,2 до 11,6 г/кг, увеличиваясь к центральной части. С повышением уровня воды в озере минерализация ее падает. По химическому составу вода озера Алаколь носит преимущественно хлоридно-натриевый и сульфатно-натриевый характеры. В зависимости от времени года величина рН варьирует в пределах от 7,2 до 9,1.

Прозрачность воды имеет более высокое значение в центральной до 6 м и понижается до 0,6 в мелководной северо-западной части [140].

Озеро Сасыкколь – второе по величине озеро, которое занимает самое северное положение среди Алакольской группы озер. Площадь озера – 747 км². Озеро проточное и протягивается с запада на восток. Длина озера составляет 49,6 км, ширина до 19,8 км, протяжённость береговой линии составляет 182 км. Сасыкколь – это мелководный водоем с однообразно правильной котловиной, вытянутой с востока на запад извилистой береговой линией. Берега озера низкие и окружены мощными тростниковыми зарослями. Максимальная глубина озера 4,7 м, а средняя глубина – 3,3 м. По химическому составу вода в озере Сасыкколь относится к гидрокарбонатному типу. Прозрачность воды колеблется в пределах от 0,2 до 2,6 м. Минерализация воды в течение года колеблется от 0,27 до 2,16 г/л и равномерно распределяется по глубине озера. Уровень рН варьирует от 7,3 до 8,6 [141].

Озеро Жаланашколь – самое маленькое озеро Алаколь-Сасыккольской системы озер, расположено к югу от озера Алаколь и простирается с юго-востока на северо-запад. Площадь озера около 37 км². Длина озера составляет – 9 км, ширина – 5,8 км, самая глубокая точка – 3,25 м отмечена в северо-западной части, средняя глубина – 2,6 м. Береговая линия неизвилистая. Берега низкие, затопленные, местами заболоченные, заросшие камышом. По составу вода в озере характеризуется как сульфатно-гидрокарбонатно-натриевая. Уровень рН варьирует от 7,6 до 8,6. Прозрачность воды колеблется в пределах от 0,2 до 1,2 м [141].

Озеро Балхаш – озеро, расположенное на юго-Востоке Казахстана, в самой низкой западной части Балхаш-Алакольской котловины. Озеро простирается с запада на восток, бессточное, по происхождению – тектоническое. Большая амплитуда колебаний водного баланса и соответственно уровня значительно влияет на его морфометрию и гидрологические характеристики. Площадь озера составляет около 17 тыс км². Оно имеет форму полумесяца, и его длина доходит до 600 км., ширина 74 км. Ширина западной части – около 70 км, а восточной – намного меньше. Максимальная глубина озера – 26 м, средняя – 6 м. Береговая линия извилиста, побережье изрезано заливами и бухтами. Берега обрывистые, возвышенные, достигают 20–30 м. В озере Балхаш наблюдается неоднородность минерализации и химического состава воды. Западная часть – пресноводная, а уровень минерализации повышается от 0,5 г/кг у устья р. Или и до 4,4 г/кг к восточной оконечности озера. Среднее значение – 2,94 г/кг. Значение рН озера колеблется от 7,6 до 9. Прозрачность воды варьирует от 0,2 до 0,4 в районе устья р. Или и до 10 – 12 м в восточной части [141].

Озеро Ушколь – небольшое озеро, расположенное на юго-восточном побережье озера Балхаш. Площадь озера всего 9,49 км², ширина – 3 км, длина – 4,2 км, длина береговой линии 11,2 км. Берега пологие, открытые, песчаные. Котловина озера имеет округлую форму, глубина увеличивается постепенно и достигает максимальной отметки в центре – 6 м. Минерализация воды составляет

9,6 г/кг. Вода солонцеватая, очень жесткая, щелочная и относится к сульфатному классу, натриевой группе [141].

1.3.5 Ветровые течения

Для бессточных озер Центральной Азии, в том числе и для Балхаш – Алакольского водохозяйственного бассейна, ветровые течения играют значительную роль, поскольку они создают петлеобразное движение, которое непосредственно влияет на уровень воды. Из – за этого в верхнем слое воды формируется дрейфовое течение, образующее сгоны и нагоны воды. В то же время, на глубине возникает течение, направленное против ветра. Это явление напрямую влияет на процесс перемешивания водных масс [142].

На территории Алакольской котловины отмечается достаточно сложный и своеобразный ветровой режим. Наиболее сильные западные и юго – западные ветра, к которым относятся «Эби», берущий начало из Джунгарских ворот и противоположный ему – «Сайхан» – северо – западное направление. Средние годовые скорости ветров колеблются в пределах 1, 8 – 6,5 м/с. Сила ветра «Эби» в зимнее время (январь) месяц может достигать 50 – 70 м/с, вызывая сильные метели. В летние месяцы, наоборот, сильные ветра вызывают пыльные бури. Чаще всего они отмечаются при юго – западных и юго – восточных ветрах, сопровождаясь высокими температурами воздуха 28 – 30°С [143].

На акватории оз. Балхаш практически ежедневно дуют ветра. Средняя годовая скорость ветра составляет 4,5 – 5 м/с, а наибольшая скорость достигает 7-8 м/с. В результате чего образуются волны, достигающие в длины около 15 м, и в высоту до двух метров. Ветровые штормы до 25 – 30 м, могут способствовать образованию волн до 50 м. Засушливый климат, частые ветра и температура являются причиной высокой скорости испарения воды – от 940 мм до 1200 мм [144]. При увеличении силы и мощности ветра также пропорционально увеличивается и площадь компенсационных течений. Ринги образуются в результате дрейфовых и компенсационных течений, в центре которых формируются зоны застоя. В этих зонах происходит процесс интенсивного осаждения самых крупных наносов (остатки макрофитов, зообентос и т.д.). Периодически при сильных штормах на таких зонах застоя могут образовываться небольшие острова или мели. Ветровые течения в оз. Балхаш обычно действуют совместно со стоковыми, плотностными и другими видами течений [145].

Таким образом, краткая географическая и природно-климатическая характеристика исследуемого региона необходима для создания научно обоснованного контекста исследования, что позволяет учесть все ключевые факторы внешней среды. Это обеспечивает возможность корректного сравнения результатов с уже имеющимися, повышает достоверность и объективность выводов, а также способствует правильной интерпретации полученных данных.

2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований, в период 2021-2024 гг., были использованы полевой (экспедиционный) и маршрутно-рекогносцировочный методы исследований (рисунок 3) [11-12, 146].

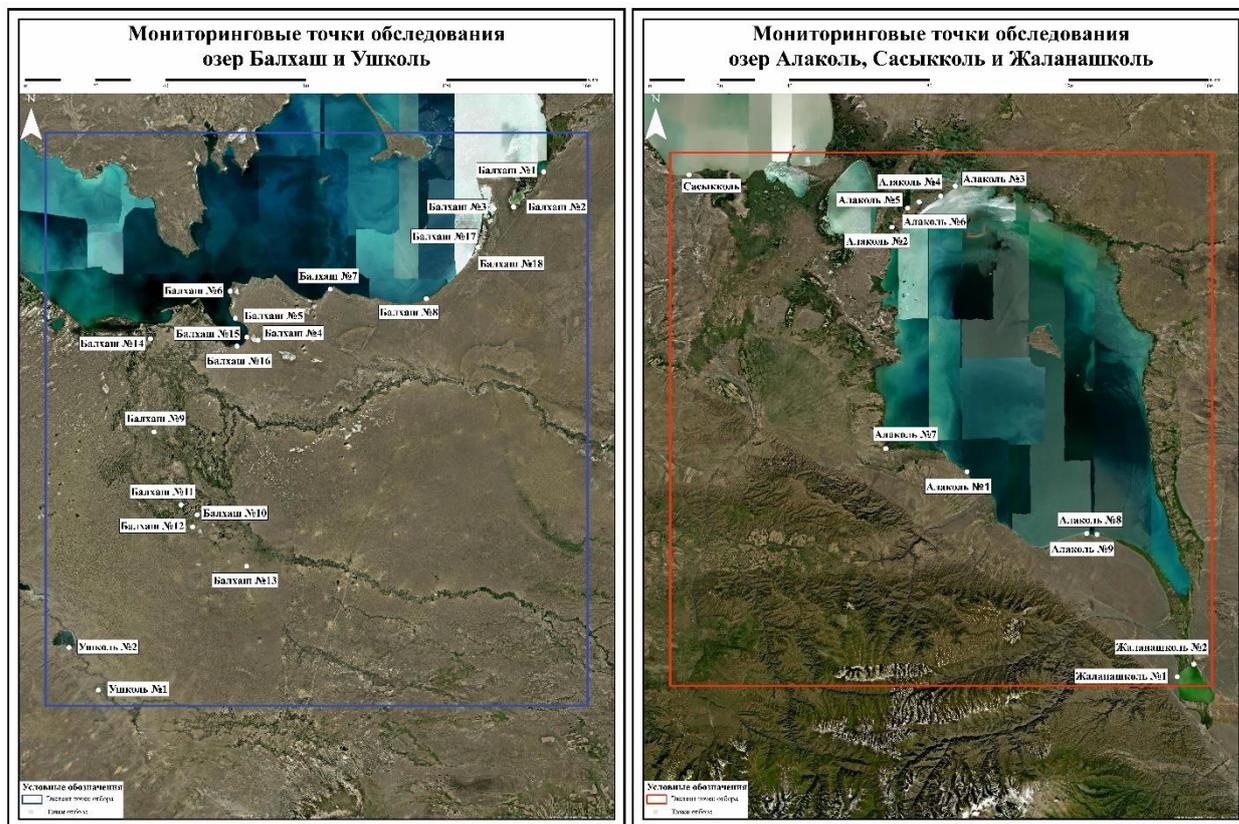


Рисунок 3 – Космоснимок изучаемых объектов исследования

Полевой (экспедиционный) метод исследований предназначен для ознакомления на местности с объектами (точечными и площадными) будущих исследований и связан со сбором первичных исходных данных, предназначенных для дальнейшей обработки в стационарных (камеральных) условиях [147].

2.1 Закладка маршрута

Перед началом выполнения работы, был заложен маршрут, согласно которому проводились исследования (рисунок 4). Особое внимание было уделено изучению видового состава, экологии и особенностям распределения высших водных и прибрежно – водных растений в озерах.



Рисунок 4 – Карта мониторинговых точек обследования изучаемых озер

Маршрутно – рекогносцировочный метод основан на выявлении основных закономерностей распространения видов и растительных сообществ на исследуемой территории. Во время движения по маршруту был произведен отбор проб воды, почвы, гербаризация необходимых растений, а также выполнено геоботаническое описание растительности на отдельных, маленьких по площади участках, с занесением их в геоботанические бланки (таблица 2).

Таблица 2 – Координаты точек обследования

№	Название точки	Координаты
1	2	3
1	Балхаш №1	N 46°35.774' E 079°13.349
2	Балхаш №2	N 46°31.972' E 079°08.793'
3	Балхаш №3	N 46°31.872' E 079°05.764'
4	Балхаш №4	N 46°31.876' E 079°05.766'
5	Балхаш №5	N 46°20.132' E 078°26.005'
6	Балхаш №6	N 46°22.986' E 078°25.209'

Продолжение таблицы 2

1	2	3
7	Балхаш №7	N 46°23.236' E 078°40.477'
8	Балхаш №8	N 46°22.178' E 078°55.329'
9	Балхаш №9	N 46°07.888' E 078°13.435'
10	Балхаш №10	N 45°57.981' E 078°19.460'
11	Балхаш №11	N 46°00.037' E 078°17.604'
12	Балхаш №12	N 45°58.052' E 078°19.650'
13	Балхаш №13	N 45°53.391' E 078°27.676'
14	Балхаш №14	N 46°17.869' E 078°12.834'
15	Балхаш №15	N 46°17.988' E 078°28.543'
16	Балхаш №16	N 46°17.094' E 078°26.255'
17	Балхаш №17	N 46°27.611' E 079°03.182'
18	Балхаш №18	N 46°27.308' E 079°02.590'
19	Ушколь №1	N 45°39.968' E 078°04.831'
20	Ушколь №2	N 45°57.981' E 078°19.460'
21	Сасыкколь	N 46°29.287' E 080°51.612'
22	Алаколь №1	N 46°23.683' E 081°22.959'
23	Алаколь №2	N 46°28.135' E 081°32.680'
24	Алаколь №3	N 46°27.064' E 081°30.453'
25	Алаколь №4	N 46°26.394' E 081°27.138'
26	Алаколь №5	N 46°25.717' E 081°25.335'
27	Алаколь №6	N 46°19.311' E 082°09.563'
28	Жаланашколь №1	N 45°34.946' E 082°06.979'
29	Жаланашколь №2	N 45°36.311' E 082°09.563'
30	Алаколь №7	N 45°50.399' E 081°54.622'
31	Алаколь №8	N 45°50.515' E 081°53.043'
32	Алаколь №9	N 45°57.243' E 081°34.556'

Для проведения исследования были выбраны 32 точки из 5 наиболее актуальных водных объектов (озера Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь, Балхаш и Ушколь) в направлении изучения содовых и соленых озер Казахстана [32, 36 - 37].

2.2 Методика отбора проб воды

Забор проб воды был проведен согласно заложенному маршруту (рисунок 4), в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05-85 «Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод» в летний период 2021-2024 гг. Пробы воды отбирали в стерильные пластиковые бутылки в количестве 1 л. Глубина воды, проводимость, pH, растворенный кислород и мутность измерялись на месте с помощью полевых приборов [148].

Места отбора проб воды были выбраны на основании предыдущих исследований, а также опираясь на литературные данные, с помощью спутниковых растровых данных Google.

Измерение физических параметров в полевых условиях. Вода и глубина Секки были измерены в местах отбора проб с использованием сантиметрового полюса, проводимость (мс/см), pH, растворенный кислород (%), мг/л) и мутность (FNU) были измерены на месте с помощью многострочного портативного измерителя модели 3630 IDS с ячейкой TetraCon® 925 для проводимости, электродом SenTix® 940 для pH, электродом FDO® 925 для растворенного кислорода с температурой воды и VisoTurb® 900-P для мутности (рисунок 6).

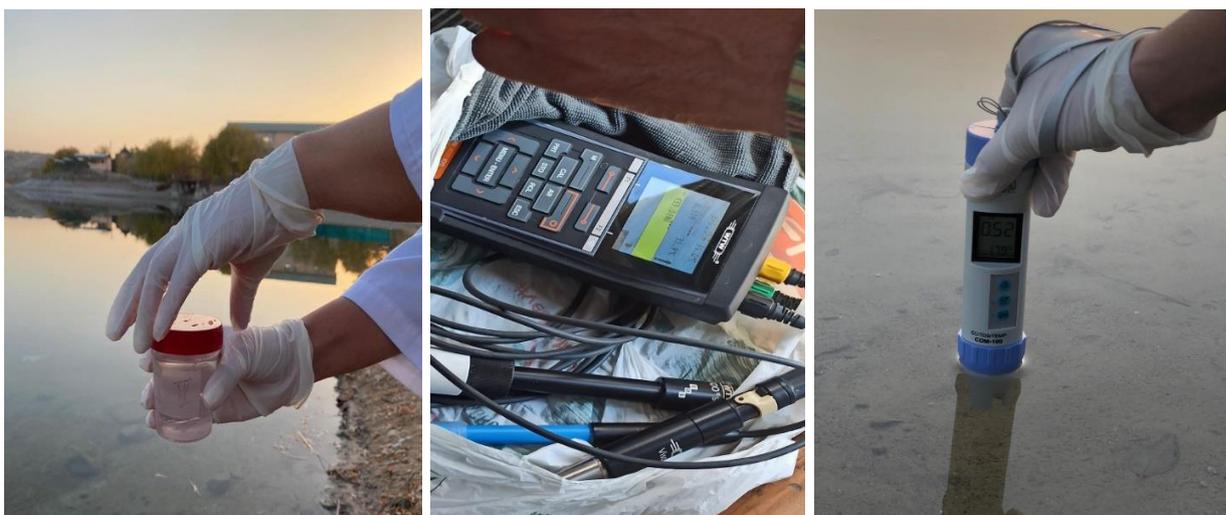


Рисунок 6 – Отбор проб воды и измерение физических параметров в полевых условиях

Пробы воды были взяты с открытой водной поверхности вдоль береговой линии в трех повторах и составили смешанную среднюю пробу для каждой точки (рисунки 7-11). Образцы были собраны в пластиковые бутылки и доставлены в мобильную лабораторию, для измерения физических параметров, и дальнейшей транспортиции для химических лабораторных измерений, таких как: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- , концентрация ионов CO_3^{2-} , микроэлементы (Si, Al, Sr, Ba, Br). Так же был проанализировано содержание общего органического углерода (TOC), общего азота (TN) и общего фосфора (TP).

Для классификации содовых и соленых видов была использована терминология, введенная Э.Боросом и Е. Колпаковой [35]. Согласно данной терминологии, выделяют 3 типа озер, в соответствии с их химическим составом:

Содовый тип воды: Na^+ и сумма $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ являются первыми в ранге доминирующих ионов (> 25e%);

Содово-солевой тип: Na^+ является первым в ранге доминирующих катионов, а сумма концентраций $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ превышает 25e%, но он не является первым в ранге доминирующих анионов;

Соленый тип: все остальные составы доминирующих ионов (> 25e%).

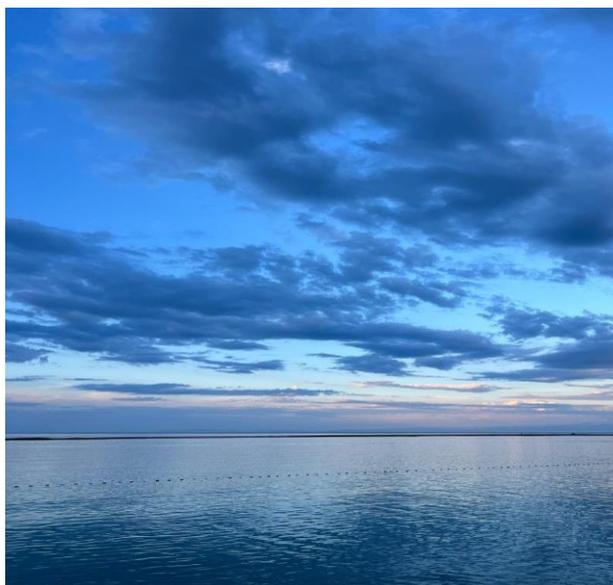


Рисунок 7 – озеро Алаколь



Рисунок 8 – озеро Сасыкколь



Рисунок 9 – озеро Жаланашколь



Рисунок 10 – озеро Ушколь

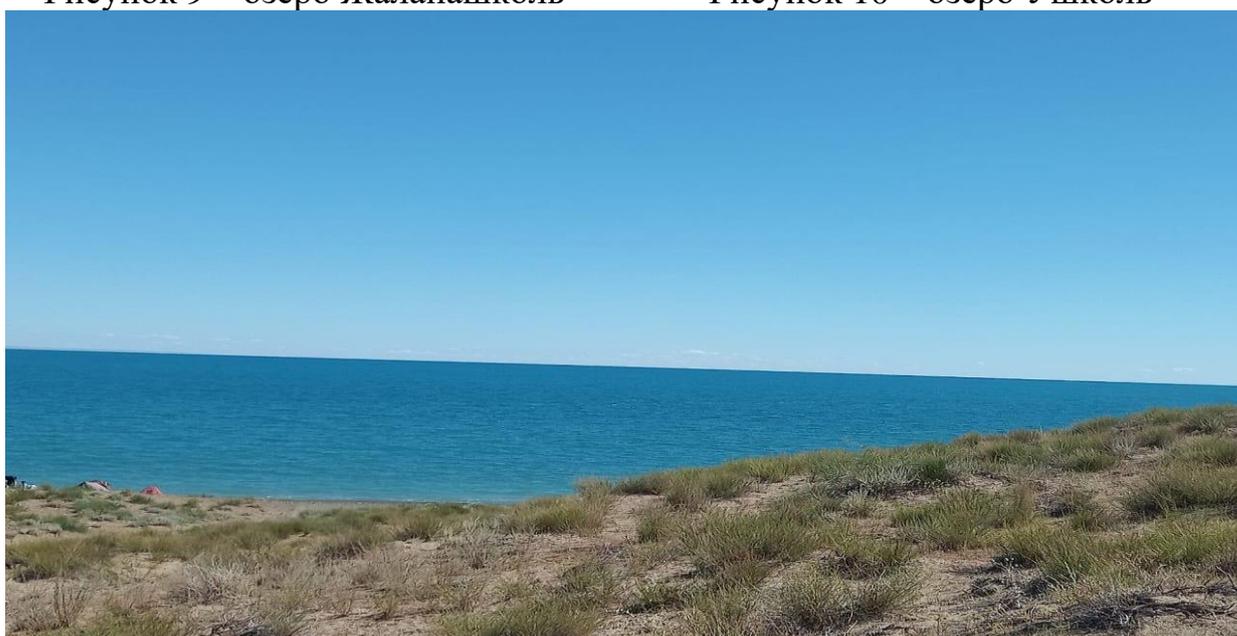


Рисунок 11 – озеро Балхаш

2.3 Методика отбора проб почвы и их подготовка к проведению химического анализа

Отбор почвенных проб (3 повторности на каждом участке) проводился в летний период 2021 – 2024 г. в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» на глубине 0-45 см методом «конверта», массой 0,5 кг (рисунок 12).



Рисунок 12 – Отбор проб почвы методом «конверта»

Анализ химического состава почвы проводился с использованием оборудования: Ионмер лабораторный тип И-160 МИ, пламенный фотометр (Тип FLAPHO-4), Specord 210 PLUS, весы электронные AR 2140 и ScoutProSPS202 F.

Для определения содержания в почве органических и минеральных растворимых солей, а также типа засоления использовался метод водной вытяжки [149-150].

Тип засоления определялся по сумме токсичных солей, м (тип) засоления определяли по степени засоления с учетом «суммарного эффекта» токсичных ионов по методике И.Н. Базилевича и Е.И. Панковой [151]. Подвижный азот определялся по методике Тюрина и Кононовой [152]. Подвижный фосфор и обменный калий определялись по методике Мотузовой Г.В. и Безугловой О.С. 2007 (по методу Кирсанова) [153]. Классификация почв и пород по гранулометрическому составу была определена по методике Н.А. Качинского.

Полученные данные были статистически обработаны с использованием прикладных программ MSExcel и Statistics 6.0.

2.4 Геоботанические и флористические методы

Гербаризация высших водных и прибрежно-водных растений. Сбор водных растений, в отличие от наземных, имеет ряд отличительных

особенностей. Отбор водных и прибрежно-водных растений производился согласно методике Л.И. Лисициной [13] и В.В. Соловьевой [14].

Макрофиты имеют очень нежную структуру, часто тонкие, даже нитевидные листья и мелкие цветки. Сбор растений производят в емкости, наполненные водой. Собранные растения маркируются пронумерованными этикетками, подробная информация о которых заносится в полевой дневник. Водные растения не имеют механических тканей и, вынутые из воды, сразу теряют свою форму, повисают, что значительно затрудняет процесс расправления. Поэтому при сборе таких образцов используют способ расправления растений непосредственно в воде. Под растением размещают лист плотной бумаги, на котором расправляют растительный образец. Лист бумаги вместе с растением аккуратно вынимают из воды, позволяя ей стечь, а излишки влаги на листе удаляются бумажными полотенцами. Сверху образец накрывается зовощенной бумагой и закладывается в газеты. Воощенная бумага затрудняет процесс высушивания, но препятствует прилипанию тонких частей растения к газете. Если расправляют экземпляры с крупными листовыми пластинками, воощенную бумагу можно не использовать. Газеты помещаются в гербарный пресс [154].

Определение видового состава растительных сообществ. В качестве источников для определения гербарных образцов высших водных и прибрежно-водных растений использовали многотомные сводки флор «Флора Казахстана, 1-9 тома» [15-16], «Определитель растений Средней Азии (1968-1994)» [17], «Иллюстрированный определитель, 1-2 тома» [18], Определитель некоторых водных высших растений флоры Северного Прикаспия [19], «Водные растения» [56], Список сосудистых растений Казахстана [155].

Изучение видового состава проводили в ходе обработки гербария, а также при заполнение геоботанических бланков. Расположение видов в конспекте флоры проведены согласно системе А.Л. Тахтаджяна [156]. Написание латинских названий, номенклатурные изменения таксонов были выверены в соответствии с С.К. Черепановым [157]. Список растений был выверен согласно международной базе Plants of the World Online (POWO) [20].

Выявление хозяйственно – ценных видов, проводилось согласно классификации М.М. Ильина [158] с некоторыми дополнениями – экологически значимых видов [159], а также на основании работ Н.В. Павлова [160], В.В. Иванова [19], Н.Г. Гемеджиевой [161].

Методика закладки пробных площадей. Для получения информации о численности, встречаемости, проективном покрытии растительности использовался метод пробных площадок. Для дальнейшей оценки видового богатства пробные площадки должны охватывать наиболее типичные участки произрастания растений. Пробные площадки закладывались в 3-х кратной повторности, размером 1 м × 1 м. Описание каждой площадки было проведено по единой системе:

- определение общего проективного покрытия. Для этого с помощью сеточки Раменского устанавливали, какую часть от общей площади пробной площадки занимают все растения;

- определяли видовой состав растений на площадке по большим таксономическим группам;

- высчитывали процентное соотношение этих групп в общем проективном покрытии.

Оценка видового богатства выявленной флоры. Чтобы оценить долю гидрофитов в выявленной флоре был применен индекс гидрофитности флоры, предложенный Б.Ф. Свириденко (1) [24].

$$Ihd = (2A / B) - 1, \quad (1)$$

где A – число водных видов;

B – число всех видов рассматриваемой флоры.

Для оценки степени сходства и различия озер по видовому составу высших водных растений использовался коэффициент Сёренсена, который позволяет количественно оценить степень перекрытия видов между исследуемыми объектами. Этот коэффициент свидетельствует о том, насколько озера схожи по своему видовому составу и вычисляется по формуле (2) [162].

$$K = \frac{2 * c}{a + b}, \quad (2)$$

где a и b – число видов растений, обнаруженных в каждом водоеме,
 c – число общих видов.

Этот коэффициент может варьировать от 0 до 1, где: значение 1 указывает на полное совпадение видов между двумя объектами, значение 0 означает отсутствие общих видов. Полученные коэффициенты использовались для дальнейшего построения тепловой карты в Past 4.

Также были использованы индексы Маргалефа, Менхиника, Симпсона и Шеннона для оценки видового богатства растений на исследуемой территории. Чем выше значение индекса, тем большим видовым богатством характеризуется участок обследования. Для расчета индексов используется абсолютная величина – численность, что делает его чрезвычайно чувствительным к объему выборки [163].

Индекс видового богатства Маргалефа вычисляется по формуле (3):

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N}, \quad (3)$$

где:

S – число выявленных видов;

N - общее число особей всех S видов.

Индекс видового богатства Менхиника вычисляется по формуле (4):

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}, \quad (4)$$

где:

S – число выявленных видов;

N - общее число особей всех S видов.

Индекс видового богатства Шеннона вычисляется по нижеприведенной формуле (5):

$$H' = -\sum p_i \ln p_i, \quad (5)$$

где:

p_i – доля особей i -го вида;

В выборке истинное значение p_i неизвестно, но оценивается как n_i/N .

Формула расчёта индекс разнообразия Симпсона (5):

$$J = \sum n_i (n_i - 1) / [N (N - 1)], \quad (6)$$

где: N - число видов,

n_i - число особей i -го вида.

В данном случае, чем выше значение индекса, тем меньше видовое разнообразие.

Для вычисления индексов разнообразия растений была использована статистическая программа PAST 4.07 [164].

Для оценки видового состава трех исследуемых регионов был применен коэффициент Жаккара (7):

$$K_J = \frac{c}{(a+b)-c}, \quad (7)$$

где, a и b – количество видов в сравниваемых регионах,

c – количество общих видов.

Значения коэффициента K_J меняются от +1 до -1. При $K < 0$ отмечается различие, а при $K > 0$ - сходство видового состава [165-166].

Анализ жизненных форм проводился на основании работ И.Г. Серебрякова [167] и К.Раункиера [168]. Однако, стоит учесть, что жизненные формы макрофитов имеют ряд своих особенностей, и использовать только классические классификации не представляется возможным. Наиболее оптимальный способ распределения жизненных форм гидрофитов представлен Б.Ф. Свириденко [23], с учетом их важнейших признаков: жизненного цикла, структуры побегов, типов почек возобновления и их положения. В основе данной классификации лежит система таксонов высших рангов по И.Г. Серебрякову [167]: отдел, тип, подтип, класс – установлены по общим биологическим и морфологическим признакам; группа, секция, экобиоморфа на основе частных морфологических и экологических параметров видов [53].

Также, в работе приняты основные и переходные экологические группы растений по отношению к водным условиям, согласно рекомендациям Школы по гидрботанике «Гидрботаника: методология, методы, 2003». Экологический ряд начинается с гидрофитов (Hd), за ними следуют гидрогигрофиты (HdHg), гигрофиты (Hg), гигромезофиты (HgM) и мезофиты (M).

Экобиоморфологический анализ видов проведен на основе принципов, разработанных И.Г. Серебряковым [167], К.А. Кокиным [57].

Распределение видов флоры по приуроченности к типам местообитаний было выверено по классификации Б.А. Быкова [169-170]. В экологическом анализе водной флоры применялась классификация, введенная В.Г. Папченковым [24]. Согласно предложенной классификации выделены 3 группы экотипов:

- настоящие водные растения I Гидрофиты (Hd) включают 5 экогрупп: 1. Макроводоросли и водные мхи; 2. Гидрофиты, свободноплавающие в толще воды; 3. Погруженные, укореняющиеся гидрофиты; 4. Укореняющиеся гидрофиты с плавающими листьями; 5. Гидрофиты, свободно плавающие на поверхности.

- прибрежно – водные растения II Гидрогигрофиты (HdHg) или гелофиты (воздушно-водные растения) включают 2 экогруппы: 6. Низкотравные гидрогигрофиты; 7. Высокотравные гидрогигрофиты и III Гигрогелофиты (Hg)

-заходящие в воду береговые растений: IV Гигрофиты (Hg) и V Гигромезо – (HgM) и Мезофиты (M).

2.5 Методика выявления индикаторных видов

По определению, идентификация видов-индикаторов растений для получения достоверных результатов, требует сравнения, как минимум, двух или более ареалов исследований, во избежание ошибок, связанных с локальной спецификой экосистемы. Сравнение нескольких ареалов позволяет учитывать фоновые различия в составе растительности, природных условиях и степени антропогенного воздействия. Такой подход обеспечивает более объективное выявление видов-индикаторов, которые действительно связаны с влиянием изучаемых факторов, а не с природной вариацией или случайными изменениями в экосистеме [105].

Как было упомянуто ранее, солончаковая растительность Казахстана изучена достаточно детально [106–110, 171], однако списки щелочнотолерантных видов отсутствуют. В связи с этим, выявление индикаторных видов, возможно только в крупном географическом масштабе, в сравнительном аспекте. В данной работе выбраны следующие регионы: Западный, Юго – Восточный Казахстана и флора Паннонского биогеографического региона (ПБР), который известен большим количеством содовых озер. Данный, крупно – масштабный формат исследования, позволит составить более точный список характерных видов солончаковой и содовой

растительности, на основании которого можно будет выделить конкретные индикаторные виды засоленной и щелочной среды.

Для определения характерных видов-индикаторов растений соленой и щелочной среды, помимо собственных полевых данных, осуществленных в ходе полевых работ, использовались литературные источники по Паннонскому биогеографическому региону (Австрия, Венгрия, Сербия) [113-122] и Казахстану [14-19, 37, 171]. Сбор полевых данных в Казахстане проводился в весенне-летне-осенний периоды 2021 – 2024 гг.; точки наблюдения определялись с помощью координат GPS и наносились на карту (рисунок 13). В Юго - Восточном Казахстане было выбрано 32 точки, а в Западном – 15. Экологические данные о содовых экосистемах для ПБР отслеживались в течение последних десятилетий и публиковались в различных работах [31, 32, 35, 66, 111]. Для проведения сравнительного анализа с целью выявления индикаторных видов использовали данные, собранные с 55 наиболее релевантных участков ПБР в период за 2009 – 2024 гг.

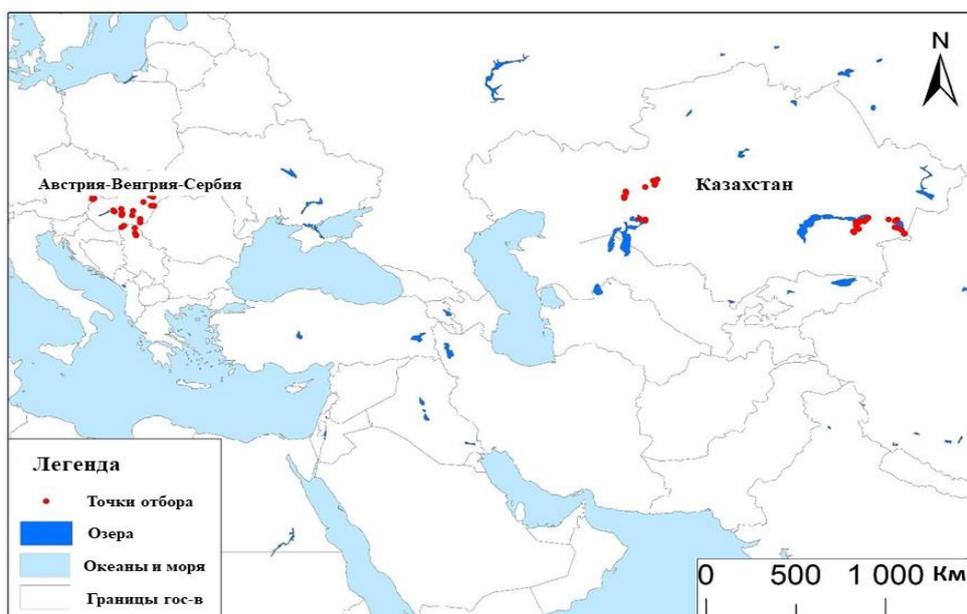


Рисунок 13 - Распределение мест отбора проб в крупном географическом масштабе

Для составления окончательного списка характерных растений были использованы только те виды, которые были упомянуты, как минимум в двух соответствующих независимых публикациях. Это необходимо для того, чтобы в список были включены только наиболее важные характерные виды, а также во избежания побочного воздействия на видовой состав микротопографической гетерогенности.

Распределение галофитов по группам солеустойчивости представлена на основании классификации Dítě и др. (2023) [1]: I – облигатный галофит, Ia – региональный облигатный галофит, II – факультативный галофит, III – акцессорный вид; номера групп солей распределены по девятибалльной шкале

(от 1 до 9), отражающей их индивидуальную степень переносимости соли, от наименьшей 1, к наивысшей – 9 [1].

При выявление индикаторных видов учитывалась не только группа солеустойчивости (I-III), но и номер группы (1-9).

Для проверки достоверности полученных данных о принадлежности выявленных потенциальных видов к индикаторным, был проведен упрощенный вариант анализа индикаторных видов (ISA), который высчитывается на основании формулы (8):

$$A_{ij} = \frac{n_{ij}}{n_j}, \quad (8)$$

где, n_{ij} – количество образцов в группе j , занятых видом i ,
 n_i – общее количество образцов, занятых видом i .

Особенностью упрощенной версии данного индекса является возможность преобразования данных в двоичные данные (0 = отсутствие, 1 = наличие), что позволяет использовать его в исследованиях крупного масштаба. Значения индекса варьируют в пределах от 0 до 25. Вид считается «строгим» индикатором при значении > 25 [25].

2.6 Методика расчета индекса сатурации, зависящая от потенциальных линейных независимых переменных

Как упоминалось ранее, использование классических индексов ботанического разнообразия для исследований в крупномасштабном плане не представляется возможным [172]. Вместо проведения точечной инвентаризации, ученые используют биогеографические методы. Эти методы опираются на имеющиеся данные, собранные из различных источников за многие годы.

Казахстан расположен в центре Азии и занимает площадь 2,7 млн км² (площадь бывшей Алматинской области составляет около 224 тыс. км²), а территория ПБР – 264 тыс. км². В этом случае невозможно использовать только классические индексы ботанического разнообразия (Шеннона, Симпсона и др.), более продуктивно использовать индексы, основанные на присутствии или отсутствии видов, например – индекс насыщения.

Индекс насыщения рассчитывается на основании данных о присутствии или отсутствии характерных видов растений в различных биогеографических регионах, и выражается в процентах от количества характерных видов растений на исследуемой территории к числу характерных видов во всем регионе.

Индекс насыщения рассчитывается по формуле (9):

$$S_I = \frac{N_1}{N_2} \times 100, \quad (9)$$

где, S_I – Индекс насыщения

N_1 – количество характерных видов на исследуемой точке;

N_2 – количество характерных видов на всей территории.

Данный индекс имеет широкое применение и в других работах [173-175], что подтверждает актуальность его использования.

Далее был рассчитан коэффициент корреляции Пирсона между индексом насыщения (как зависимыми переменными) и потенциальными независимыми факторами окружающей среды (таблица 3).

Таблица 3 – Список и источники исследованных независимых потенциальных глобальных экологических переменных для моделирования

	Потенциальные экологические переменные	Литературные данные	Источники
1	Высота, уклон (N=2)	Г. Аматулли и др. [176]	https://www.earthenv.org/topography
2	Тепловой поток на поверхности твердой Земли (N=1)	Ф. Люказо [177]	https://heatflow.und.edu/
3	Биоклиматические переменные (N=19)	С.Э. Фик и Р.Дж. Хиджманс [178]	https://worldclim.org/
4	Глубина грунтовых вод (N=1)	С. Линке, Б.Ленер, Д.Уэлле и др. [179]	https://www.hydrosheds.org/hydroatlas
5	Почвы (N=16)	[180]	https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/harmonized-world-soil-database-v12/ru/

Также была исследована корреляция между потенциальными независимыми факторами окружающей среды, во избежание систематических ошибок мультиколлинеарности в статистических моделях. Когда между независимыми переменными окружающей среды была обнаружена значительная корреляция Пирсона ($R > 0,65$), были выбраны наиболее значимые факторы для статистических моделей, опираясь на ранее проведенные исследования.

2.7 Статистическая обработка результатов

Для первичной статистической обработки, подготовки данных использовалась компьютерная программа Excel, основываясь на методические рекомендации Г.Ф. Лакина [181] и Ш.Г. Пресс и др. [182].

Для проверки достоверности полученных данных были использованы статистические методы анализа и программные обеспечения (Past 4.07, Statistics 6, ANOVA).

Анализ главных компонент (principal component analysis, PCA) выполнен с помощью программ PAST 4.07 [164]. Статистический анализ проводился в OriginPro 2022 (OriginLab, Нортгемптон, Массачусетс, <http://www.originlab.com>), Statistics 6.0. Нормальность переменных и отклонение проверялись с помощью критериев Шапиро-Уилка [183] и Колмогорова-Смирнова [184]. Пространственная автокорреляция измерялась с использованием местоположения объектов и значений атрибутов с применением глобальной статистики Моры I с помощью обратной концептуализации и метода евклидова расстояния. Чтобы проанализировать взаимосвязь между индексом насыщения видов растений и возможными переменными окружающей среды, мы тестировали линейные смешанные модели (LMM) к зависимым значениям индекса насыщения, как функции потенциальных переменных окружающей среды, рассматривая географические регионы (рисунок 13). Чтобы добиться лучшего соответствия обоих типов моделей, все числовые вариации были преобразованы.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

3.1 Изучение состава воды соленых и содовых озер Алматинской области (Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь, Балхаш, Ушколь)

3.1.1 Физические параметры воды исследуемых соленых и содовых озер

Изучение морфометрических параметров озер, таких как площадь, длина, ширина, глубина имеют важное значение перед анализом физических и химических свойств водоемов. Эти параметры влияют на распределение температуры, солености и других физических характеристик, а также на циркуляцию воды и осаждение веществ. Глубина озера, например, определяет градиенты температуры и плотности, что в свою очередь влияет на концентрацию химических элементов.

В таблице 4 представлена сравнительная характеристика морфометрических параметров исследуемых соленых и содовых озер: Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь, Балхаш и Ушколь.

Таблица 4 – Сравнительная характеристика исследуемых озер

Характеристика	Наименование объектов				
	Алаколь	Сасыкколь	Жаланашколь	Балхаш	Ушколь
Длина / км	104	49,6	18,3	600	14,2
Длина береговой линии / км	384	182	57,3	2383	21,2
Наибольшая ширина/ км	52	19,8	9,6	74	3,5
Наибольшая глубина / м	54	4,7	3,25	26	6
Средняя глубина / м	22,3	3,5	2,6	6	3,4
Площадь км ²	2650	736	37,5	17 000	24,3

Согласно данным, представленным в таблице 1, наиболее крупным озером является Балхаш, которое значительно превосходит по размеру другие водоемы региона. Следом за ним по величине идет озеро Алаколь, которое является самым глубоководным в этой группе. Третье место по площади занимает озеро Сасыкколь и четвертое место – озеро Жаланашколь. Самым маленьким и наименее глубоким озером является Ушколь, которое заметно уступает остальным, как по размеру, так и по глубине.

Таким образом, знание морфометрии необходимо для корректного понимания и интерпретации всех последующих данных.

Изучение состава воды соленых и содовых озер Алматинской области следует начинать с анализа физических параметров, так как они оказывают прямое влияние на химические процессы в водоемах.

Физические параметры воды (глубина воды, глубина Секки, проводимость, рН, t, насыщенность кислородом, мутность) были измерены в полевых условиях в мобильной лаборатории, сразу после отбора проб воды. Результаты измерений представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Физические параметры отобранных проб соленых и содовых озер Алматинской области

№	Наименование	Глубина воды	Глубина Секки (см)	Cond (mS/cm) проводимость	рН	Т (°С)	Ох (мг/л)	Ох (%)	FNU (мутность)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Балхаш №1	30	30+	8,13	8,93	18,4	9,15	101,3	4,4
2	Балхаш №2	7	7+	60,6	8,7	25,7	9,24	118	3,7
3	Балхаш №3	95	95+	8,3	8,89	23,2	8,93	109	0,4
4	Балхаш №4	67	67+	5,91	9,00	20,4	9,1	105,3	2,5
5	Балхаш №5	45	18	14,52	9,17	22,4	16,55	199,3	11,4
6	Балхаш №6	40	40+	6,44	8,93	21,7	8,91	105,7	6
7	Балхаш №7	18	18+	6,9	8,91	26,1	8,68	111	4,2
8	Балхаш №8	40	40+	7,27	8,89	25,8	8,44	107,3	4
9	Балхаш №9	73	73+	63	8,07	21,9	6,88	81,8	12,2
10	Балхаш №10	31	31+	51,1	9,20	24,9	9,27	117,2	5,5
11	Балхаш №11	100	100+	3,34	8,71	28,9	9,05	116,9	110,3
12	Балхаш №12	15	15+	20,9	9,46	31,7	13,1	186,7	8,1
13	Балхаш №13	20	20+	107,8	9,56	29,5	15,16	200	12
14	Балхаш №14	4	4+	181,1	7,5	30,3	12,807	11,1	76
15	Балхаш №15	20	18	151,6	7,72	36,1	18,01	200+	43,1
16	Балхаш №16	15	15+	8,53	8,71	29,9	8,04	110,3	8,2
17	Балхаш №17	3	3+	145,7	7,31	34,2	12,29	19,2	47

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
18	Балхаш №18	50	50+	7,38	8,77	27,9	7,64	102	3,8
19	Ушколь №1	57	57+	3,02	10,32	28,8	13,84	187,8	3,2
20	Ушколь №2	200<	37	2,78	9,11	29,7	11,7	162	68,9
21	Сасыкколь	40	10	0,713	8,67	26,4	9,63	126	66,3
22	Алаколь №1	100	27	16,56	8,73	29,5	8,9	123,1	11,3
23	Алаколь №2	50	50+	9,68	8,98	30,5	14,42	200+	9,1
24	Алаколь №3	45	30	10,16	8,98	27,3	7,74	103,2	17
25	Алаколь №4	33	33+	12,28	9,36	30,1	14,3	200+	7,6
26	Алаколь №5	9	9+	8,56	8,92	32,2	10,48	146	11
27	Алаколь №6	20	15	13,49	9,22	29,2	7,84	108	36
28	Жаланаш коль №1	150+	35	3,4	9,17	26,7	8,55	112,4	9,2
29	Жаланаш коль №2	150+	35	3,36	9,19	26,3	9,67	126,5	84,3
30	Алаколь №7	50	50+	4,09	9,05	26,8	9,96	130,8	4,5
31	Алаколь №8	56	56+	2,25	9,11	28,3	9,88	133,8	2,4
32	Алаколь №9	80	70	8,64	8,99	26,7	11,4	150	5,2

Глубина секки указывает на прозрачность воды. Высокие значения (например, 100 см) свидетельствуют о чистоте воды, в то время как низкие значения (3 см) указывают на высокую мутность и возможное наличие загрязняющих веществ или взвешенных частиц. Большая часть водоемов в таблице имеет глубину секки выше 15 см, что говорит о достаточно хорошем качестве воды.

Электропроводность воды отражает концентрацию растворенных солей и минералов. Низкие значения (0,713 мС/см) указывают на малое содержание солей, что характерно для слабосоленой воды. Высокие значения (181,1 мС/см) могут свидетельствовать о солености или загрязнении, вероятно из-за промышленных выбросов или природных факторов.

Уровень pH во всех отобранных образцах проб воды варьируется в пределах от 7,5 до 10, что свидетельствует о щелочном типе воды. В зависимости

от показателей можно выделить следующие типы: рН 7,5-8,5 - слабощелочная вода, рН 8,5-9,5 - щелочная вода, рН>9,5 - сильнощелочная вода.

В целом, уровень растворенного кислорода в отобранных образцах проб воды высокий, и колеблется в пределах от 7 до 18 мг/л, что благоприятно влияет на функционирование водных экосистем. Однако в нескольких точках (№18, 24, 27) отмечен наименьший уровень растворенного кислорода. На это влияют такие факторы, как снижение температуры и степени минерализации, уровень рН.

Мутность воды показывает количество взвешенных частиц. Высокие значения (до 66,3 FNU) могут свидетельствовать о загрязнении или высоком содержании органических веществ и взвешенных твердых частиц. Низкие значения (менее 5 FNU) указывают на чистоту воды. Наибольшая мутность была отмечена в точках обследования № 11 (Балхаш), 20 (Ушколь), 21 (Сасыкколь), 29 (Жаланашколь).

Данные физических параметров воды показывают, что большинство исследуемых озер имеют благоприятные условия для поддержания водной экосистемы, с приемлемым уровнем прозрачности, проводимости, рН и температуры. Однако, присутствуют водоемы с высоким уровнем мутности (характерно для содового типа озер), электропроводности и экстремальными значениями рН, что требует дополнительного мониторинга и, возможно, принятия мер по улучшению качества воды (точки обследования №11, 20, 21, 29).

3.1.2 Химический анализ воды соленых и содовых озер

Анализ химического состава воды соленых и содовых озер является важным аспектом гидрохимических исследований, поскольку он позволяет понять ключевые процессы, происходящие в водной среде.

Согласно полученным результатам, степень засоленности в исследованных образцах воды колебалась в очень широком суб-гипо-мезо-гиперсоленом диапазоне (1,3–526 г/л). Эмпирическую зависимость между общим содержанием растворенных твердых веществ (TDS), рассчитанную на основе суммарной концентрации восьми основных ионов и электропроводности, можно оценить с помощью простой значимой линейной зависимости в виде уравнения (1):

$$\text{TDS (г/л)} = 1,788 \times \text{проводимость (мк/см)}; r^2 = 0,946 \quad (7)$$

В тридцати двух пробах воды, согласно классификации Э. Бороса и М. Колпаковой, [35] можно выделить двадцать пять соленых, четыре содовых и три содово-соленых химических типа воды (таблица 6, рисунок 14-15).

В соленом типе воды преобладают восемь основных растворенных веществ: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- и SO_4^{2-} , но в концентрированных соляных растворах существует несколько катионно-анионных несовместимостей (высокое содержание $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ концентрации связаны с

низкими количествами Ca^{2+} и Mg^{2+} ; высокие концентрации SO_4^{2-} сочетаются с низкими концентрациями Ca^{2+} ; Ca^{2+} как доминирующий ион обычно коррелирует с высокими концентрациями Cl^-).

Таблица 6 – Классификация типа воды, основанная на доминировании ионов

№	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₃	HCO ₃ +CO ₃	Тип воды
1	63	3	2	32	38	45	14	3	17	Соленое
2	83	1	0	16	68	28	3	1	5	Соленое
3	63	1	2	34	41	39	15	4	19	Соленое
4	65	2	2	31	40	43	14	4	18	Соленое
5	60	1	1	38	48	34	14	5	19	Соленое
6	64	3	2	31	41	41	12	6	18	Соленое
7	62	4	2	32	39	44	14	3	17	Соленое
8	63	4	1	31	38	46	13	3	16	Соленое
9	42	1	7	50	72	27	1	0	1	Соленое
10	96	1	0	3	28	52	13	7	21	Соленое
11	71	1	5	23	45	29	20	6	27	Содово-соленые
12	94	1	0	4	21	41	20	17	38	Содово-соленые
13	99	1	0	0	9	40	13	38	51	Содовое
14	91	1	0	8	68	30	1	0	2	Соленое
15	87	1	0	11	46	53	1	0	1	Соленое
16	76	4	17	3	40	44	11	5	16	Соленое
17	76	2	0	22	33	66	1	0	1	Соленое
18	77	2	1	20	42	41	13	4	17	Соленое
19	80	3	3	14	35	41	14	10	23	Соленое
20	56	4	5	34	29	31	32	8	40	Содовое
21	78	1	9	12	74	6	19	0	19	Соленое
22	59	2	1	38	6	63	26	6	32	Содово-соленые
23	75	1	2	21	34	46	13	7	20	Соленое
24	74	1	2	23	39	41	17	4	21	Соленое
25	77	1	0	21	35	47	13	6	19	Соленое
26	78	1	1	19	34	47	14	4	18	Соленое
27	76	1	0	23	39	41	14	6	20	Соленое
28	65	2	2	30	17	39	34	10	44	Содовое
29	79	1	2	18	21	38	31	10	42	Содовое
30	74	2	3	21	35	43	17	4	21	Соленое
31	73	1	6	20	36	37	21	5	26	Соленое
32	75	1	1	23	35	46	14	5	19	Соленое

Содово – соленый тип можно рассматривать, как отдельную промежуточную, эволюционную стадию между содовым и соляным типами в геохимической интерпретации по показателям насыщения химического состава.

Для промежуточного типа воды Na^+ стоит на первом месте в ранге доминирующих катионов, а сумма концентраций $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$ превышает 25%, но не является первым в ранге доминирующих анионов.

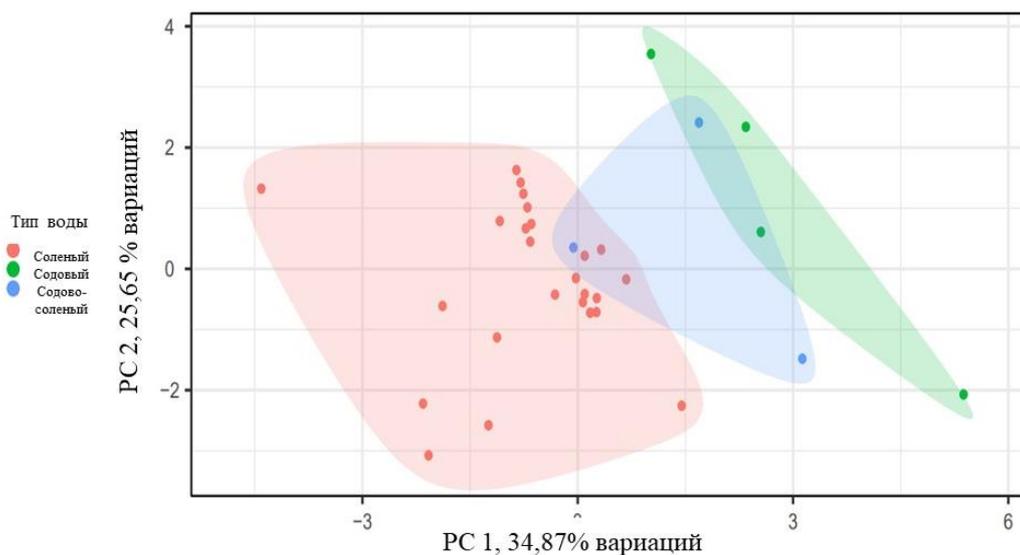


Рисунок 14 – Анализ главных компонент (PCA) по химическому составу воды на основе ионного состава

Распределение параметров по участкам вдоль первой оси PCA объясняет 34,87 % вариации, в то время как меньшее разделение может наблюдаться вдоль второй оси (25,65 %).

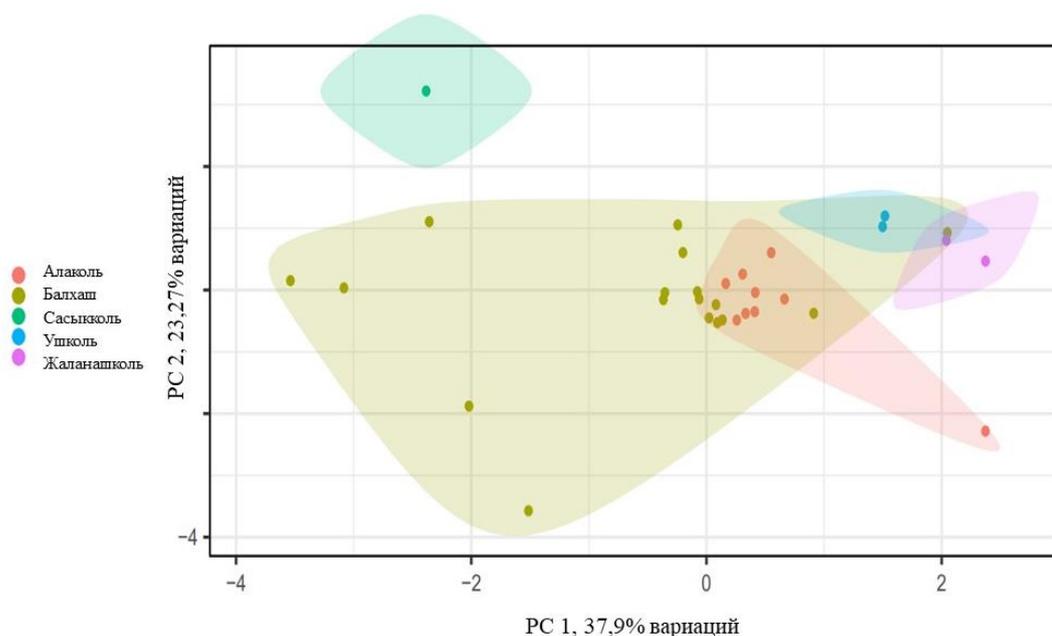


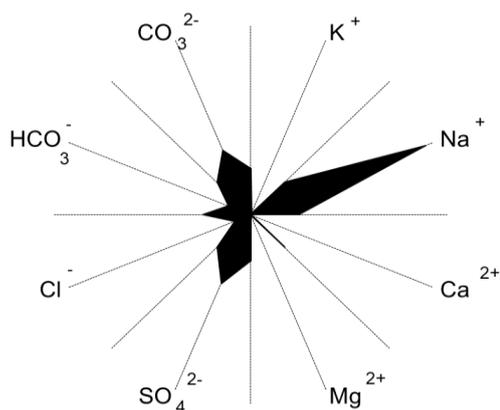
Рисунок 15 - PCA анализ классификации водоемов по приуроченности к местообитанию

Распределение параметров по участкам вдоль первой оси PCA объясняет 37,9 % вариации, в то время как меньшее разделение расположено вдоль второй оси (23,27 %).

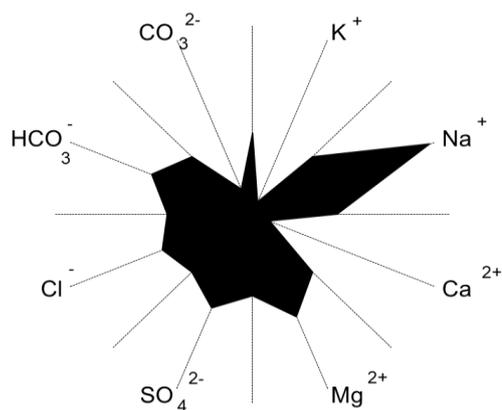
Содовые озера встречаются намного реже. Данный тип озер характеризуется мелководьем, экстремальными физико-химическими условиями, особым биогеохимическим круговоротом и уникальным

биологическим разнообразием. В данном типе воды преобладают ионы натрия (Na^+) и карбонаты (HCO_3^- , CO_3^{2-}) и обычно имеют стабильно высокий pH ($\text{pH} > 9$). Содовый тип озер имеет высокую концентрацию хлорида, переменные концентрации сульфата и калия, и очень низкие концентрации щелочноземельных металлов из-за равновесного состояния с карбонатными минералами (кальцит, высокомагнезиальный кальцит, стронцианит и др.).

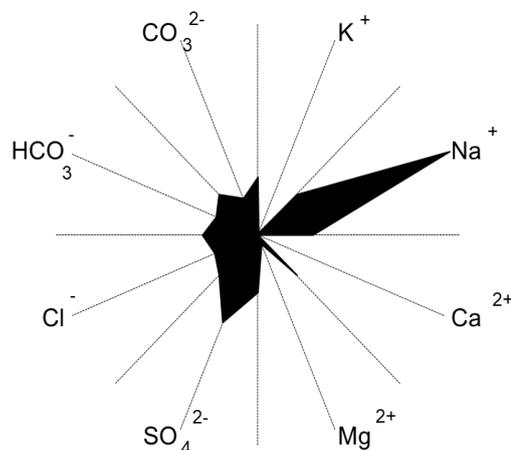
На рисунке 16 представлен ионный состав содового и содово-соленого химического типа воды в диапазоне минерализации исследуемого района.



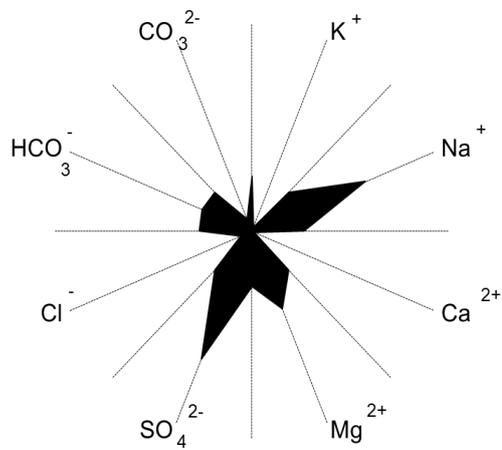
Содовый тип, TDS=379 г/л
(Ушколь, № 20)



Содовый тип, TDS=2 г/л
(Жаланашколь, № 29)



Содово-соленый тип, TDS=19 г/л
(Балхаш, № 12)

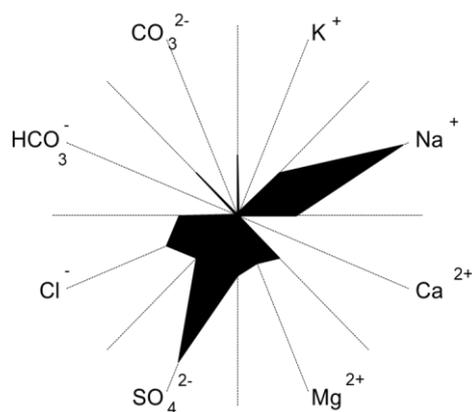


Содово-соленый тип, TDS=9 г/л
(Алаколь, №22)

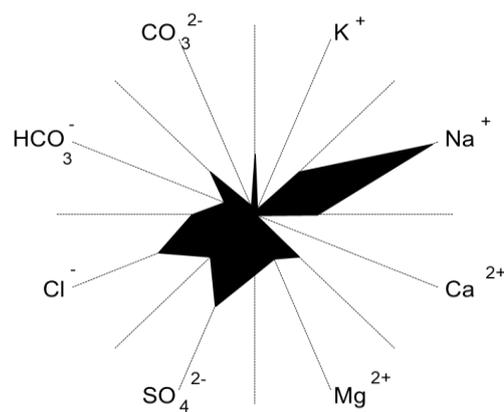
Рисунок 16 - Ионный состав содового и содово-соленого химического типа воды в диапазоне минерализации исследуемого района

По химическому составу воды, эти озера относятся к содовому типу, в которых карбонаты (HCO_3^- , CO_3^{2-}) были первыми преобладающими характерными анионами ($> 25\%$), кроме того, сульфаты (SO_4^{2-}) также доминировали после карбонатов в этих водах. SO_4^{2-} или хлор (Cl^-) были первыми,

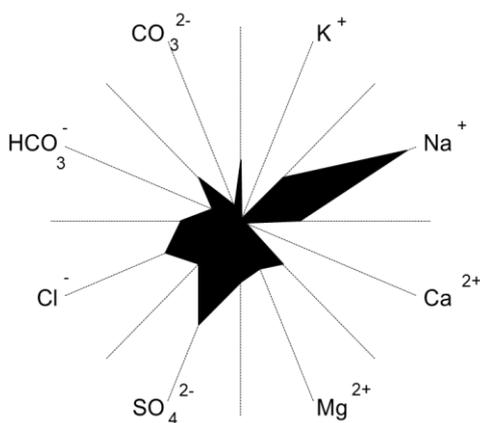
а карбонаты - вторыми доминирующими анионами для промежуточного типа содово-соленых вод. На рисунке 17 представлен ионный состав соленого химического типа воды в диапазоне минерализации исследуемого района.



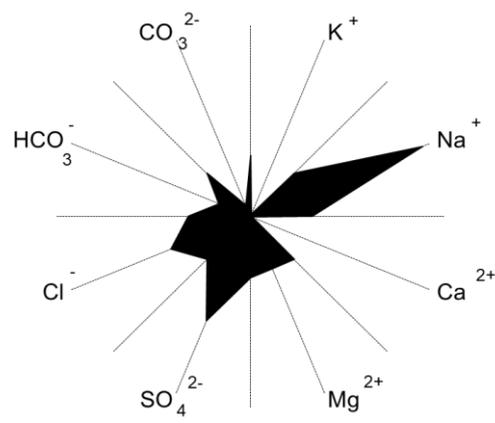
Соленый тип, TDS=526 г/л
(Балхаш; № 17)



Соленый тип, TDS=7 г/л
(Балхаш; № 18)



Соленый тип, TDS=8 г/л
(Алаколь; № 1)



Соленый тип, TDS=6 г/л
(Алаколь; № 32.)

Рисунок 17 - Ионный состав соленых вод химического типа по диапазону солености в исследуемой области

По химическому составу воды, эти озера относятся к соленому типу. В соленых водах без преобладания карбонатов выявлены различные сочетания преобладающих рангов SO_4^{2-} и Cl^- . Na^+ был первым доминирующим ионом (>25%) среди катионов во всех исследуемых образцах, а магний (Mg^{2+}) был вторым доминирующим ионом лишь в нескольких образцах воды. На рисунке 18 представлена карта распределения озер, основанная на классификации Э. Бороса и М.Колпаковой в зависимости от их типа: соленое, содово-соленое, соленое [35].



Рисунок 18 - Карта распределения исследуемых объектов в зависимости от химического типа воды

На рисунке 19 представлена дендрограмма, которая демонстрирует иерархическую кластеризацию исследуемых точек обследования. Объекты, которые находятся ближе друг к другу на дендрограмме, имеют большее сходство на основании выбранных химических и физических переменных.

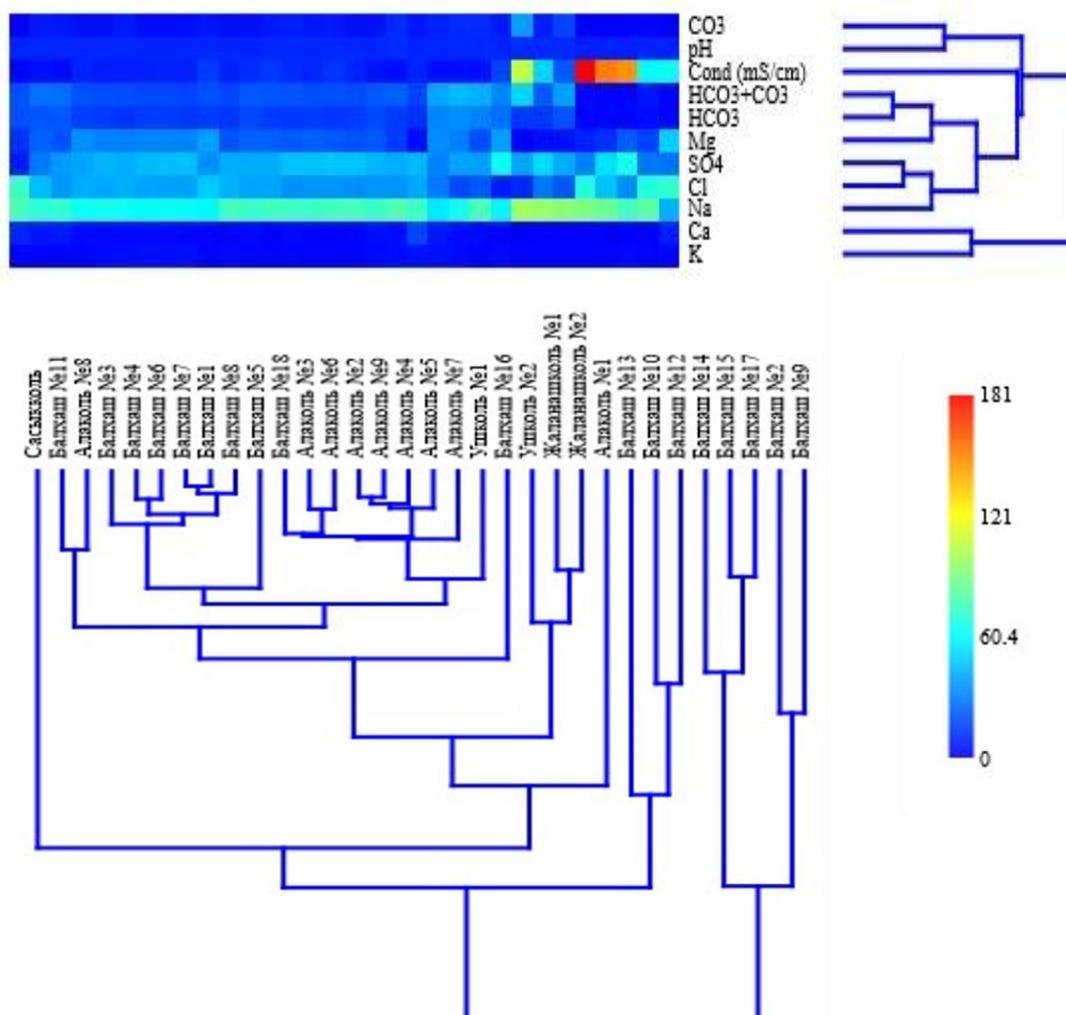


Рисунок 19 – Кластерный анализ сходства и различия химического состава воды исследуемых озер

Данный анализ демонстрирует значительное сходство химического состава озер по таким элементам как: Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻, HCO₃+CO₃, однако, позволяет проследить несколько кластеров исследуемых объектов. Озеро Сасыкколь (точка обследования № 21) представляет собой самостоятельную группу, не имея тесного контакта с другими объектами. Это объясняется тем, что по химическому составу, озеро – слабосоленое или полупресноводное. Ушколь 2, Жаланащколь 1,2 объединены в отдельный кластер и характеризуются высоким pH и повышенным содержанием Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, CO₃²⁻, что свидетельствует об их содовом типе воды. Точки обследования Балхаш №11 и Алаколь №8 (№11, 31), Балхаш №3, №4-6, №1, №7-8 Балхаш №5 составляют один кластер. Далее

Балхаш 18, Алаколь №3-6, Алаколь №2-9, Алаколь №4-5, Алаколь №7, Ушколь №1, Балхаш №16 объединены в отдельный кластер, к которому примыкает Алаколь №1. В отдельную группу объединены Балхаш №13, Балхаш №10 и №12, Балхаш №14, №15 и 17, а также Балхаш №2 и №9 (на основании данных, представленных в таблице 3).

В таблице 7 представлены данные о концентрации следующих химических измерений: общее количество взвешенных твердых частиц, общий органический углерод, растворенный органический углерод, цветное растворенное органическое вещество, общий азот, общий растворенный азот, общий фосфор, общий растворенный фосфор.

Таблица 7 - Данные о концентрации (мг/л) химических измерений в различных типах воды

№	TSS	TOC	DOC	CDOM	TN	TDN	TP	TDP
1	<2	6,76	5,2	0,0	13,1	6,3	0,17	0,17
2	<2	5,73	4,5	4,0	4,3	3,7	0,23	0,2
3	<2	6,81	5,9	0,0	5,0	4,2	0,22	0,2
4	<2	5,41	4,2	0,0	3,0	3,0	0,27	0,2
5	<2	>2	<2	34,0	2,8	2,6	0,34	0,3
6	<2	6,21	5,6		4,1	4,1	0,19	0,1
7	<2	>2	<2	0,0	3,8	3,4	0,18	0,18
8	<2	7,53	2,9	0,0	1,8	1,8	0,11	0,1
9	<2	15,6	13,9	19,0	3,2	2,7	0,14	0,1
10	<2	27,5	27,5	0,0	1,9	1,6	0,19	0,2
11	<2	23,9	22,1	17,0	0,8	<0,5	0,12	0,1
12	<2	>2	<2	11,0	4,8	4,4	0,2	0,2
13	4,1	<2	<2	66,0	9,9	9,5	11,5	11,0
14	11,1	8,0	<2	635,0	5,0	5,0	4,5	4,5
15	<2	<2	<2	31,0	3,5	2,6	0,5	0,3
16	<2	<2	<2	56,0	5,7	5,4	0,2	0,1
17	14,8	<2	<2	131,0	15,7	15,7	52,5	1,1
18	<2	19,6	17,8	15,0	3,4	3,0	0,3	0,3
19	<2	57,8	40,1	47,0	1,3	0,9	0,2	0,2
20	<2	22,7	18,9	7,0	1,0	0,5	0,1	0,1
21	<2	<2	<2	0,0	3,4	2,1	0,11	0,1
22	<2	<2	<2	7,0	5,4	5,4	0,54	0,2
23	<2	<2	<2	0,0	0,1	0,1	0,08	0,1
24	<2	<2	<2	0,0	1,6	1,6	0,09	0,02
25	<2	<2	<2	0,0	2,1	1,9	0,12	0,1
26	<2	<2	<2	0,0	1,5	1,5	0,14	0,1
27	<2	<2	<2	24,0	4,8	4,8	0,07	0,1
28	<2	<2	<2	0,0	1,1	1,1	0,12	0,0
29	<2	<2	<2	0,0	1,4	1,4	0,16	0,1
30	<2	<2	<2	5,0	0,8	0,8	0,08	0,0
31	<2	<2	<2	0,0	1,1	1,1	0,05	0,05
32	<2	<2	<2	0,0	2,2	2,2	0,06	0,0

Прозрачность толщи воды была измерена с помощью диска Секки в тридцати двух местах отбора проб (69%), и концентрация TSS, ТОС, DOC в нескольких случаях была ниже диапазона обнаружения. Параметры ТОС и DOC варьировали в диапазоне 0 – 27,5 мг/л, и в большинстве случаев DOC превышает 50% от ТОС. TP варьировался в диапазоне 0,1–15,1 мг/л, а общий растворенный азот (TDN) в большинстве случаев превышал 50% от TN. TP варьировал в диапазоне 0,05 – 52,5 мг/л. По классификации трофности ОЭСР (1982), все отобранные пробы воды превышали эвтрофный и двадцать пять (78%) из них гипертрофный уровни, в то время, как доля общего растворенного фосфора (TDP) варьировала в очень широком диапазоне (2-100%) в TP.

Таким образом, анализ химического состава воды соленых и содовых озер показал значительные вариации уровня засоленности и химических типов водоемов, что позволяет глубже понять их гидрохимические процессы и особенности. Результаты исследования продемонстрировали широкий диапазон концентраций солей, от субсоленых до гиперсоленых значений (1,3–526 г/л), с выявлением четкой линейной зависимости между содержанием растворенных твердых веществ и электропроводностью. Были выявлены соленый, содовый и содово-соленый тип воды озер, отличающиеся по доминирующим ионам и физико-химическим параметрам.

Дендрограмма и кластерный анализ показали сходство химических характеристик между озерами, имеющими схожий ионный состав. Высокое содержание органических и биогенных веществ в некоторых озёрах является показателем их экологического состояния и уровня эвтрофикации. Основной тип трофности – эвтрофный и гиперэвтрофный. Следовательно, химический анализ вод содовых и соленых озер необходим для оценки их природных и экологических особенностей, а также для разработки стратегии устойчивого использования этих уникальных экосистем.

3.2 Состав почвы прибрежной зоны исследуемых соленых и содовых озер

3.2.1 Механический состав почвы прибрежной зоны

Механический состав почвы, включающий распределение различных фракций – от песчаных до глинистых частиц, играет ключевую роль в формировании ее физико-химических характеристик. Структура почвы напрямую влияет на накопление и передвижение влаги, питательных веществ, а также на процессы минерализации и выветривания. Только после того, как будет изучена механическая структура почвы, можно корректно оценить ее химический и агрохимический составы, поскольку поглотительная способность почвы, способность удерживать питательные вещества и их доступность для растений зависят от того, насколько эффективно она справляется с водным и воздушным режимом.

Как известно, для большей территории области Жетісу (бывшая Алматинская) характерны серо-бурые пустынные почвы [185], где также встречаются солонцы (почвы, содержащие водорастворимые соли не в самом верхнем горизонте, а на некоторой глубине) и солончаки (почвы, содержащие большое количество водорастворимых солей с самой поверхности).

Следующей важной составляющей почвы является ее механический состав. От состава грунта и величины грунтовых частиц зависит его плодородие. Механический состав почвы изменяется достаточно редко, однако под воздействием различных факторов (биотические, абиотические и антропогенные) могут происходить изменения с течением времени [185].

Генетические слои почвенного разреза, прибрежной зоны озера Алаколь, характеризовалась следующими морфологическими признаками (таблица 8):

0-5 см – палево-серого цвета слоеватая суглинистая рыхлая коронка с выделением солей; переход ясный;

5-34 см – бурый, среднесуглинистый, слабовлажный, слабоуплотненный, комковатый, с более выраженным выделением солей в виде белесых тонких жилок и крапин; переход постепенный;

34-50 см – светло-бурый с темными пятнами, среднесуглинистый, влажный, более обильное выделение солей;

50-150 см – желто-бурый с сизовато-зеленоватыми пятнами тяжелый сильно влажный, соленосный суглинок [186].

Таблица 8 - Механический состав почвы прибрежной зоны озера Алаколь

№ отбора проб	Вид почвы	Механический состав
1	сероземы светлые северные, малоразвитые на галечниковом и щебнисто-галечниковом аллювии и проллювии	среднесуглинистые
2	сероземы светлые северные, малоразвитые на галечниковом и щебнисто-галечниковом аллювии и проллювии	среднесуглинистые
3	лугово-болотные засоленные	среднесуглинистые

Результаты анализа механического состава почв прибрежной зоны озера Алаколь показали, что все исследованные образцы почвы, включая светлые северные сероземы и лугово-болотные засоленные почвы, имеют среднесуглинистый состав. Этот тип механического состава обеспечивает умеренные показатели водо- и воздухопроницаемости, что способствует нормальному развитию растительности и формированию устойчивой экосистемы прибрежной зоны.

Генетические слои почвенного разреза прибрежной зоны озера Сасыкколь характеризовались следующими морфологическими признаками (таблица 9):

0-10 см – палево-серая суглинистая, легко размывающаяся корка, сухая, пористая, встречаются крапины солей; переход постепенный;

10-50 см – коричнево-бурый, тяжелосуглинистый; влажный, рыхлый, непрочнокомковатый, обильное выделение в виде крапин и жилок;

50-100 см – бурый с темными пятнами, влажный рыхлый, непрочнокомковатый, сильно пронизан солевыми выделениями;

100-200 см – желто-бурый с сизовато-зеленоватыми железистыми пятнами, тяжелосуглинистый, сильно соленосный [186].

Таблица 9 - Механический состав почвы прибрежной зоны озера Сасыкколь

№ отбора проб	Вид почвы	Механический состав
4	солонцы гидроморфные солончаковые	среднесуглинистые
5	болотные незасоленные	тяжелосуглинистые
6	солонцы гидроморфные солончаковые	среднесуглинистые

Анализ механического состава почв прибрежной зоны озера Сасыкколь показал, что почвы в основном имеют среднесуглинистый и тяжелосуглинистый состав. Солонцы гидроморфные солончаковые характеризуются среднесуглинистым составом, что обеспечивает умеренные водо- и воздухопроницаемые свойства. В то же время болотные незасоленные почвы имеют тяжелосуглинистый состав, который отличается низкой водопроницаемостью и высокой влагоемкостью.

Генетические слои почвенного разреза, прибрежной зоны озера Жаланашколь, характеризовались следующими морфологическими признаками (таблица 10):

0-15 см – темно-серый, тяжелосуглинистый, почти сухой, дернистый, пороховатый, переход ясный;

15-35 см – серовато-бурый, глинистый, свежий, уплотненный, зернистокомковатый, выделение солей в виде крапин; переход постепенный;

35-65 см – светло-бурый с ржаво-бурыми и зеленоватыми пятнами, глинистый, слабовлажный, довольно плотный; переход резкий;

65-75 см – погребенная глинистая почва с большим количеством полуразложившихся корней тростника [186].

Таблица 10 – Механический состав почвы прибрежной зоны озера Жаланашколь

№ отбора проб	Вид почвы	Механический состав
7	солончаки луговые, луговые незасоленные	среднесуглинистые
8	бурые пустынные малоразвитые на щебнистом элювии и элювии-делювии плотных пород	среднесуглинистые
9	лугово-болотные незасоленные	среднесуглинистые

Анализ механического состава почв прибрежной зоны озера Жаланашколь показал, что все исследованные почвы, включая солончаки луговые, луговые незасоленные, бурые пустынные и лугово-болотные незасоленные почвы имеют среднесуглинистый состав. Это указывает на их умеренные водо- и воздухопроницаемые свойства, что способствует хорошему удержанию влаги и питательных веществ. Среднесуглинистый состав почв создает благоприятные условия для поддержания устойчивых экосистем в прибрежной зоне и минимизирует риски эрозии и деградации почв.

Генетические слои почвенного разреза, прибрежной зоны озера Балхаш, характеризовались следующими морфологическими признаками (таблица 11):

0-10 см – серовато-бурый мелкозернистый, рыхлый, почти сухой песок, редко пронизан корнями трав; переход постепенный;

10-30 см – светло бурый, влажный, мелкозернистый песок; переход постепенный;

30-100 см – серовато-желто-бурый влажный рыхлый мелкозернистый песок [186].

Таблица 11 – Механический состав почвы прибрежной зоны озера Балхаш

№ отбора проб	Вид почвы	Механический состав
10	пески пустынные, слабогумусированные	песчаные
11	пески пустынные, слабогумусированные	песчаные
12	карбонатные закрепленные бугристые	супесчаные

Анализ механического состава почв прибрежной зоны озера Балхаш выявил преобладание песчаных и супесчаных почв. Пески пустынные слабогумусированные характеризуются высокой водопроницаемостью и низкой влагоемкостью, что ограничивает их плодородие и способствует засушливым условиям. Карбонатные закрепленные бугристые почвы имеют супесчаный состав, который обеспечивает несколько лучшее удержание влаги, но все же сохраняет высокую проницаемость. Эти почвы, будучи менее плодородными, требуют специальных мер для их устойчивого использования и предотвращения эрозии.

Генетические слои почвенного разреза, прибрежной зоны озера Ушколь, характеризовались следующими морфологическими признаками (таблица 12):

0-10 см – серовато-бурый, рыхлый, мелкозернистый песок, пронизанный редкими корнями серой полыни и терескена;

10-30 см – желто-бурый рыхлый влажный мелкозернистый песок, пронизанный редкими корнями; переход постепенный

30-75 см – более влажный желто-бурый мелкозернистый песок; переход постепенный;

75-100 см – желто-бурый, рыхлый сырой, пылевато-мелкозернистый песок [186].

Таблица 12 – Механический состав почвы прибрежной зоны озера Ушколь

№ отбора проб	Вид почвы	Механический состав
13	пески пустынные с признаками гумусированности, карбонатные, слабозакрепленные, равнинные	легкосуглинистые
14	пески пустынные с признаками гумусированности, карбонатные, слабозакрепленные, равнинные	легкосуглинистые
15	пески пустынные с признаками гумусированности, карбонатные, слабозакрепленные, равнинные	легкосуглинистые

Анализ механического состава почв прибрежной зоны озера Ушколь показал, что все исследованные почвы представляют собой легкосуглинистые и щебнистые пески с признаками гумусированности и карбонатности. Эти почвы характеризуются хорошей водо- и воздухопроницаемостью, но ограниченной влагоемкостью, что снижает их плодородие. Щебнистость почвы также указывает на склонность к эрозионным процессам, что требует принятия мер для предотвращения деградации и улучшения условий для роста растительности.

Таким образом, сведения о механическом составе почвы позволяет более точно интерпретировать данные о содержании органических веществ,

микро- и макроэлементов, а также о движении питательных веществ в почвенном профиле. Последовательное исследование механического, а затем химического и агрохимического состава почв прибрежной зоны является необходимым для всесторонней оценки их свойств и разработки эффективных методов их использования и охраны.

3.2.2 Химический анализ почвы прибрежной зоны соленых и содовых озер

Химический анализ почв прибрежной зоны соленых и содовых озер является важным этапом комплексного исследования экосистем таких водоемов. Эти почвы находятся под постоянным влиянием озерной воды, содержащей высокие концентрации солей и других химических элементов, что оказывает значительное воздействие на их химический состав и физико-химические свойства.

Особое внимание при проведении химического анализа уделялось водной вытяжке, поскольку именно этот метод позволяет оценить степень засоления, тип засоления, а также подвижные формы химических элементов, которые наиболее доступны для растений и активно участвуют в почвенных процессах.

Почвы прибрежной полосы озера Алаколь представлены солончаками луговыми и обыкновенными среднесуглинистыми (таблица 13).

Таблица 13 – Результаты водной вытяжки почвы прибрежной зоны озера Алаколь

№ п/п	Глубина отбора, см	Водная вытяжка в $\frac{\%}{\text{м.экв.}}$ на абсолютно сухую почву									
		рН	Сумма солей, %	Щелочность		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
				Общая в HCO ₃ ⁻	От нормальных карбонатов в CO ₃ ²⁻						
1	0-15	9,98	3,215	0,163	0,067	0,452	1,519	0,002	0,010	1,051	0,018
				2,68	2,24	12,73	31,64	0,10	0,78	45,70	0,47
	15-30	10,29	0,876	0,085	0,034	0,090	0,414	0,004	0,004	0,276	0,002
				1,40	1,12	2,55	8,62	0,20	0,29	12,02	0,06
	30-45	9,23	0,918	0,024	0,005	0,393	0,197	0,039	0,065	0,177	0,021
				0,40	0,16	11,10	4,10	1,96	5,38	7,70	0,55

Максимальное количество солей в верхнем горизонте - 3,215%, тип засоления содово-сульфатный, рН среды – 9,83, сильнощелочная. Нижние горизонты также имеют высокое содержание солей (0,876 - 0,918 %), тип засоления содово-сульфатный и глубже содово-хлоридный.

В прибрежной зоне озера Сасыкколь почвы лугово-болотные незасоленные среднесуглинистые (таблица 14).

Таблица 14 - Результаты водной вытяжки почвы прибрежной зоны озера Сасыкколь

№ п/п	Глубина отбора, см	Водная вытяжка в $\frac{\%}{\text{м.экв.}}$ на абсолютно сухую почву									
		рН	Сумма солей, %	Щелочность		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
				Общая в HCO ₃ ⁻	От нормальных карбонатов в CO ₃ ²⁻						
2	0 - 15	8,59	0,121	0,017	0,002	0,018	0,049	0,008	0,006	0,021	0,002
				0,28	0,08	0,51	1,03	0,39	0,49	0,90	0,04
	15- 30	8,26	0,504	0,017	-	0,058	0,266	0,027	0,006	0,127	0,002
				0,28	-	1,64	5,54	1,37	0,49	5,54	0,05
	30 - 45	8,89	0,107	0,017	0,002	0,013	0,044	0,010	0,002	0,019	0,002
				0,28	0,08	0,36	0,92	0,49	0,20	0,84	0,04

По анализам водной вытяжки содержание солей находится в пределах 0,107 – 0,504%. Засоление наблюдается на глубине 15-30 см в средней степени. Тип засоления хлоридно-сульфатный с присутствием соды, рН среды – 8,6, сильнощелочная.

Почвы прибрежной полосы озера Жаланашколь лугово-болотные незасоленные среднесуглинистые (таблица 15).

Таблица 15 – Результаты водной вытяжки почвы прибрежной зоны озера Жаланашколь

№ п/п	Глубина отбора проб, см	Водная вытяжка в $\frac{\%}{\text{м.экв.}}$ на абсолютно сухую почву									
		рН	Сумма солей, %	Щелочность		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
				Общая в HCO ₃ ⁻	От нормальных карбонатов в CO ₃ ²⁻						
3	0-15	9,48	0,113	0,041	0,007	0,005	0,032	0,002	0,002	0,025	0,004
				0,68	0,24	0,15	0,67	0,10	0,20	1,10	0,11
	15-30	9,67	0,100	0,037	0,007	0,003	0,033	0,002	0,004	0,021	0,002
				0,60	0,24	0,07	0,68	0,10	0,29	0,90	0,06
	30-45	9,09	0,175	0,063	0,007	0,006	0,053	0,004	0,005	0,035	0,008
				1,04	0,24	0,18	1,11	0,20	0,39	1,54	0,20

По анализам водной вытяжки содержание солей находится в пределах 0,100 – 0,175 %. рН среды – 9,4, очень сильнощелочная. Наибольшее количество солей отмечено на глубине 30-45 см. Тип засоления – сульфатный, а глубже – хлоридно-сульфатный.

Почвы прибрежной зоны озера Балхаш пески пустынные с признаками гумусированности, карбонатные слабозакрепленные бугристые (таблица 16).

Таблица 16 - Результаты водной вытяжки почвы прибрежной зоны озера Балхаш

№ п/п	Глубина отбора проб, см	Водная вытяжка в $\frac{\%}{\text{м.экв.}}$ на абсолютно сухую почву									
		рН	Сумма солей, %	Щелочность		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
				Общая в HCO ₃ ⁻	От нормальных карбонатов в CO ₃ ²⁻						
4	0 - 15	8,06	0,161	0,032	0,002	0,021	0,060	0,010	0,005	0,033	0,002
				0,52	0,08	0,58	1,25	0,49	0,39	1,43	0,04
	15 – 30	9,53	0,030	0,020	0,002	0,003	0,000	0,004	0,001	0,002	0,001
				0,32	0,08	0,07	0,00	0,20	0,10	0,07	0,03
	30 - 45	9,6	0,035	0,017	0,002	0,001	0,008	0,004	0,002	0,001	0,002
				0,28	0,08	0,04	0,17	0,20	0,20	0,05	0,04

Количество солей, согласно результатам водной вытяжки, варьируется от 0,03 до 0,161 %. Максимальное количество отмечено в верхнем горизонте, на глубине 0 – 15 см – 0,161 %. рН среды – 9,23, что свидетельствует об очень сильном защелачивании. Тип засоления - хлоридно-сульфатный, в нижних слоях -хлоридный.

Почвы прибрежной полосы озера Ушколь представлены песками, пустынными незасоленными с признаками гумусированности, карбонатные, равнинные (таблица 17).

Таблица 17 - Результаты водной вытяжки почвы прибрежной зоны озера Ушколь

№	Глубина отбора проб, см	Водная вытяжка в $\frac{\%}{\text{м.экв.}}$ на абсолютно сухую почву									
		рН	Сумма солей, %	Щелочность		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
				Общая в HCO ₃ ⁻	От нормальных карбонатов в CO ₃						
5	0-15	10,85	0,108	0,027	0,001	0,008	0,042	0,006	0,004	0,021	0,001
				0,44	0,04	0,22	0,87	0,29	0,29	0,92	0,03
	15-30	11,52	0,159	0,029	0,001	0,017	0,065	0,010	0,005	0,032	0,001
				0,48	0,04	0,47	1,67	0,49	0,39	1,80	0,03
	30-45	9,6	0,085	0,024	0,002	0,009	0,026	0,004	0,002	0,018	0,002
				0,40	0,08	0,25	0,55	0,20	0,20	0,77	0,04

По результатам водной вытяжки, в образцах почв, отобранных с разных горизонтов было отмечено незначительное содержание солей 0,08 – 0,15 % (рисунок 20). рН среды – 9, очень сильнощелочная. Тип засоления – хлоридно-сульфатный.

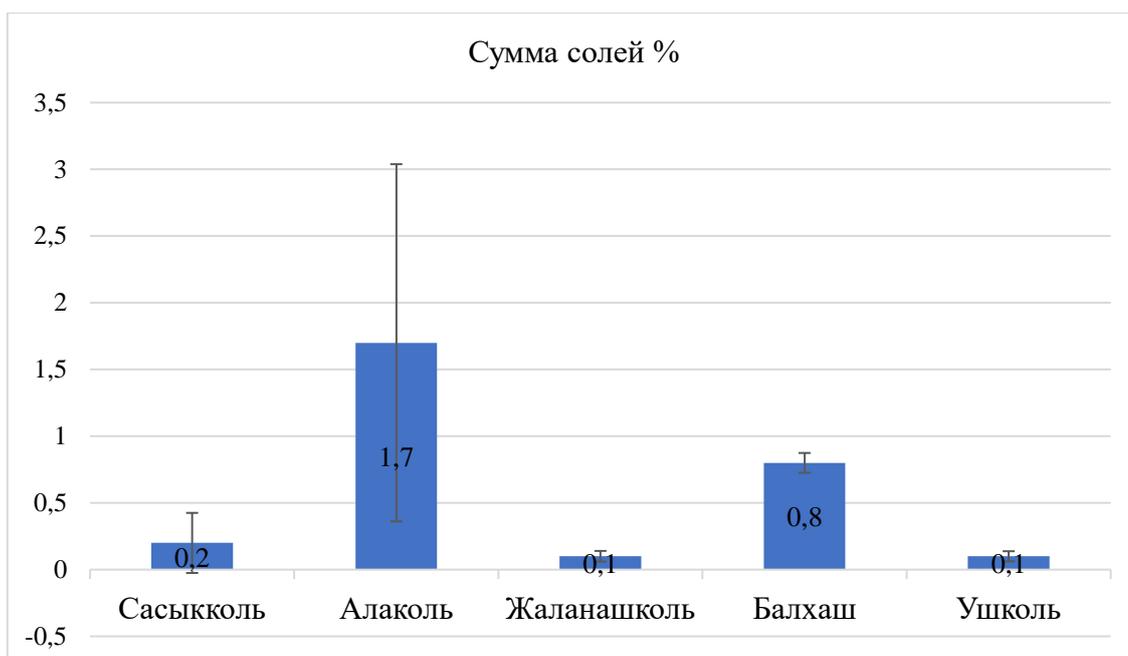


Рисунок 20 – Сумма солей почв прибрежной зоны соленых и содовых озер Алматинской области

Основные элементы, соединения которых могут приводить к засолению почв – Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , S, C, N, B, Si. Засоление почв происходит преимущественно в форме солей: хлориды – NaCl , KCl , MgCl_2 , CaCl_2 ; сульфаты – Na_2SO_4 , MgSO_4 , K_2SO_4 ; карбонаты – Na_2CO_3 , NaHCO_3 , MgCO_3 , CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$; нитраты – NaNO_3 , KNO_3 [187]. На рисунке 21 представлена карта с типом засоления и степенью кислотности для всех 32 точек обследования из 5 озер: Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь, Балхаш и Ушколь.

Установлено, что тип засоления оказывает разнообразное влияние на анатомо-морфологические и физиологические особенности галофитной растительности. Основным типом засоления является – хлоридно-сульфатное, которое стимулирует развитие суккулентности, т.е. накопление воды в тканях, что помогает галофитам поддерживать водный баланс. Другим видом приспособления является развитие специальных структуры, таких как соляные железы или трихомы, которые помогают выводить избыток солей на поверхность листьев. В условиях развития хлоридного засоления у растений появляются черты суккулентности, при сульфатном – галоксероморфности.

Таким образом, результаты водной вытяжки отражают растворимую часть солей и питательных веществ, определяя текущее состояние почвы с точки зрения ее плодородия, водно-солевого баланса и агрохимической пригодности. Такой подход важен для понимания влияния химических свойств почв на экосистему в целом и для прогнозирования их дальнейшего состояния при изменении условий окружающей среды.

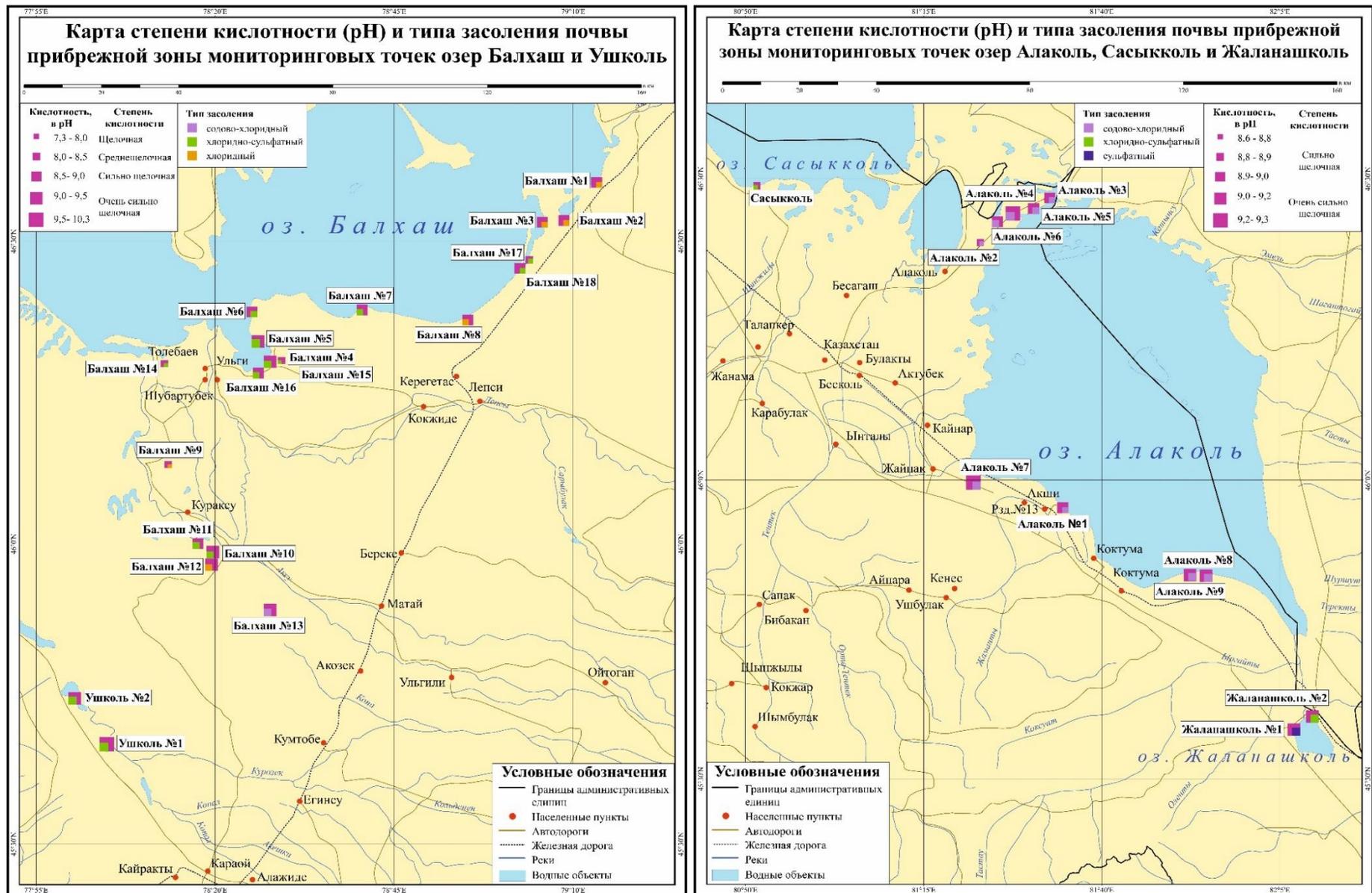


Рисунок 21 - Карта типа засоления и степени кислотности исследуемых озер

3.2.3 Агрохимический анализ почвы

Агрохимический анализ прибрежной зоны исследуемых озер необходим для определения содержания подвижных питательных веществ (СППВ), которые являются одними из основных показателей эффективного плодородия почв [188]. Для роста и питания растений, важнейшая роль принадлежит 3-м элементам: азоту, фосфору и калию [189]. На рисунке 22 представлены результаты, полученные в ходе проведения агрохимического анализа почвы прибрежной линии соленых и содовых озер. На основе этих данных была оценена степень обеспеченности почвы подвижными элементами.

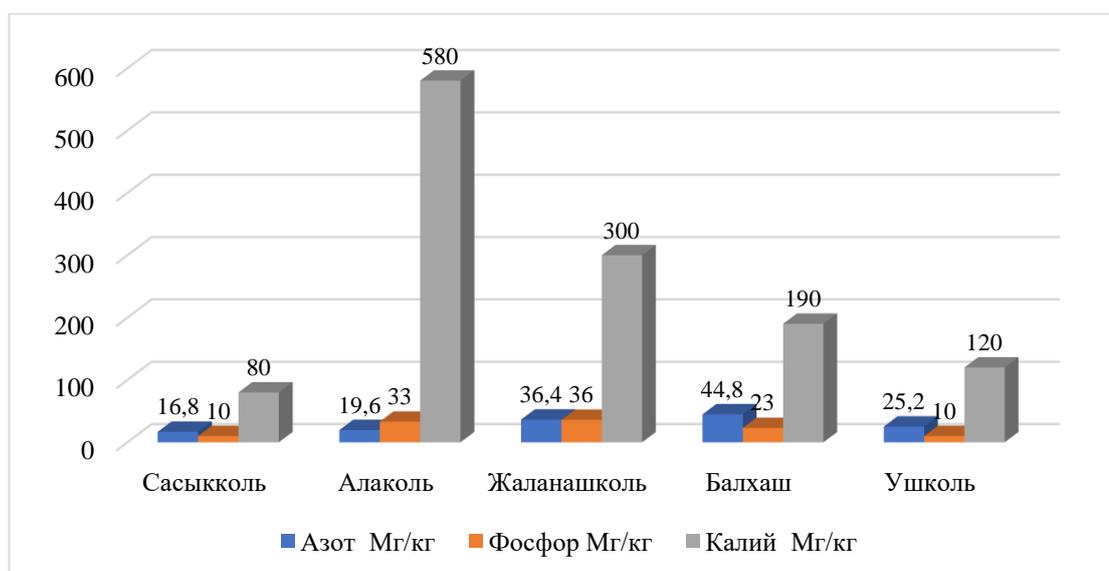


Рисунок 22 – Подвижные питательные вещества прибрежной линии соленых и содовых озер

Почва прибрежной зоны выше приведенных озер имеет следующие показатели подвижного азота: Алаколь – 19,6 мг/кг, Сасыкколь – 16,8 мг/кг, Ушколь – 25,2 мг/кг, что свидетельствует об очень низкой степени обеспеченности растворимым азотом (<30). Показатели содержания подвижного азота озер Балхаш (44,8 мг/кг) и Жаланашколь (36,4 мг/кг) характеризуют почву с низкой степенью обеспеченности. Таким образом, можно разделить почву на 2 группы: группа почв с очень низкой степенью обеспеченности подвижным азотом и с низким содержанием (рисунок 23).

По содержанию подвижного фосфора почвы прибрежной зоны исследуемых озер Алматинской области можно распределить на 3 группы: группа I: степень обеспеченности подвижным фосфором очень низкая (<10): почва прибрежной зоны озер Сасыкколь и Ушколь (10 мг/кг); группа III: степень обеспеченности подвижным фосфором средняя (16-30 мг/кг): почва прибрежной зоны озера Балхаш (23 мг/кг); группа IV: степень обеспеченности

подвижным фосфором повышенная (31-45 мг/кг): почва прибрежной зоны озер Алаколь (33 мг/кг), Жаланашколь (36 мг/кг), (рисунок 24).

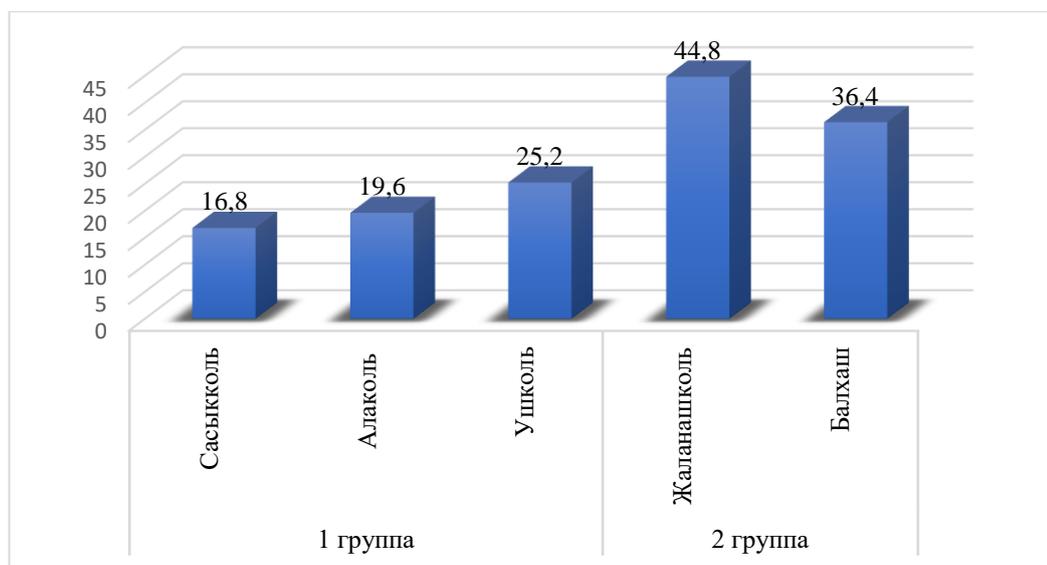


Рисунок 23 – Содержание подвижного азота (мг/кг) в образцах почв прибрежной зоны соленых и содовых озер исследуемого региона

По содержанию обменного калия, почвы прибрежной зоны соленых и содовых озер Алматинской области относятся к 4 группам: с очень низкой обеспеченностью, низкой, средней и высокой.

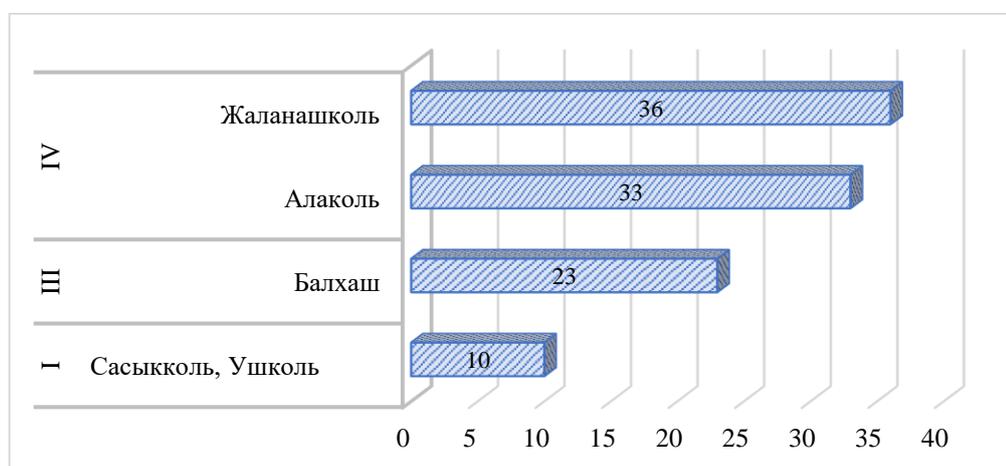


Рисунок 24 – Содержание подвижного фосфора (мг/кг) в образцах почв прибрежной зоны соленых и содовых озер Алматинской области

К I группе относится почва прибрежной зоны озера Сасыкколь, с содержанием обменного К 80 мг/кг – очень низкая степень обеспеченности (<100), ко II группе относятся почвы озер Ушколь (120 мг/кг) и Балхаш (190 мг/кг) – низкая степень обеспеченности (101-200), к III группе относится почва прибрежной зоны озера Жаланашколь (300 мг/кг) – средняя степень обеспеченности (201-300) и к IV группе с высокой степенью обеспеченности

обменным калием (401-600) относится почва прибрежной зоны озера Алаколь – 580 мг/кг (рисунок 25).

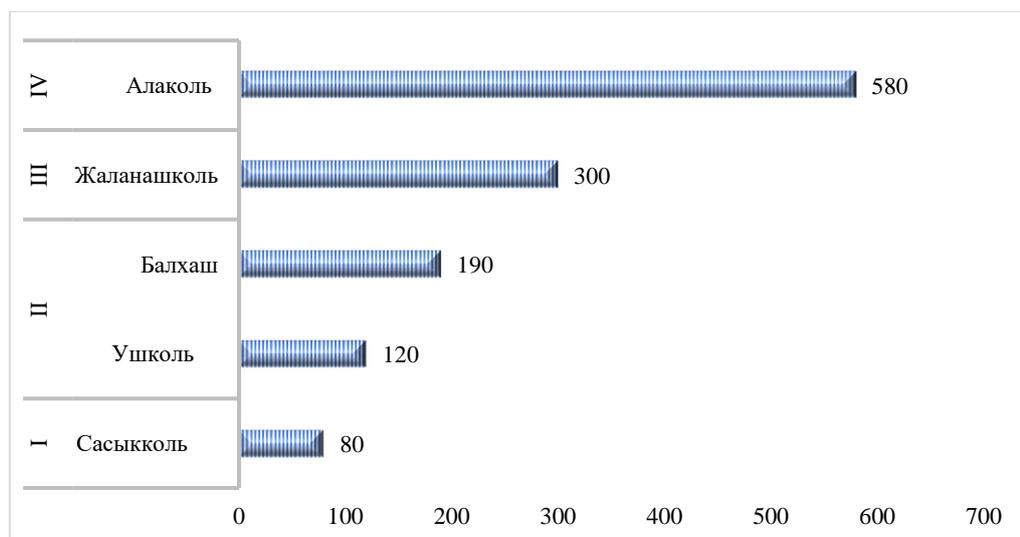


Рисунок 25 – Содержание обменного калия (мг/кг) в почвах прибрежной зоны соленых и содовых озер

Таким образом, согласно полученным данным агрохимического анализа, к наиболее плодородным можно отнести почвы прибрежной линии озер Алаколь и Жаланашколь. Именно в их составе было отмечено большее содержание подвижного фосфора, калия и азота.

Следует отметить, что pH является одним из основных показателей почвы, который напрямую оказывает влияние на доступность питательных веществ, макро- и микро-элементов, микробиологическую активность почвы, развитие и функционирование клеток корней растений и т.д.

На рисунке 26 приведены сведения об уровне pH для почвы прибрежной зоны исследуемых озер.

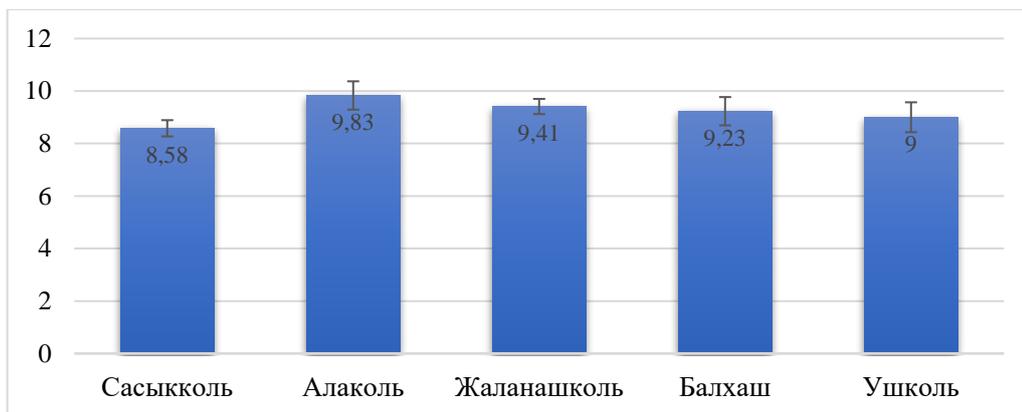


Рисунок 26 – pH почвы прибрежной зоны соленых и содовых озер Алматинской области

Согласно рисунку 26, почвы прибрежной зоны исследуемой территории Алматинской области по степени кислотности можно разделить на 3 группы (таблица 17).

Таблица 17 – Группировка почв по степени кислотности

Степень кислотности	Места отбора почв	pH
среднещелочная	почвы прибрежной зоны озера Сасыкколь	8,0 – 8,5
сильнощелочная	почвы прибрежной зоны озера Ушколь	8,6 – 9,0
очень сильнощелочная	почвы прибрежной зоны озер Алаколь, Жаланашколь и Балхаш	> 9, 0

Как известно, для жизнедеятельности растений (роста и развития), поглощения питательных веществ и микробной активности наиболее оптимальным диапазоном pH считается 5,5-8. Уровень pH > 7 во всех образцах свидетельствует о том, что почвы относятся к щелочным. pH почвы прибрежной зоны озера Сасыкколь – pH 8,85, что характеризует ее как средне щелочную, почва прибрежья озера Ушколь – сильнощелочная (pH 9), почвы прибрежной зоны озер Алаколь (pH 9,83), Жаланашколь (pH 9,41) и Балхаш (pH 9,23) относятся к очень сильнощелочным.

Повышенная щелочность почвенного раствора нарушает физиологическую уравновешенность ионов, что в свою очередь приводит к ухудшению питания растений и нарушению углеводного, белкового и фосфорного обмена. Повышенная концентрация водородных ионов приводит к увеличению содержания подвижных форм Al, Mn, а иногда и Fe, которые оказывают токсическое действие на растение.

Согласно имеющимся источникам, содержание в почвенных горизонтах более 0,25 % водородных ионов, свидетельствует об угнетении растительного покрова [190]. Данные водной вытяжки демонстрируют разную степень засоления почв прибрежной зоны изучаемых соленых и содовых озер. Одно и то же количество солей в зависимости от их механического состава может также свидетельствовать о разной степени засоления почв, что обусловлено неравноценной токсичностью различных легкорастворимых солей для растений.

К высокой степени засоления относится почва прибрежной зоны озера Алаколь, количество солей варьируется в пределах 3,215-0,876%. Данный тип почв характеризуется сильным угнетением растительности, и чаще всего на такой почве произрастают единичные представители галофитов (*Salsola soda*, *Salicornia europae*, *Suaeda physophora*). Соли оказывают отравляющее

действие на растения, нарушают обмен веществ, затрудняют поглощение растениями питательных элементов из почвы, вызывают снижение урожая и ухудшение качества сельскохозяйственных продуктов.

К среднесолённой степени относится почва прибрежной линии озера Балхаш, ей присуща средняя степень угнетения процессов жизнедеятельности растений. Однако необходимо учитывать механический состав почвы – пески, которые плохо абсорбируют соли и характеризуются специфичным типом растительности (к примеру: *Camphorosma lessingi*, *Juncus gerardii*, *Atriplex prostrata* и другие).

К незасолённым относятся почвы прибрежной линии озер Сасыкколь, Жаланашколь и Ушколь, в которых сумма солей не превышает 0,25 % и является благоприятной для роста растений.

Таким образом, недостаток питательных элементов может негативно сказываться на росте и развитии растений: при недостатке фосфора рост растений замедляется, что, естественно, не может не сказаться на урожае; недостаток азота нарушает процесс фотосинтеза, из-за разрушения хлорофилла, возможно высыхание и отмирание частей растений; достаточное содержание калия в почве повышает устойчивость растений к воздействию низких и высоких температур, сопротивляемость растений заболеваниям, а также сокращает сроки созревания растений.

3.3 Анализ видового разнообразия высших водных и прибрежно-водных растений содовых и соленых озер Алматинской области (Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь, Балхаш, Ушколь)

Конспект флоры истинно водных и прибрежно – водных растений прилегающих территорий озер Алаколь-Сасыккольской системы (Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь) и озер Балхаш, Ушколь составлен на основании собственных сборов, проведенных в период 2021–2024 гг., подтвержденных литературными данными, гербарного материала, хранящегося в Гербарном фонде Казахского Национального Университета имени аль-Фараби, а также в Институте Ботаники и фитоинтродукции.

Флора истинно водных и прибрежно – водных растений прилегающих территорий озер Алаколь, Сасыкколь и Жаланашколь включает 415 видов из 186 родов и 73 семейств.

В составе выявленной флоры исследуемых соленых и содовых озер зарегистрировано 323 вида прибрежно-водных растений из 144 родов и 43 семейств (Приложение А). Наибольшее количество видов приходится на долю цветковых растений, и лишь незначительная часть приходится на долю голосеменных.

В таблице 18 представлены сведения о видовом составе прибрежно - водных растений прилегающих территорий исследуемых озер. Из таблицы 18 видно, что 99,07 % выявленных видов приходится на долю отдела

Magnoliophyta, который содержит в своем составе 332 вида и лишь 1 вид относится к отделу *Pinophyta* (0,3 %).

Таблица 18 – Семейственный спектр прибрежно – водных растений озер Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь

Семейства	Количество	
	родов	ВИДОВ
1	2	3
1. Ephedraceae Dumort.	1	1
2. Ranunculaceae Juss.	6	9
3. Papaveraceae Juss.	1	1
4. Fumariaceae DC.	1	2
5. Caryophyllaceae Juss.	1	3
6. Chenopodiaceae Vent. (Amaranthaceae Juss.)	22	61
7. Polygonaceae Juss.	5	11
8. Limoniaceae Ser.	1	6
9. Frankeniaceae S.F Gray	1	1
10. Tamaricaceae Link	1	7
11. Salicaceae Mirb.	2	6
12. Brassicaceae Burnett	8	19
13. Malvaceae Juss.	1	1
14. Cannabaceae Endl.	2	2
15. Urticaceae Juss.	1	1
16. Euphorbiaceae Juss.	1	7
17. Crassulaceae DC.	1	2
18. Rosaceae Juss.	5	7
19. Lythraceae J.St.-Hil.	1	3
20. Onagraceae Juss.	1	3
21. Fabaceae Lindt.	11	21
22. Zygophyllaceae R.Br.	1	10
23. Nitrariaceae Bercht.et J .Presl	1	2
24. Elaeagnaceae Juss.	1	1
25. Apiaceae Lindl.	1	3
26. Cynomoriaceae Lindl	1	1
27. Rubiaceae Juss.	1	3
28. Apocynaceae Juss.	1	1
29. Asclepiadaceae R.Br.	1	1
30. Solanaceae Juss.	3	3
31. Convolvulaceae Juss.	1	1
32. Boraginaceae Juss.	1	1
33. Scrophulariaceae Juss.	1	4

Продолжение таблицы 18

1	2	3
34. Orobanchaceae Vent	2	2
35. Plantaginaceae Juss	1	5
36. Lamiaceae Lindl.	3	5
37. Asteraceae Dumort.	27	55
38. Iridaceae Juss.	1	1
39. Liliaceae Juss.	1	1
40. Asparagaceae Juss.	1	2
41. Orchidaceae Juss.	1	1
42. Poaceae Barnhart	18	42
43. Lemnaceae S.F. Gray	1	1
Всего:	144	323

Соотношение однодольных и двудольных групп характеризуется, как 1:4, т.е. класс двудольных доминирует над классом однодольных в 4 раза. Общее количество однодольных составляет 48 видов или 14,86 % от общего числа видов; двудольных растений насчитывается 275 видов или 85,14 % (таблица 19).

Таблица 19 – Распределение растений по систематическим группам

Систематическая группа	Число			% от общего числа видов
	семейств	родов	видов	
Голосеменные	1	1	1	0,3
Покрытосеменные:				
1) двудольные	36	120	274	84,14
2) однодольные	6	23	48	14,86
Всего:	43	144	323	100%

В классических геоботанических исследованиях особое внимание уделяется анализу ведущих семейств растений, которые формируют общий флористический фон. На основании данного анализа были выделены 10 крупнейших семейств флоры, характеризующихся наибольшим количеством видов (рисунок 27).

Первое место по количеству видов и родов занимает семейство Chenopodiaceae s.l. (Amaranthaceae) (61 вид, или 18,9 %, 22 рода). Доминирование представителей данного семейства свидетельствует о засоленности исследуемой территории. Далее второе место занимает семейство Asteraceae, которое содержит 27 родов, 55 видов (18 %). Третье место занимает семейство Poaceae (42 вида или 13,0 %, 18 родов). Далее следует семейство Brassicaceae – 22 вида (6,81 %), количество родов 8.

Семейство Fabaceae включает в свой состав 11 родов, 21 вид. Семейство Polygonaceae – 11 видов, 5 родов, Zygophyllaceae содержит 10 видов, 1 род, Ranunculaceae – 9 видов, 6 родов, далее следует семейство Tamaricaceae – 7 родов, 1 вид. На десятом месте располагается семейство Euphorbiaceae 7 родов, 1 вид.

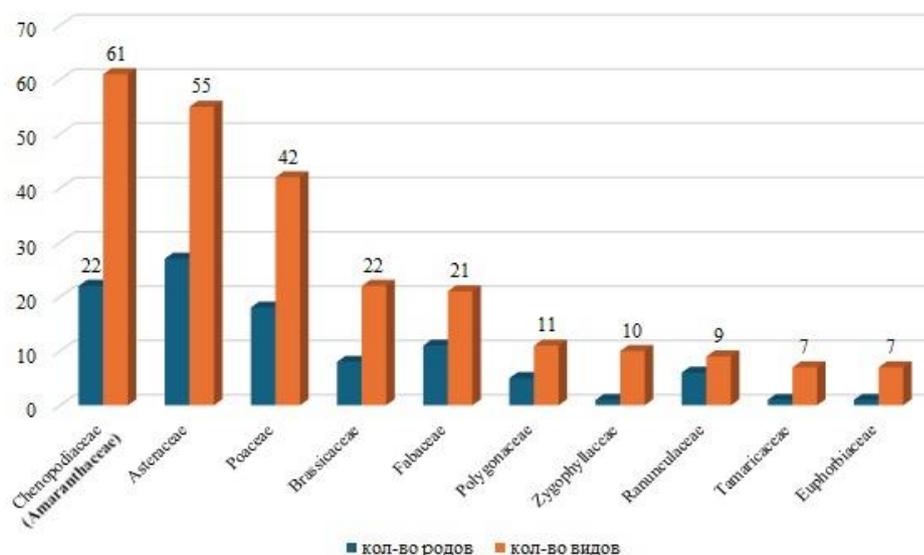


Рисунок 27 – Число видов и родов в 10 ведущих семействах

Перечисленные выше 10 семейств включают в себя 75,8 % всего видового состава прибрежно – водных растений изучаемой территории. Остальные семейства характеризуются незначительным видовым и родовым разнообразием.

Флора истинно водных и прибрежно – водных растений прилегающих территорий озер Балхаш и Ушкуль включает 489 видов из 247 родов и 78 семейств.

В составе выявленной флоры исследуемых соленых и содовых озер зарегистрировано 399 вида прибрежно-водных растений из 207 родов и 50 семейств (Приложение А).

Распределение прибрежно - водных растений озер Балхаш и Ушкуль по систематическим группам представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Семейственный спектр прибрежно-водных растений прилегающих территорий озера Балхаш и Ушкуль

Семейства	Количество	
	родов	видов
1	2	3
1. Ephedraceae Dumort.	1	1
2. Ranunculaceae Juss.	6	14

Продолжение таблицы 20

1	2	3
3. Berberidaceae Juss.	1	1
4. Papaveraceae Juss.	1	3
5. Нупеосоаеае Nakai	1	1
6. Fumariaceae DC.	1	1
7. Caryophyllaceae Juss.	8	11
8. Chenopodiaceae Vent. (Amaranthaceae Juss.)	25	63
9. Polygonaceae Juss.	6	22
10. Limoniaceae Lincz.	2	5
11. Hypericaceae Juss.	1	1
12. Primulaceae Vent.	2	2
13. Tamaricaceae Link	1	4
14. Salicaceae Mirb.	2	5
15. Cucurbitaceae Juss.	1	1
16. Brassicaceae Burnett.	17	30
17. Malvaceae Juss.	1	1
18. Ulmaceae Mirb.	1	1
19. Cannabaceae Endl.	1	1
20. Urticaceae Juss.	1	1
21. Euphorbiaceae Juss.	2	7
22. Rosaceae Juss.	3	5
23. Onagraceae Juss.	1	1
24. Fabaceae Lindl.	16	24
25. Rutaceae Juss	1	1
26. Zygophyllaceae R. Br.	2	6
27. Nitrariaceae Lindl.	1	2
28. Geraniaceae Juss.	2	3
29. Elaeagnaceae Juss.	1	1
30. Apiaceae Lindl.	3	3
31. Rubiaceae Juss.	2	3
32. Gentianaceae Juss.	1	1
33. Apocynaceae Juss.	1	1
34. Asclepiadaceae	1	
35. Solanaceae Juss.	2	4
36. Convolvulaceae Juss.	2	2
37. Cuscutaceae Dumort.	1	1
38. Boraginaceae Juss.	6	8
39. Scrophulariaceae Juss.	4	4
40. Orobanchaceae Vent.	1	1
41. Plantaginaceae Juss.	1	6
42. Lamiaceae Lindl. (Labiatae Juss.)	4	5

Продолжение таблицы 20

1	2	3
43. Asteraceae Dumort.	35	69
44. Iridaceae Juss.	1	4
45. Liliaceae Juss.	2	4
46. Asphodelaceae Juss.	1	2
47. Alliaceae J. Adardh.	1	9
48. Ixiolirianaceae Nakai	1	1
49. Asparagaceae Juss.	1	3
50. Poaceae Barnhart.	27	50
Всего	207	399

Как видно из таблицы 20, все выявленные прибрежно-водные растения озер Балхаш и Ушколь относятся к покрытосеменным – 398 видов (99,8%), за исключением 1 вида, относящегося к голосеменным (0,3%).

Пропорциональное отношение класса однодольных к двудольным составляет около 1:5, что свидетельствует о том, что класс *Magnolipsida* доминирует по видовому составу над классом *Liliopsida* в 5 раза. Количество двудольных растений - 325 видов или 81,45 % от общего количества видов, однодольные растения представлены 73 видами или 18,29 % (таблица 21).

Таблица 21 – Распределение прибрежно – водных растений озер Балхаш и Ушколь по систематическим группам

Систематическая группа	Число			% от общего числа видов
	семейств	родов	видов	
Голосеменные	1	1	1	0,26
Покрытосеменные:				
1) двудольные	42	172	325	81,45
2) однодольные	7	34	73	18,29
Всего:	50	207	399	100%

На прилегающей территории озер Балхаш и Ушколь выявлено 50 семейств. При анализе флор в современной флористике предпочтение отдается 10 ведущим семействам, отражающим основную часть флористического спектра (рисунок 28).

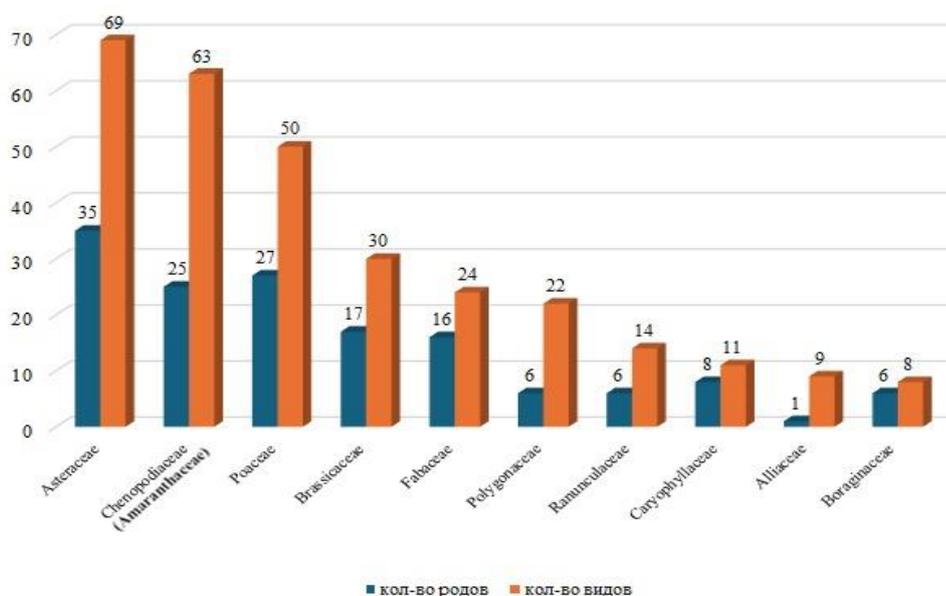


Рисунок 28 - Число видов и родов в 10 ведущих семействах флоры озера Балхаш и озера Ушколь

Семейство Asteraceae (69 видов, или 17,3 %, 35 родов) по количеству родов и видов располагается на первом месте, второе место занимает семейство Chenopodiaceae s.l. (Amaranthaceae) (63 вида или 15,3 %, 25 родов). На третьем месте находится семейство Poaceae, которое содержит 50 видов, 27 родов (12,5 %). Далее следует семейство Brassicaceae, которое включает в свой состав 17 родов, 30 видов (7,5 %), Fabaceae – 24 вида (6,1 %), количество родов 16, семейство Polygonaceae содержит 22 вида, 6 родов, Ranunculaceae – 14 видов, 6 родов, далее следует семейство Caryophyllaceae – 11 видов, 8 родов, Alliaceae – 9 видов, 1 род. На десятом месте располагается семейство Boraginaceae – 8 видов, 6 родов.

Таким образом, первая десятка доминантных семейств (по наибольшему числу видов) насчитывает 298 видов, что составляет 74,7 % от общего количества. Остальная часть видового разнообразия приходится на долю оставшихся семейств.

3.3.1 Таксономический состав выявленной водной флоры

Анализ таксономического состава выявленной водной флоры имеет ключевое значение для понимания состояния и динамики водных экосистем. Высшие водные растения играют важную роль в поддержании экосистемных процессов, включая обеспечение кислородом, стабилизацию берегов и фильтрацию воды. Однако, несмотря на их важность, количество доступных данных о макрофитах ограничено, что создает значительные пробелы в научных знаниях. Именно поэтому, в данной работе был сделан акцент на более детальное изучение высших водных растений.

Изначально, чтобы оценить долю высших водных растений из общего количества выявленных видов был применен индекс гидрофитности [23], для каждого озера отдельно (таблица 22).

Таблица 22 - Индекс гидрофитности в исследуемых озерах

Название озер	Индекс гидрофитности (<i>Ihd</i>)
Алаколь	0,7
Сасыкколь	0,54
Жаланашколь	0,36
Балхаш	0,68
Ушколь	0,34

После проведенных расчетов установлены максимальные индексы гидрофитности для озер Алаколь $Ihd = 0,7$ и Балхаш $Ihd = 0,68$. Для озера Сасыкколь $Ihd = 0,54$ Жаланашколь $Ihd = 0,36$ и озера Ушколь $Ihd = 0,34$. Значения индекса говорят о сформированной водной флоре изученных озёр и высокой доле настоящих водных растений.

В таблице 23 приведен список водных растений, встречающихся в исследуемых озерах. В приложение Б представлены авторские фотографии водных растений, сделанные во время экспедиционных выездов в период 2021 – 2024 гг.

Таблица 23 – Таксономический состав водной растительности соленых и содовых озер Алматинской области

Наименование семейств/родов/видов	Алаколь	Сасыкколь	Жаланашколь	Балхаш	Ушколь
1	2	3	4	5	6
Сем. Equisetaceae Rich.ex DC.					
1. <i>Equisetum palustre</i> L.- Хвощ топяной	+				
2. <i>Equisetum arvense</i> L. - Хвощ полевой	+				
Сем. Thelypteridaceae Pichi Sermolli					
3. <i>Thelypteris palustris</i> Schott – Телиптерис болотный		+		+	
Сем. Salviniaceae T. Lest.					
4. <i>Salvinia natans</i> (L.) All. - Сальвиния плавающая	+	+		+	+
Сем. Nymphaeaceae Salisb.					

Продолжение таблицы 23

1	2	3	4	5	6
5. <i>Nuphar lutea</i> (L.) Smith - Кубышка желтая		+		+	
6. <i>Nymphaea candida</i> C.Presl- Кувшинка чисто-белая		+		+	
Сем. Ceratophyllaceae S.F. Gray					
7. <i>Ceratophyllum demersum</i> L. - Роголистник погруженный	+	+		+	+
8. <i>Ceratophyllum submersum</i> L. - Роголистник полупогруженный	+	+		+	+
Сем. Ranunculaceae Juss.					
9. <i>Ranunculus trichophyllus</i> Chaix (= <i>Batrachium trichophyllum</i> (Chaix) Bosch) - Водяной лютик волосолистный	+	+	+	+	
10. <i>Ranunculus natans</i> C.A. Mey – Лютик плавающий	+	+	+	+	+
Сем. Caryophyllaceae Juss.					
11. <i>Spergularia maritima</i> (All.) Chiov. - Торичник морской	+			+	
12. <i>Spergularia salina</i> J.et C.Presl - Торичник солончаковый	+			+	
Сем. Polygonaceae Juss.					
13. <i>Persicaria amphibia</i> (L.) Delarbre - Персикария земноводная	+	+	+	+	
14. <i>Persicaria lapathifolia</i> (L.) Delarbre - Горец развесистый		+	+		
15. <i>Polygonum corrigioloides</i> Jaub. & Spach – Горец спорышевидный	+	+	+	+	+
Сем. Brassicaceae Burnett					
16. <i>Rorippa palustris</i> - Жеруха болотная (L.) - Besser вставила	+			+	
17. <i>Rorippa brachycarpa</i> (C.A.Mey.) Hayek - Жеруха короткоплодная	+			+	
Сем. Haloragaceae R.Br.					
18. <i>Myriophyllum spicatum</i> L. - Уруть колосковая	+	+		+	+
19. <i>Myriophyllum verticillatum</i> L. - Уруть мутовчатая	+	+		+	+

1	2	3	4	5	6
Сем. Apiaceae Lindl.					
20. <i>Sium latifolium</i> L. - Поручейник широколистный	+		+	+	
21. <i>Sium sisarum</i> L. (= <i>Sium sisaroides</i> DC.) - Поручейник сизаровидный	+			+	
Сем. Scrophulariaceae Juss.					
22. <i>Veronica anagallis-aquatica</i> L. (= <i>Veronica anagallidiformis</i> Boreau.) - Вероника анагалисовидная	+	+		+	+
23. <i>Veronica anagalloides</i> Guss. - Вероника ложноколючая	+			+	
24. <i>Veronica beccabunga</i> L. - Вероника остропильчатая	+	+	+	+	+
25. <i>Veronica oxycarpa</i> Boiss. - Вероника остроплодная	+			+	+
Сем. Plantaginaceae Juss					
26. <i>Plantago maritima</i> L. - Подорожник приморский	+	+	+	+	+
Сем. Lamiaceae Lindl.					
27. <i>Lycopus exaltatus</i> L. - Зюзник высокий	+			+	
Сем. Butomaceae Rich.					
28. <i>Butomus umbellatus</i> L. - Сусак зонтичный	+	+		+	
Сем. Hydrocharitaceae Juss.					
29. <i>Hydrocharis morsus-ranae</i> L. - Водокрас лягушечный		+		+	
Сем. Alismataceae Vent.					
30. <i>Alisma lanceolatum</i> With. - Частуха ланцетная	+			+	+
31. <i>Alisma plantago-aquatica</i> L. - Частуха подорожниковая	+			+	+
32. <i>Sagittaria filiformis</i> J.G.Sm. (= <i>Sagittaria natans</i> L.) - Стрелолист плавающий	+			+	
33. <i>Sagittaria sagittifolia</i> L. - Стрелолист обыкновенный	+	+		+	
34. <i>Sagittaria trifolia</i> L. - Стрелолист трилистный		+			
Сем. Juncaginaceae Rich.					
35. <i>Triglochin maritimum</i> L. - Триостренник морской	+			+	

Продолжение таблицы 23

1	2	3	4	5	6
Сем. Potamogetonaceae Dumort.					
36. <i>Potamogeton alpinus</i> Balb. – Рдест альпийский				+	+
37. <i>Potamogeton crispus</i> L. - Рдест курчавый		+		+	
38. <i>Potamogeton filiformis</i> Raf. - Рдест нитевидный		+		+	
39. <i>Potamogeton gramineus</i> L. (= <i>Potamogeton heterophyllus</i> Scheb.)	+	+		+	
40. <i>Potamogeton lucens</i> L. - Рдест блестящий	+	+	+	+	
41. <i>Potamogeton natans</i> L. - Рдест плавающий	+	+	+	+	
42. <i>Potamogeton pectinatus</i> L. - Рдест гребенчатый	+	+		+	+
43. <i>Potamogeton perfoliatus</i> L. - Рдест стеблеобъемлющий	+	+		+	+
44. <i>Potamogeton pusillus</i> L. - Рдест маленький	+			+	
45. <i>Stuckenia vaginata</i> (Magnin) Holub (= <i>Potamogeton vaginatus</i>) Turcz. - Рдест влагалищный	+			+	
Сем. Ruppiaceae Hutch.					
46. <i>Ruppia maritima</i> L - Руппия морская	+			+	
Сем. Zannichelliaceae Dumort					
47. <i>Zannichellia palustris</i> L. - (= <i>Zannichellia pedunculata</i> Rchb.) - Занихеллия болотная	+				
Сем. Najadaceae Juss.					
48. <i>Najas marina</i> L. - Наяда морская	+			+	
49. <i>Najas minor</i> All. Fl. - Наяда малая	+			+	
Сем. Juncaceae Juss.					
50. <i>Juncus atratus</i> Krock. - Ситник темноцветный	+			+	
51. <i>Juncus hybridus</i> Brot. (= <i>Juncus ambiguus</i> Guss.) - Ситник неопределенный	+	+		+	
52. <i>Juncus gerardii</i> Loisel. - Ситник Жерара	+	+	+	+	+

Продолжение таблицы 23

1	2	3	4	5	6
53. <i>Juncus jaxarticus</i> V. Krecz. et Gontsch. - Ситник сырдарьинский	+		+	+	+
54. <i>Juncus maritimus</i> Lam. - Ситник морской	+			+	
55. <i>Juncus minutulus</i> (Albert & Jahand.) Prain - Ситник мелкий		+	+	+	
56. <i>Juncus ranarius</i> Songeon & E.P.Perrier - Ситник лягушачий				+	+
57. <i>Juncus sphaerocarpus</i> Nees - Ситник круглоплодный	+	+	+		+
Сем. Cyperaceae Juss.					
58. <i>Bolboschoenus maritimus</i> (L.) Palla - Клубнекамыш морской	+	+	+	+	+
59. <i>Bolboschoenus affinis</i> (Roch.) Drob. - Клубнекамыш схожий	+			+	
60. <i>Carex aquatilis</i> Wahlenb. - Осока водяная	+		+	+	+
61. <i>Carex appropinquata</i> Schumach. (= <i>Carex paradoxa</i>) - Осока сближенная	+		+		
62. <i>Carex chlorostachys</i> Steven - Осока зеленоколосая	+		+		
63. <i>Carex diluta</i> Vieb. (= <i>Carex Karelinii</i>) - Осока светлая	+	+	+	+	+
64. <i>Carex disticha</i> Huds.- Осока двурядная			+	+	
65. <i>Carex inflata</i> Huds. - Осока вздутая	+		+		
66. <i>Carex melanostachya</i> Vieb. ex Willd. - Осока черноколосая	+	+	+	+	
67. <i>Carex riparia</i> Curtis - Осока береговая	+		+	+	
68. <i>Carex stenophylla</i> (V.I.Krecz.) T.V.Egorova. - Осока двуформенная	+	+	+	+	+
69. <i>Carex secalina</i> Willd. Ex Whlb. - Осока ржаная	+		+	+	+
70. <i>Carex songorica</i> Kar. et Kir. - Осока джунгарская	+		+	+	

Продолжение таблицы 23

1	2	3	4	5	6
71. <i>Cyperus flavidus</i> Retz. (= <i>Pycreus nilagiricus</i> (Hochst. Ex Steud.) E.G. Camus) - Ситовник нильгирийский	+	+	+		
72. <i>Cyperus fuscus</i> L. - Сыть чернобурая	+		+	+	
73. <i>Cyperus glaber</i> L. - Сыть гладкая	+		+	+	+
74. <i>Cyperus glomeratus</i> L. - Сыть скученная	+	+		+	+
75. <i>Cyperus sanguinolentus</i> Vahl (= <i>Pycreus sanguinolentus</i> (Vahl) Nees) - Ситовник кровавопятнистый				+	+
76. <i>Eleocharis argyrolepis</i> Kier. - Болотница серебристочешуйная	+	+	+		
77. <i>Eleocharis fennica</i> Palla ex Kneuck. - болотница финская	+	+	+	+	+
78. <i>Eleocharis oxylepis</i> (Meinsh.) V. Fedtsch. - Болотница острошешуйчатая	+	+	+	+	+
79. <i>Eleocharis palustris</i> (L.) Roem. & Schult. (= <i>Eleocharis ecarinata</i> Zinserl.) - Болотница бескильная	+			+	
80. <i>Eleocharis uniglumis</i> (Link) Schult. (= <i>Eleocharis euuniglumis</i> Zinserl.) - болотница одношешуйчатая				+	+
81. <i>Isolepis setacea</i> (L.) R.Br. (= <i>Scirpus setaceus</i> L.) - Камыш щетиновидный	+		+	+	+
82. <i>Schoenoplectus lacustris</i> (L.) Palla (= <i>Scirpus lacustris</i> L.) - Камыш озерный	+		+	+	+
83. <i>Schoenoplectus litoralis</i> (Schrad.) Palla (= <i>Scirpus litoralis</i> Schrad.) - Камыш прибрежный	+		+	+	+
84. <i>Scirpus kasachstanicus</i> Dobroch. - Камыш казахстанский				+	

Продолжение таблицы 23

1	2	3	4	5	6
85. <i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> (C.C.Gmel.) Palla (= <i>Scirpus tabernaemontani</i> C.C.Gmel.) - Камыш Табернемонтана	+		+	+	
86. <i>Schoenoplectiella supina</i> (L.) Lye (= <i>Scirpus supinus</i>) добавила	+			+	
Сем. Poaceae Barnhart	+				
87. <i>Calamagrostis macrolepis</i> Litv. (= <i>Calamagrostis gigantea</i> Roshev.)	+			+	
88. <i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin. ex. Steud.- Тростник обыкновенный	+	+	+	+	+
Сем. Lemnaceae S.F. Gray					
89. <i>Lemna gibba</i> L. - Ряска горбатая	+	+		+	
90. <i>Lemna minor</i> L. - Ряска маленькая	+	+		+	
91. <i>Lemna trisulca</i> L. - Ряска трехдольная	+	+		+	
Сем. Lentibulariaceae Rich.					
92. <i>Utricularia minor</i> L. - Пузырчатка малая				+	+
93. <i>Utricularia vulgaris</i> L. - Пузырчатка обыкновенная	+	+			
Сем. Sparganiaceae Rudolphi					
94. <i>Sparganium emersum</i> Rehmman (= <i>Sparganium simplex</i> Huds.) - Ежеголовка простая	+		+	+	+
95. <i>Sparganium erectum</i> subsp. <i>microcarpum</i> (Neuman) Domin - Ежеголовка мелкоплодная	+			+	
96. <i>Sparganium natans</i> L. (= <i>Sparganium minimum</i> Wallr.) - Ежеголовка маленькая	+	+	+	+	+
97. <i>Sparganium stoloniferum</i> (Buch.-Ham. ex Graebn.) Buch.-Ham. ex Juz. - Ежеголовка побегоносная – проверить				+	+
Сем. Araceae Juss.					
98. <i>Acorus calamus</i> L. - Аир болотный	+			+	+
Сем. Typhaceae Juss.					

Продолжение таблицы 23

1	2	3	4	5	6
99. <i>Typha angustifolia</i> L. - Рогоз узколистый	+	+	+	+	+
100. <i>Typha latifolia</i> L. - Рогоз широколистный	+		+	+	+
101. <i>Typha laxmannii</i> Lepesch. - Рогоз Лаксмана	+			+	
102. <i>Typha minima</i> Funck - Рогоз малый	+	+		+	

На территории исследуемых соленых и содовых озер Алматинской области (озер Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь, Балхаш и Ушколь) было выявлено 102 высших водных растения, относящихся к 30 семействам и 42 родам (таблица 24).

Таблица 24 – Распределение высших водных растений исследуемых озер по систематическим группам

Систематическая группа	Число			% от общего числа
	семейств	родов	видов	
Equisetophyta	1	1	2	1,96
Polypodiophyta	2	2	2	1,96
Magnoliophyta:	26			
1) Magnoliopsida	11	13	23	22,55
2) Liliopsida	16	26	75	73,53
Всего:	30	42	107	100

Как видно из таблицы 24, по видовому составу среди высших водных растений исследуемых озер доминирует отдел Magnoliophyta, на долю которого приходится 98 видов (96,07 %) и лишь 4 вида или 3,9 % относятся к Equisetophyta и Polypodiophyta.

Соотношение однодольных и двудольных групп высших водных растений соленых и содовых озер составляет примерно 1:3, т.е. Liliopsida преобладает над Magnolipsida по видовому составу в 3 раза. Класс однодольные составляет 75 видов или 73,5 % от общего числа видов; количество двудольных растений 23 вида или 22,5 %.

На рисунке 29 представлена карта распространения высших водных растений на 32 исследуемых точках обследования из 5 озер.

Далее приведены результаты анализа 10 ведущих семейств, которые позволяют оценить видовой состав региона, составляют основную часть растительности и дают представление о ключевых элементах экосистемы.

На долю 10 доминантных семейств изучаемой территории приходится 74 вида, что составляет 72,55 % от общего количества выявленных высших водных видов (рисунок 30). Лидирующее положение по количеству родов и видов занимает семейство Cyperaceae – 29 видов из 8 родов, что составляет 28,43% от общего количества (*Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla, *Carex aquatilis* Wahlenb., *Cyperus fuscus* L. и др.). Далее следуют семейства Potamogetonaceae – 10 видов (9,8%) из 2 родов (*Potamogeton lucens* L., *P. natans* L., *P. pusillus* L.), Juncaceae – 8 (7,84%) видов из 1 рода (*Juncus gerardii* Loisel., *J. sphaerocarpus* Nees, *J. soranthus* Schrenk). Семейство Alismataceae содержит 5 видов и 4 рода, что составляет 4,9 % от общего числа видов (*Alisma lanceolatum* With., *Sagittaria sagittifolia* L., *S. trifolia* L.). Одинаковое количество родов и видов у семейств Scrophulariaceae (*Veronica anagallis-aquatica* L., *V. anagalloides* Guss., *V. beccabunga* L.), Sparganiaceae (*Sparganium emersum* Rehm., *S. natans* L., *Sparganium stoloniferum* (Buch. - Ham. ex Graebn.) Buch.-Ham. ex Juz.), Typhaceae (*Typha angustifolia* L., *T. latifolia* L., *T. laxmannii* Lerech.) – по 4 вида из 1 рода, что составляет по 3,92% каждое. Далее следуют семейства Polygonaceae – 3 вида (*Persicaria amphibia* (L.) Delarbr., *P. lapathifolia* (L.) Delarbr., *Polygonum corrigioloides* Jaub. & Spach) и 2 рода (2,94 %) и Lemnaceae – 3 вида (*Lemna gibba* L., *L. minor* L., *L. trisulca* L.) и 1 род (2,94%). Завершает ведущую десятку семейство Nymphaeaceae (*Nuphar lutea* (L.) Smith, *Nymphaea candida* J.Presl) – 2 вида из 2 родов (1,96%).

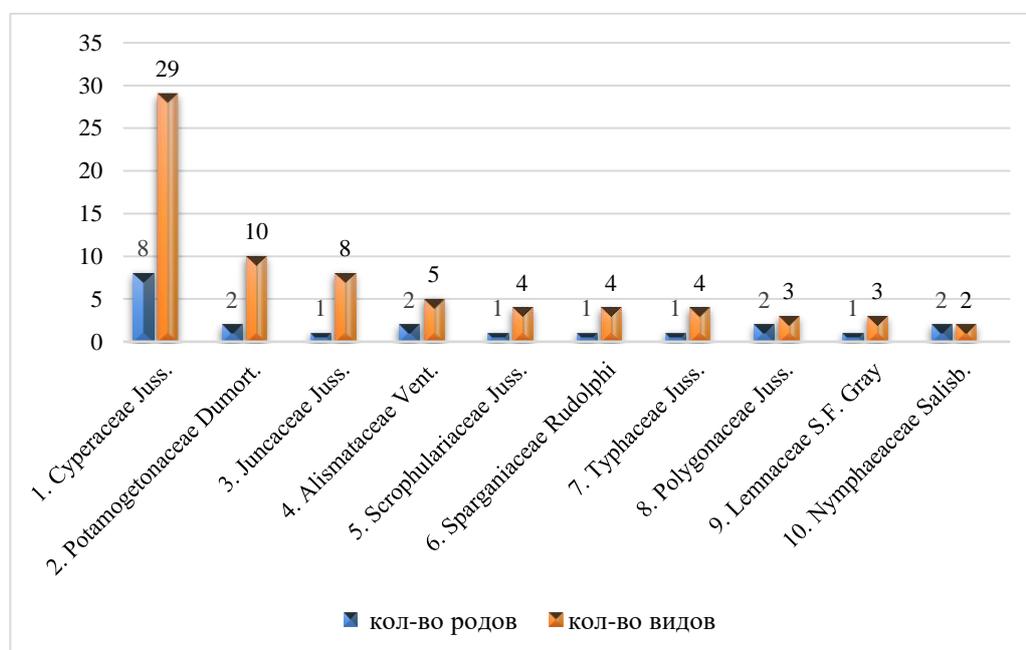


Рисунок 30 - Число видов и родов в 10 ведущих семействах высших водных растений

Однако, необходимо отметить, что таксоны, включающие сравнительно небольшое число видов, могут играть не менее важную роль в формировании растительного покрова. К примеру, семейства *Butomaceae* (*Butomus umbellatus* L.), *Hydrocharitaceae* (*Hydrocharis morsus-ranae* L.), *Juncaginaceae* (*Triglochin maritimum* L.), *Ruppiaceae* (*Ruppia maritima* L.), *Araceae* (*Acorus calamus* L.) являются одновидовыми, однако одними из наиболее характерных водных представителей.

На рисунке 31 приводятся сведения о количестве доминантных родов высших водных растений исследуемых озер. К числу 3 ведущих родов относятся *Carex* – 10 видов (9,8 %), *Potamogeton* – 9 видов (8,8 %) и *Juncus* – 7 видов (6,9 %), которые содержат 25,49 % от общего числа видов. Далее с одинаковым количеством следуют рода *Eleocharis* и *Cyperus* – по 5 видов каждый (4,9 %). По 4 вида (3,92 %) содержат рода: *Typha*, *Sparganium*, *Schoenoplectus*. На последнем месте расположился род *Sagittaria*, с количеством видов - 3 или 2,94 % от общего количества видов.

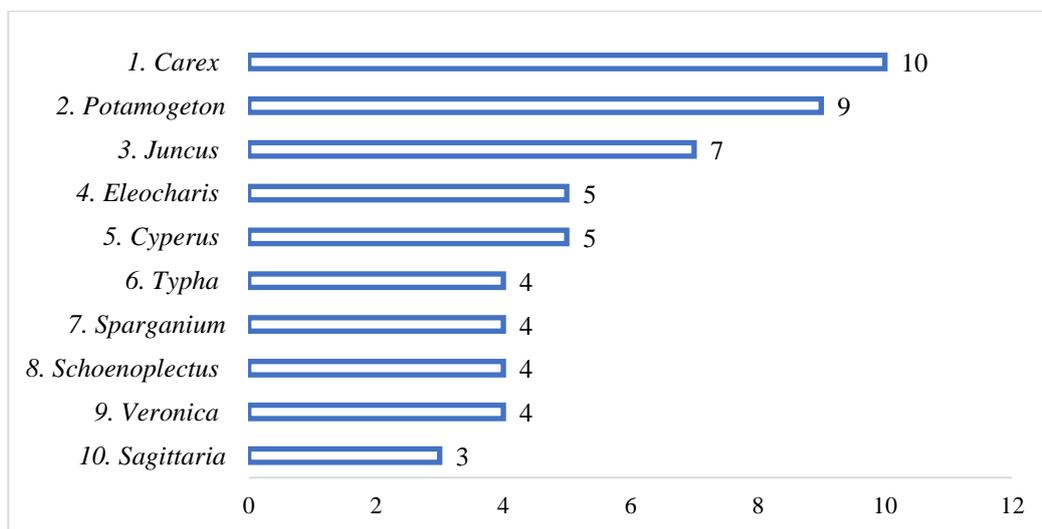


Рисунок 31 – Количество видов для наиболее крупных родов высших водных растений

Таким образом, на 10 родов (53,92 % от общего числа видов), приходится 55 видов высших водных растений соленых и содовых озер Алматинской области (рисунок 31), которые составляют общий флористический фон.

Помимо изучения видового состава, также немаловажным аспектом является изучение растительных сообществ, которые представляют собой сложные системы, в которых виды взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой. Понимание этих взаимодействий помогает исследовать механизмы устойчивости экосистем и их реакцию на изменения условий (абиотических, биотических и антропогенных). На рисунках 32 – 36

представлены доминантные растительные сообщества исследуемой территории.



Рисунок 32 – Тростниково – солянковое сообщество, озеро Алаколь



Рисунок 33 – Тростниково-разнотравное сообщество, озеро Сасыкколь



Рисунок 34 – Тростниковое сообщество, озеро Жаланашколь



Рисунок 35 - Клоповниково-разнотравное сообщество, озеро Ушколь



Рисунок 36 – Солянково-разнотравное сообщество, озеро Балхаш

На территории исследования прибрежной зоны озера Алаколь доминантными сообществами являются тростниково – разнотравное с преобладанием *Phragmites australis* и солянково – разнотравное с преобладанием видов рода *Salsola*. Проективное покрытие составило 80 – 85%. Для прибрежной зоны озера Сасыкколь доминантным сообществом является – тростниково-разнотравное, с доминированием *Phragmites australis*, проективное покрытие – 75–80%. На территории прибрежной зоны озера Жаланашколь преобладает тростниковое сообщество, с явным доминантом *Phragmites australis*. Проективное покрытие – 50-60%. Озеро Балхаш характеризуется солянково-разнотравным сообществом, с преобладанием рода *Salsola*, проективное покрытие – 35–40%. Доминантным сообществом озера Ушколь является клоповниково – разнотравное, с преобладанием *Lepidium cartilagineum*. Также стоит отметить, что первый метр береговой зоны озера покрывает *Cladophora sp.* Водорослевые "цветения" часто связаны с нарушением баланса в экосистеме водоема, что может привести к сокращению биоразнообразия, изменению видового состава водных организмов и ухудшению качества воды. Однако, наиболее часто зарастание водоема *Cladophora sp.* может быть ранним признаком гиперэвтрофикации – процесса, при котором накопление питательных веществ приводит к чрезмерному росту водорослей и последующему ухудшению условий для других организмов, таких как макрофиты, рыбы, зоопланктон, водоплавающие птицы. Изучение растительных сообществ позволяет отслеживать изменения в экосистемах, что важно для выявления деградации, изменения биологического разнообразия и других негативных процессов. Это особенно актуально в условиях глобальных экологических изменений.

Таким образом, на территории исследуемых точек соленых и содовых озер было выявлено 102 высших водных растений, относящихся к 30 семействам и 42 родам. Класс Liliopsida преобладает над Magnolipsida в 3 раза. На долю 10 доминантных семейств приходится 74 вида, что составляет 72,55 % от общего количества выявленных высших водных растений. Доминантные семейства: Cyperaceae, Potamogetonaceae, Juncaceae. Наиболее крупные рода: *Carex*, *Potamogeton* и *Juncus*.

Несмотря на общие закономерности в распределении растений по водоёмам, сообщества каждого водоёма имеют свои особенности: они различаются флористическим составом, обилием, занимаемой площадью и распределением по территории.

3.3.2 Сравнительный анализ видового разнообразия высших водных растений исследуемых озер

Для оценки степени сходства и различия видового состава высших водных растений исследуемых 5 озер был проведен сравнительный анализ. Анализ проводился на основании расчета коэффициента Сёрнсена. Полученные результаты занесены в таблицу 25, и в дальнейшем необходимы для построения тепловой карты (рисунок 37).

Сравнение видового разнообразия высших водных растений исследуемых озер (Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь, Балхаш и Ушколь) показало относительно невысокий уровень различия. Так, наиболее сильное отличие наблюдается между видовым разнообразием растений озер Сасыкколь и Балхаш - 0,39, Балхаш и Жаланашколь - 0,46, Ушколь и Сасыкколь – 0,47, Алаколь и Ушколь – 0,48, что обусловлено различием механического состава почвы и ионного состава воды.

Таблица 25 – Матрица мер сходства высших водных растений по коэффициенту Серенсена

	Алаколь	Сасыкколь	Жаланашколь	Балхаш	Ушколь
Алаколь	*	0,54	0,52	0,79	0,48
Сасыкколь	0,54	*	0,49	0,39	0,47
Жаланашколь	0,52	0,49	*	0,46	0,75
Балхаш	0,79	0,39	0,46	*	0,63
Ушколь	0,48	0,47	0,75	0,63	*

Более схожи по видовому составу озера Алаколь и Жаланашколь – 0,52, Алаколь и Сасыкколь – 0,54. Анализ показал наибольшее сходство видового состава озер Алаколь и Балхаш – 0,75, Балхаш и Ушколь – 0,63. Сходство видового разнообразия озер Балхаш и Алаколь объясняется тем, что оба водоема относятся к соленому типу (имеют значительные сходства по химическому составу), а также они относятся к одному флористическому

району – Балхаш – Алакольскому (схожи географические и природно-климатические условия). Озера Ушколь и Жаланашколь относятся к содовому типу и характеризуются специфичными для данной среды видам водных растений (*Aster tripolium*, *A. littoralis*, *Crypsis alopecuroides* и др.).

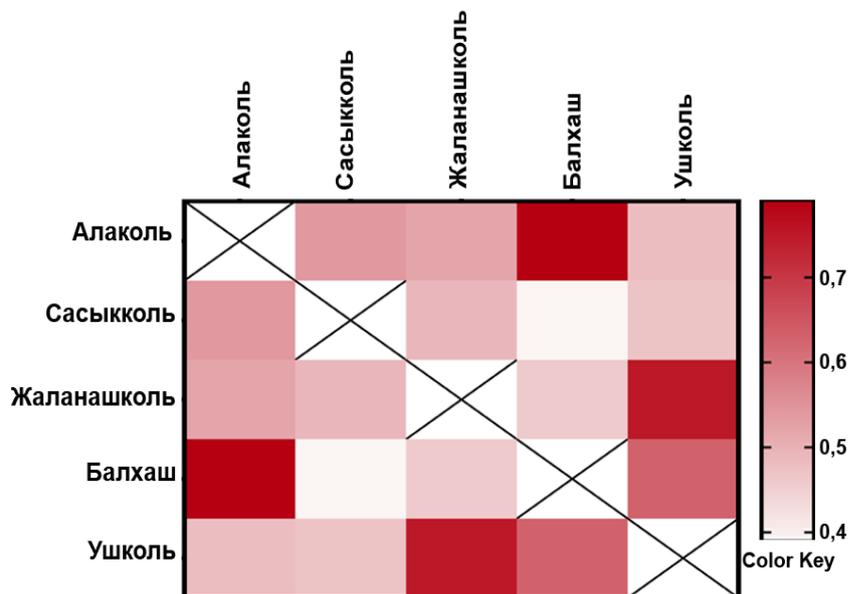


Рисунок 37 – Тепловая карта сходства видового разнообразия высших водных растений исследуемых озер (по индексу Серенсена)

Диаграмма Венна использовалась для визуализации пересечений и различий между видовым составом исследуемых 5 озер (рисунок 38). Данный анализ помогает наглядно представить, какие виды водных растений являются общими, а какие специфичны для того или иного водоема.

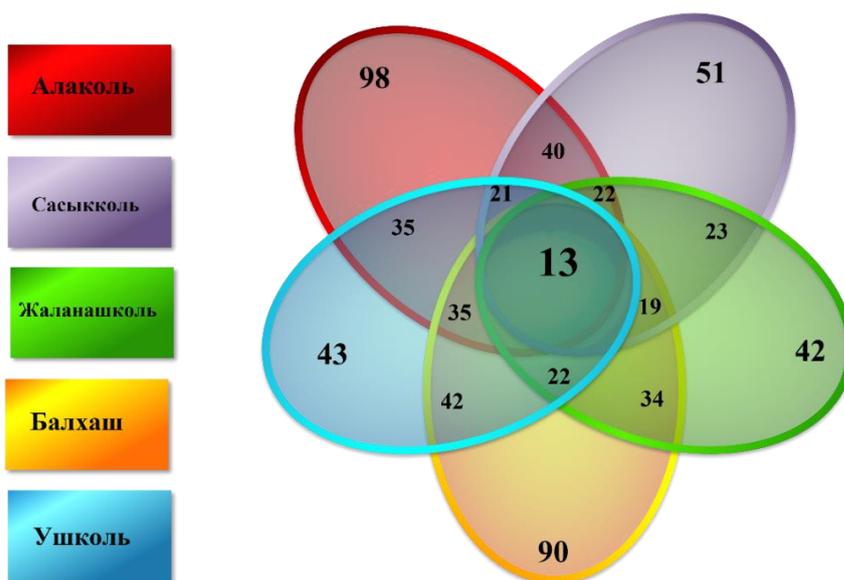


Рисунок 38 - Сравнительный анализ видового состава соленых и содовых озер с использованием диаграммы Венна

На рисунке 38 показаны пересечения видового состава водных растений озер Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь, Балхаш и Ушколь. Диаграмма Венна демонстрирует 13 толерантных видов, встречающихся во всех исследуемых озерах. К ним относятся: *Ranunculus natans* С.А. Mey, *Polygonum corrigioloides* Jaub. & Spach, *Veronica beccabunga* L., *Plantago maritima* L., *Juncus gerardii* Loisel., *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla, *Carex diluta* Bieb., *Carex stenophylla* (V.I. Krecz.) T.V. Egorova., *Eleocharis fennica* Palla ex Kneuck., *Eleocharis oxylepis* (Meinsh.) B. Fedtsch., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex. Stend., *Sparganium natans* L., *Typha angustifolia* L. Наибольшее число общих видов отмечено между озерами Балхаш и Ушколь - 42 вида, Алаколь и Сасыкколь – 40 видов, Алаколь и Балхаш – 35 видов. Далее следуют Балхаш и Жаланашколь с общим количеством видов – 34, Сасыкколь и Жаланашколь – 23 вида.

Диаграмма Венна показывает, что каждое из озер (Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь, Балхаш и Ушколь) обладает как специфичными видами, так и видами, общими для нескольких или всех озер. Наиболее выраженное видовое разнообразие наблюдается в озерах Алаколь и Балхаш (98 и 90 соответственно), наименьшее для озер Ушколь и Жаланашколь (43 и 42 соответственно).

Таким образом, сведения о видовом составе и его изменениях могут быть использованы для управления водными ресурсами, включая планирование рекреационного использования, рыбного хозяйства, а также для оценки влияния различных видов деятельности на водные экосистемы.

Далее, для оценки видового разнообразия были использованы индексы Симпсона, Шеннона, Маргалефа и Менхиника, расчет которых проводился по соответствующим формулам (3-7). Полученные результаты, представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Индексы видового разнообразия высших водных растений соленых и содовых озер Алматинской области

Индекс разнообразия	Алаколь	Сасыкколь	Жаланашколь	Балхаш	Ушколь
Taxa_S	85	49	42	90	42
Individuals	3256	1852	1639	3128	1593
Simpson_1-D	0,812	0,635	0,745	0,768	0,546
Shannon_H	2,832	1,681	2,345	2,789	2,147
Menhinick	0,782	0,345	0,685	0,865	0,648
Margalef	0,912	0,547	0,789	0,894	0,658

Индексы разнообразия имеют схожее значение, что свидетельствует о достоверности полученных результатов. Озеро Алаколь демонстрирует наиболее высокие значения индексов разнообразия по Симпсону – 0,18, Шеннону – 2,83 и Маргалефу 0,9, что указывает на значительное видовое

разнообразии и равномерное распределение видов. Озеро Балхаш имеет самый высокий индекс Менхиника – 0,86, что говорит о большом видовом богатстве относительно общего количества видов. Озеро Сасыкколь показывает наименьшее разнообразие по всем индексам, что может указывать на экологические проблемы или специфические условия, ограничивающие видовое разнообразие. Данный анализ помогает оценить экологическое состояние озер и выявить те, которые имеют наиболее разнообразные и стабильные экосистемы.

Таким образом, сравнительный анализ 32 обследуемых точек пяти изучаемых соленых и содовых озер показал сходства и различия видового разнообразия. Было выявлено 13 толерантных высших водных видов, которые встречались на всех точках обследования. Наибольшее сходство видового состава отмечено между озерами Алаколь и Балхаш – 0,75 Балхаш и Ушколь – 0,63 в то время, как наибольшее различие между озерами Сасыкколь и Балхаш.

3.3.3 Экологический анализ водной флоры изучаемых озер

Экологический анализ флористических систем представляет собой ключевой метод для изучения взаимосвязи растений с окружающей средой и выявления уровня их адаптации к различным структурным элементам экотопа. Этот подход, к примеру, позволяет определить габитус, выделить экологические группы растений, закономерности их распределения в водоеме. Проведенный экологический анализ макрофитов показал, что основу водной флоры составляют: гидрофиты, гигрофиты, мезогигрофиты, гигромезофиты, гидромезофиты, мезогидрофиты [167, 169-170]. Однако, при проведении данного анализа водной флоры и распределении ее на экологические группы возникли некоторые сложности:

- размытые границы между группами: многие водные растения не имеют четких границ между экологическими группами. Например, некоторые виды могут проявлять черты как гидрофитов, так и мезогигрофитов в зависимости от условий окружающей среды;

- изменчивость условий обитания: водная среда часто подвержена изменениям, таким как колебания уровня воды, сезонные засухи или наводнения, что может временно изменять условия обитания растений. В такие периоды растения могут адаптироваться, меняя свои физиологические характеристики, что создает сложности в их классификации;

- полиморфизм растений: одни и те же виды могут проявлять разные формы в зависимости от их положения в экосистеме (например, прибрежная зона или вода). Это затрудняет определение их экологической группы, так как один вид может подходить под несколько категорий в зависимости от конкретных условий обитания;

- антропогенные воздействия: человеческая деятельность, такая как мелиорация, загрязнение водоемов и изменение ландшафта, может

существенно изменять условия обитания растений, что приводит к изменению их экологических характеристик. В таблице 27 представлены выявленные экологические группы водных растений.

Таблица 27 – Экологические группы растений исследуемых озер

№	Экологические группы	Тип места произрастания	Количество видов	% от общего числа
1	2	3	4	5
1	Гидрофиты (Hd)	водный	51	50
2	Гидромезофит (HdM)	периодически частично погруженное	7	6,86
3	Мезогидрофит (MHd)	периодически полностью погруженное	4	3,92
4	Гигрофиты (Hg)	переувлажненный	8	7,84
5	Гигромезофиты (HgM)	периодически сверх сильно переувлажненный	15	14,7
6	Мезогигрофит (MHg)	периодически сильно переувлажненный	17	16,7
Всего			102	100

Согласно таблице 27, доминирующее положение занимают гидрофиты – 51 вид или 50 %. Далее следуют мезогигрофиты (17 видов или 16,7%) и гигромезофиты (15 видов или 14,7%). Незначительное количество приходится на долю гигрофитов – 8 видов, гидромезофитов – 7 и мезогидрофитов – 4 вида.

При распределении водных растений по экологическим группам важное значение имеет вертикальное распределение, которое зависит от одного из наиболее значимых физических параметров – глубины (рисунок 39).

Относительно не крупные гидрогигрофиты произрастают на мелководье от 1 до 1,5 м (*Equisetum palustre* L., *Alisma plantago-aquatica* L., *Typha latifolia* L. и др.). Некоторые виды (*Butomus umbellatus* L., *Sparganium microcarpum* (Neum.) Raunk. и др.) чаще всего встречаются на глубине до 1 м, но в тоже время могут адаптироваться и произрастать на глубине до 1,5- 2 м, при поднятии уровня воды.

Гидатофиты (погруженные растения) также приурочены к мелководьям и произрастают на глубине от 0,5-1,5 м - *Potamogeton pusillus* L., *Ruppia maritima* L., *Zanicheilia palustris* L.

Напротив, имеются виды, для которых оптимумом произрастания является глубина от 1,5 м до 2,5 м (иногда может достигать до 3 м) - *Nuphar lutea* (L.) Smith., *Myriophyllum spicatum* L., *Potamogeton crispus* L.

Некоторые виды гидатофитов можно обнаружить на глубине от 2,5 – до 3 м - *Ceratophyllum demersum* L., *Potamogeton vaginatus* Turcz. Следует отметить виды, которые не могут расти на глубине, которая превышает их линейные размеры, что напрямую связано с особенностями их биоморф: *Typha angustifolia* L., *Nuphar lutea* (L.) Smith, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex. Steud.

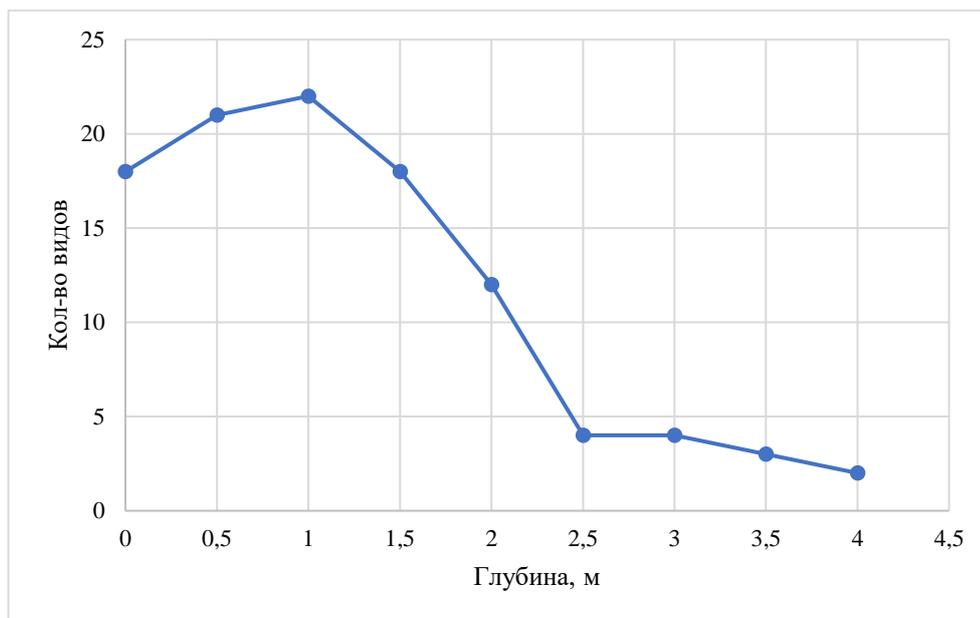


Рисунок 39 – Распределение макрофитов по глубине произрастания

Распределение высших водных растений в зависимости от глубины имеют закономерный характер распространения, напрямую связанный с их биоморфой, а также динамикой уровня водоема.

На рисунке 40 представлено распределение макрофитов по глубине произрастания.

Говоря о закономерности распределения водных растений в исследуемых озерах Алматинской области можно отметить увеличение количества видов до глубины 0,5 м, наиболее оптимальная глубина для произрастания – 0,5-1 м, затем отмечается уменьшение численности видов макрофитов на глубине 2,5-3 м, что связано с низкой прозрачностью воды на данных глубинах.

Наиболее глубоководными являются представители семейств *Potamogetonaceae* Dumort, большинство видов которых встречаются на глубине 2,5-3 м. Напротив, самыми неглубоководными являются представители семейств *Сyperaceae* Juss. и *Juncaceae* Juss.

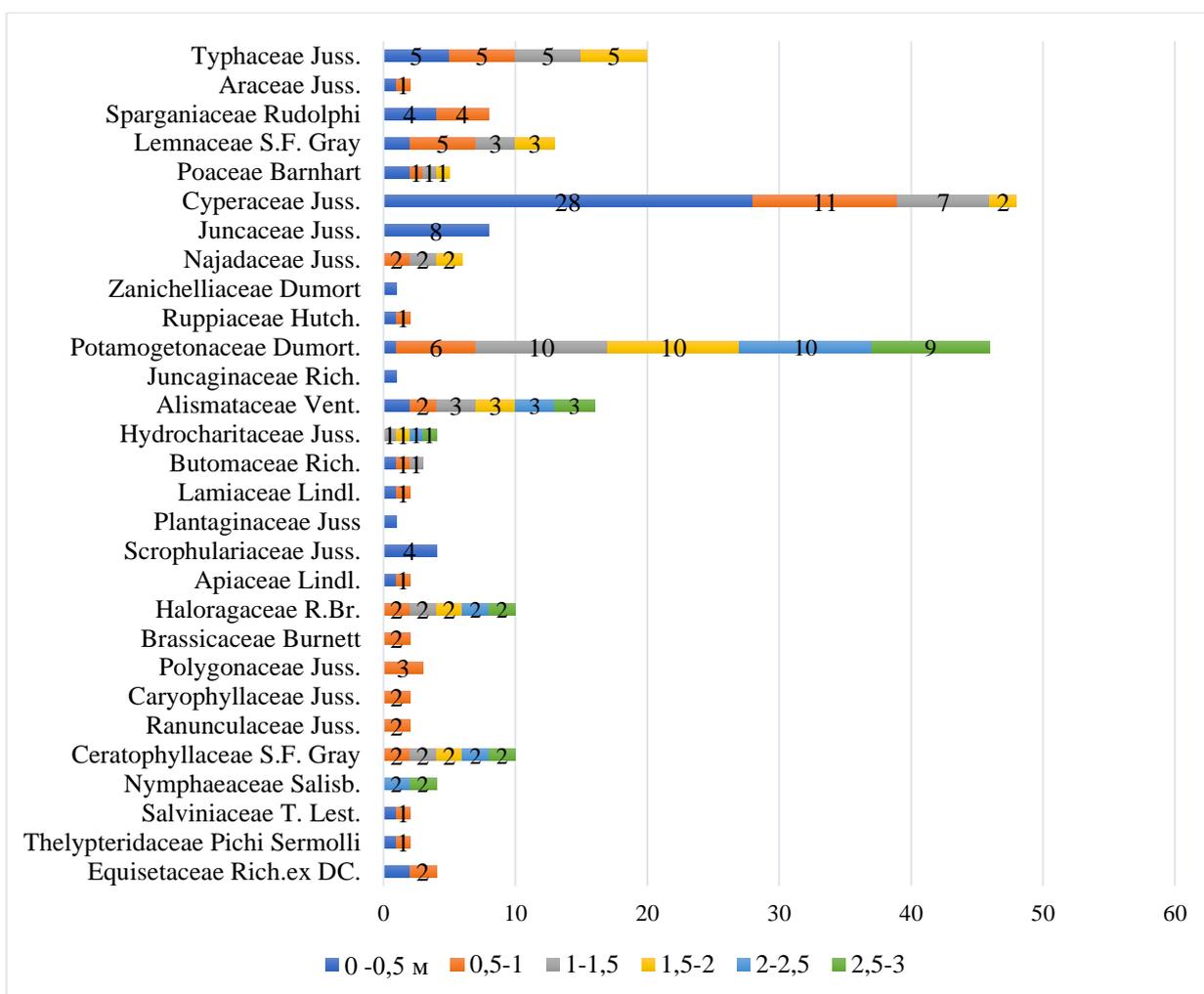


Рисунок 40 – Количественное распределение видов высших водных растений по глубине произрастания

Помимо закономерностей распределения макрофитов в водоеме, немаловажным фактором является состав жизненных форм, который определяет обмен вещества и энергии, от которого напрямую зависит динамика и структура сообществ.

Однако, жизненные формы макрофитов изучены достаточно слабо, что является сдерживающим фактором исследования растительности водоемов.

Выявленные высшие водные растения представлены двумя жизненными формами (рисунок 41) – многолетники 85 видов (83,3%) и однолетники 17 видов (16,7%). Это связано с их приспособлениями к произрастанию в водной среде, особенностями их морфологического и анатомического строения и жизненного цикла.

Однолетние водные растения за один сезон проходят полный цикл развития – от прорастания семян до формирования новых семян. Это позволяет им эффективно использовать кратковременные благоприятные условия, например, весной и летом, когда температура и уровень воды оптимальны.

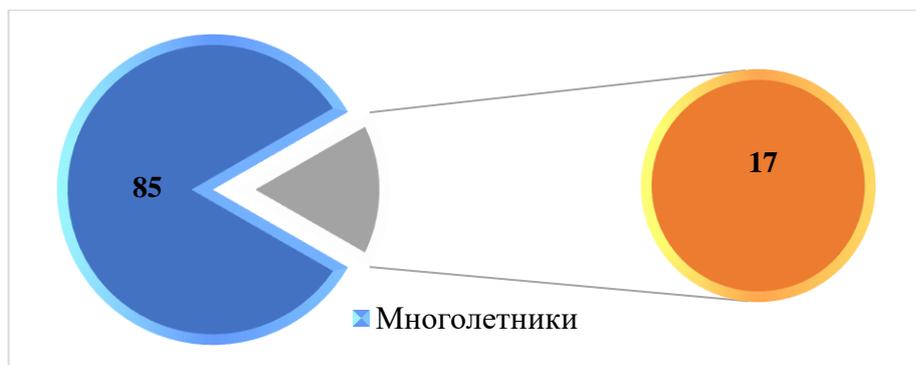


Рисунок 41 – Жизненные формы видов водных растений соленых и содовых озер Алматинской области

Так же, однолетние виды растений лучше адаптируются к изменению условий, таким как засуха или изменение уровня воды, потому что они не зависят от длительного существования в одном месте. В то время, как многолетние водные растения развивают более прочные и устойчивые структуры, такие как корневища или подводные стебли, которые помогают им переживать неблагоприятные периоды (например, зиму или временное высыхание водоемов).

Многолетники могут использовать накопленные ресурсы, например, питательные вещества в корневищах, для регенерации и продолжения роста в следующем сезоне.

В таблице 28 представлены результаты анализа жизненных форм водной флоры исследуемых озер, основанного на классификации К. Раункиера. Данная классификация базируется на распределении почек возобновления и наличие адаптивных механизмов для преодоления неблагоприятных условий сезона.

Таблица 28 – Распределение видов исследуемых соленых и содовых озер по «биологическим типам» К. Раункиера

«Биологические типы»	Количество видов	% от общего числа видов
Гемикриптофиты	75	73,53
Криптофиты	12	11,76
Терофиты	15	14,7
Всего	102	100

Согласно полученным результатам анализа, наибольшее число видов водных растений приходится на долю гемикриптофитов – 75 видов или 73,5 % от общего числа видов. Далее следуют терофиты – 15 видов или 14,7% и на долю криптофитов приходится 12 видов или 11,8 %.

Анализ жизненных форм по И.Г.Серебрякову (таблица 29) показал, что выявленные виды относятся только к 2 группам. Наибольшее количество видов водных растений составляют травянистые поликарпики – 85 видов, что

составляет 83,3 % от общего количества; монокарпики представлены 17 видами или 16,7 %.

Таблица 29 – Распределение жизненных форм макрофитов по И.Г.Серебрякову

Жизненная форма	Количество видов	% от общего числа видов
Травянистые поликарпики	85	83,3
Монокарпические травы	17	16,7
Всего:	102	100

При разработке системы жизненных форм гидрофитов, необходимо учитывать ряд особенностей, таких как: жизненный цикл, структура побегов, типов почек возобновления и их расположение в неблагоприятный период сезона года [191]. Ниже представлены результаты распределения жизненных форм гидрофитов, на основании классификации Свириденко [23], в основе которого лежит система таксонов по И.Г. Серебрякову [167].

Классификация Экобиоморфы гидрофитов

Отдел Цветковые Гидрофиты

Тип 1. Многолетние поликарпические цветковые гидрофиты

Подтип 1. Укореняющиеся многолетние гидрофиты

Класс 1. Длиннопобеговые (безрозеточные) корневищные и корневые

Группа 1. Гелофиты

Секция 1. Высокие с линейными очередными листьями

Экобиоморфа 1 *Phragmites australis*, 2 *Calamagrostis macrolepis*, 3 *Acorus calamus*

Секция 2. Средневысокие с линейными очередными листьями

Распределение видов флоры озер по приуроченности к типам местообитаний было выверено по классификации Б.А. Быкова [169-170].

Экобиоморфа 4 *Carex aquatilis*, 5 *Carex appropinquata*, 6 *Carex chlorostachys*, 7 *Carex stenophylla*, 8 *Carex secalina*, 9 *Cyperus sanguinolentus*, 10 *Spergularia maritima*, 11 *Spergularia salina*, 12 *Thelypteris palustris* 13 *Equisetum palustre*, 14 *Equisetum arvense*, 15 *Sium latifolium*, 16 *Sium sisarum*, 17 *Veronica anagallis-aquatica*, 18 *Veronica anagalloides*, 19 *Veronica beccabunga*, 20 *Veronica oxycarpa*, 21 *Plantago maritima*, 22 *Lycopus exaltatus*, 23 *Triglochin maritimum*

Секция 3. Низкие с линейными очередными листьями

Экобиоморфа 24 *Carex diluta*, 25 *Carex disticha*, 26 *Carex inflata*, 27 *Carex melanostachya*, 28 *Carex riparia*, 29 *Carex songorica*, 30 *Juncus atratus*, 31 *Juncus hybridus*, 32 *Juncus gerardii*, 33 *Juncus jaxarticus*, 34 *Juncus minutulus*, 35 *Juncus ranarius*, 36 *Juncus soranthus*, 37 *Juncus sphaerocarpus*, 38 *Cyperus flavidus*, 39 *Cyperus fuscus*, 40 *Cyperus glaber*, 41 *Cyperus glomeratus*

Группа 2. Плейстофиты
 Секция 4. Высокие с эллиптическими очередными листьями
 Экобиоморфа 42 *Persicaria amphibia*, 43 *Persicaria lapathifolia*, 44
Polygonum corrigioloides

Класс 2. Розеточные корневищные

Группа 3. Гелофиты
 Секция 5. Высокие с линейными листьями
 Экобиоморфа 45 *Typha angustifolia* 46 *Typha latifolia*
 Секция 6. Средневысокие с линейными листьями
 Экобиоморфа 47 *Typha laxmannii*, 48 *Typha minima* 49 *Butomus umbellatus*
 50 *Isolepis setacea*

Секция 7. Высокие с ассимилирующими цветоносными стеблями и
 неразвитыми листьями
 Экобиоморфа 51 *Schoenoplectus lacustris*

Секция 8. Средневысокие с ассимилирующими цветоносными стеблями
 и неразвитыми листьями
 Экобиоморфа 52 *Schoenoplectus litoralis* 53 *Scirpus kasachstanicus* 54
Schoenoplectus tabernaemontani 55 *Schoenoplectiella supina*

Секция 9. Низкие с ассимилирующими цветоносными стеблями и
 неразвитыми листьями
 Экобиоморфа 56 *Eleocharis argyrolepis* 57 *Eleocharis fennica* 58
Eleocharis oxylepis 59 *Eleocharis palustris* 60 *Eleocharis uniglumis*

Секция 10. Средневысокие с яйцевидными и ланцетными листьями
 Экобиоморфа 61 *Alisma lanceolatum* 62 *Alisma plantago-aquatica*

Секция 11. Низкие с яйцевидными листьями
 Экобиоморфа 63 *Rorippa palustris* 64 *Rorippa brachycarpa*

Группа 4. Плейстофиты
 Секция 12. Высокие с округлыми или овальными листьями
 Экобиоморфа 65 *Nuphar lutea* 66 *Nymphaea candida*

Класс 3. Длиннопобеговые клубневые

Группа 5. Гидатофиты
 Секция 13. Высокие с щетиновидными очередными листьями
 Экобиоморфа 67 *Potamogeton pectinatus* 68 *Stuckenia vaginata*

Секция 14. Низкие подводноцветущие с нитевидными очередными
 листьями
 Экобиоморфа 69 *Potamogeton filiformis*

Класс 4. Розеточные клубневые

Группа 6. Гелофиты
 Секция 15. Средневысокие с линейными листьями
 Экобиоморфа 70 *Bolboschoenus maritimus* 71 *Bolboschoenus affinis* 72
Sparganium emersum 73 *Sparganium natans* 74 *Sparganium stoloniferum* 75
Sparganium erectum

Секция 16. Средневысокие со стреловидными, ланцетными и
 линейными листьями.

Экобиоморфа 76 *Sagittaria filiformis* 77 *Sagittaria sagittifolia* 78 *Sagittaria trifolia*

Класс 5. Длиннопобеговые столоновые

Группа 7. Плейстофиты

Секция 17. Средневысокие с эллиптическими и ланцетными очередными листьями.

Экобиоморфа 79 *Potamogeton natans*

Секция 18. Низкие с ланцетными очередными листьями

Экобиоморфа 80 *Potamogeton alpinus* 81 *Potamogeton gramineus*

Группа 8. Гидатофиты

Секция 19. Высокие с ланцетными или овальными очередными листьями

Экобиоморфа 82 *Potamogeton lucens* 83 *Potamogeton perfoliatus*

Класс 6. Длиннопобеговые турионовые (укореняющиеся)

Группа 9. Гидатофиты

Секция 20. Высокие с перисторассеченными на нитевидные доли мутовчатыми листьями.

Экобиоморфа 84 *Myriophyllum spicatum*

Секция 21. Средневысокие с перисторассеченными на нитевидные доли мутовчатыми листьями.

Экобиоморфа 85 *Myriophyllum verticillatum*

Секция 22. Низкие с линейными очередными листьями.

Экобиоморфа 86 *Potamogeton pusillus*

Секция 23. Средневысокие с эллиптическими или широколинейными очередными листьями

Экобиоморфа 87 *Potamogeton crispus*

Подтип 2. Свободноплавающие многолетние гидрофиты

Класс 7. Длиннопобеговые турионовые (свободноплавающие)

Группа 10. Гидатофиты

Секция 24. Средневысокие с рассеченными на нитевидные доли мутовчатыми листьями

Экобиоморфа 88 *Ceratophyllum demersum* 89 *Ceratophyllum submersum*

Секция 25. Низкие с рассеченными на нитевидные доли мутовчатыми листьями, имеющие ловчие камеры

Экобиоморфа 90 *Urticularia minor* 91 *Urticularia vulgaris*

Класс 8. Розеточные турионовые (свободноплавающие)

Группа 11. Гидатофиты

Секция 26. Средневысокие с округлыми или почковидными листьями

Экобиоморфа 92 *Hydrocharis morsus-ranae* 93 *Salvinia natans*

Класс 9. Листецовые турионовые

Группа 12 Плейстофиты

Секция 27. Низкие с эллиптическими или округлыми листецами и воднымикорнями

Экобиоморфа 94 *Lemna minor* 95 *Lemna gibba*

Группа 13. Гидатофиты

Секция 28. Низкие с ланцетными листецами и водными корнями

Экобиоморфа 96 *Lemna trisulca*

Тип 2. Однолетние монокарпические цветковые гидрофиты

Подтип 3. Укореняющиеся однолетние гидрофиты.

Класс 10. Длиннопобеговые без зимующих почек

Группа 14. Гидатофиты

Секция 29. Средневысокие с линейными мутовчатыми листьями

Экобиоморфа 97 *Najas marina* 98 *Najas minor*

Секция 30. Низкие с нитевидными очередными листьями

Экобиоморфа 99 *Ruppia maritima*

Секция 31. Низкие с нитевидными мутовчатыми листьями

Экобиоморфа 100 *Zannichellia palustris*

Секция 32. Средневысокие с рассеченными на волосовидные доли очередными листьями

Экобиоморфа 101 *Ranunculus natans*

Секция 33. Низкие с рассеченными на волосовидные доли очередными листьями

Экобиоморфа 102 *Ranunculus trichophyllus*

В результате анализа жизненных форм высших водных растений исследуемых озер, выделено 2 типа, 3 подтипа, 14 групп, 33 секции и 102 экобиоморфы (таблица 30).

Таблица 30 – Распределение высших водных растений по классам экобиоморф

Наименование класса	Количество видов	% от общего числа видов
1	2	3
Тип 1 Многолетние поликарпические высшие водные растения		
Подтип 1 Укореняющиеся многолетники		
Длиннопобеговые корневищные	44	43,1
Розеточные корневищные	22	21,6
Розеточные клубневые	12	11,8
Длиннопобеговые столоновые	5	4,9
Длиннопобеговые турионовые	4	3,9
Подтип 2. Свободноплавающие многолетники		

Продолжение таблицы 30

1	2	3
Длиннопобеговые турионовые	4	1
Розеточные турионовые	2	2
Листецовые турионовые	3	2,9
Однолетние монокарпические цветковые гидрофиты Подтип 3. Укореняющиеся однолетники		
Длиннопобеговые	6	5,9
ИТОГО	102	100

Основой спектра жизненных форм служат укореняющиеся многолетники, на долю которых приходится 87 видов, что составляет 85,3 %, которые объединены в 6 классов и 23 секции. На долю свободноплавающих многолетников приходится 9 видов, что составляет 8,82 % от общего числа. Они объединены в 3 класса и 5 групп. Самое незначительное количество приходится на долю укореняющихся однолетников – 6 видов или 5,8%.

Стоит отметить, что данная классификация является наиболее детальной, включающей в себя сразу несколько аспектов, позволяющих классифицировать макрофиты. Также, эта система экобиоморф отражает основные тенденции морфологической эволюции водных цветковых растений.

Далее был проведен экологический анализ макрофитов, который необходим для оценки состояния водных экосистем и выявления изменений, вызванных природными или антропогенными факторами. В экологическом анализе флоры озер применялась классификация, введенная В.Г. Папченковым [24], основанная по приуроченности к водным экологическим группам (таблица 31).

Таблица 31 – Распределение гидрофитов, согласно классификации В.Г. Папченкова

Тип/Группа	Экология	Глубина произрастания	Представители
1	2	3	4
1. Гидрофиты	настоящие водные растения		

Продолжение таблицы 30

Группа 1	свободно плавающие в толще воды	глубина от 0,5 до 2,5 м	<i>Ceratophyllum demersum</i> , <i>Ceratophyllum submersum</i>
Группа 2	погруженные, укореняющиеся гидрофиты		<i>Potamogeton crispus</i> , <i>Potamogeton natans</i>
Группа 3	свободноплавающие на поверхности воды		<i>Lemna gibba</i> , <i>Salvinia natans</i>
Группа 4	укореняющиеся гидрофиты с плавающими листьями		<i>Nuphar lutea</i> , <i>Nymphaea Candida</i>
2.Гелофиты	воздушно-водные растения	до глубины 1 – 1,2 м	
Группа 5	высокотравные гелофиты	средняя высота побегов 180-250 см	<i>Phragmites australis.</i> , <i>Typha angustifolia.</i> <i>Bolboschoenus maritimus</i>
Группа 6	низкотравные гелофиты	средняя высота побегов 60-100 см	<i>Alisma plantago-aquatica</i> , <i>Sagittaria sagittifolia</i> , <i>Butomus umbellatus</i>
Группа 7	приземные гелофиты	высота побегов менее 10 см	<i>Zanicheilia palustris</i>
3.Околоводные растения	типичны для низких уровней береговой зоны затопления	прибрежные отмели, при глубине 20-40 см	
Группа 8	гигрогелофиты	прибрежные отмели при глубине 20-50 см	<i>Carex acutiformis</i> , <i>Carex disticha</i> , <i>Ranunculus natans</i>
Группа 9	травянистые гигрофиты	средние уровни береговой зоны	<i>Juncus gerardii</i> , <i>Juncus soranthus</i> , <i>Carex acutiformis</i>
Группа 10	гигромезофиты	произрастают на отмелях	<i>Veronica anagallidiformis</i> , <i>Plantago maritima</i>

Согласно таблице 31, все макрофиты разделены на 3 типа: гидрофиты, гелофиты и околоводные растения. Первый тип (гидрофиты или настоящие водные растения) встречаются на глубине от 0,5 м до 2,5 м и содержит 4 группы. Группа №1 (свободно плавающие в толще воды): *Ceratophyllum demersum*, *Ceratophyllum submersum*; группа №2 (погруженные, укореняющиеся гидрофиты): *Potamogeton crispus*, *Potamogeton natans*; группа №3 (свободноплавающие на поверхности воды): *Lemna gibba*, *Salvinia natans*; группа №4 (укореняющиеся гидрофиты с плавающими листьями): *Nuphar lutea*, *Nymphaea Candida*. Второй тип (гелофиты – воздушно-водные растения)

произрастают на глубине 1 – 1,2 м. и включают 3 группы. Группа №5 (высокотравные гелофиты): *Phragmites australis.*, *Typha angustifolia.* *Bolboschoenus maritimus*; группа № 6 (низкотравные гелофиты): *Alisma plantago-aquatica*, *Sagittaria sagittifolia*; группа №7 (приземные гелофиты): *Zanicheilia palustris*. Третий тип (околоводные растения) произрастают на прибрежных отмелях, чаще всего при глубине 20 - 50 см и включает также 3 группы. Группа №8 (гигрогелофиты): *Carex acutiformis*, *Carex disticha*; группа №9 (травянистые гигрофиты): *Juncus gerardii*, *Juncus soranthus*; группа №10 (гигромезофиты): *Veronica anagallidiformis*, *Plantago maritima*. Более подробная информация о жизненных формах, глубине произрастания представлена на рисунках 39 – 40.

Также следует отметить, что среди макрофитов встречается незначительное количество практически значимых видов. Этому есть несколько причин: 1) макрофиты приспособлены к специфическим условиям водной среды, что ограничивает их использование в более широких, сухопутных условиях и отраслях; 2) они имеют сравнительно медленный рост и низкую продуктивность, что делает их менее пригодными для масштабного использования в сельском хозяйстве или промышленности. Среди полезных групп водной флоры соленых и содовых озер встречаются кормовые, лекарственные, пищевые технические, эфиромасличные и другие (рисунок 42).

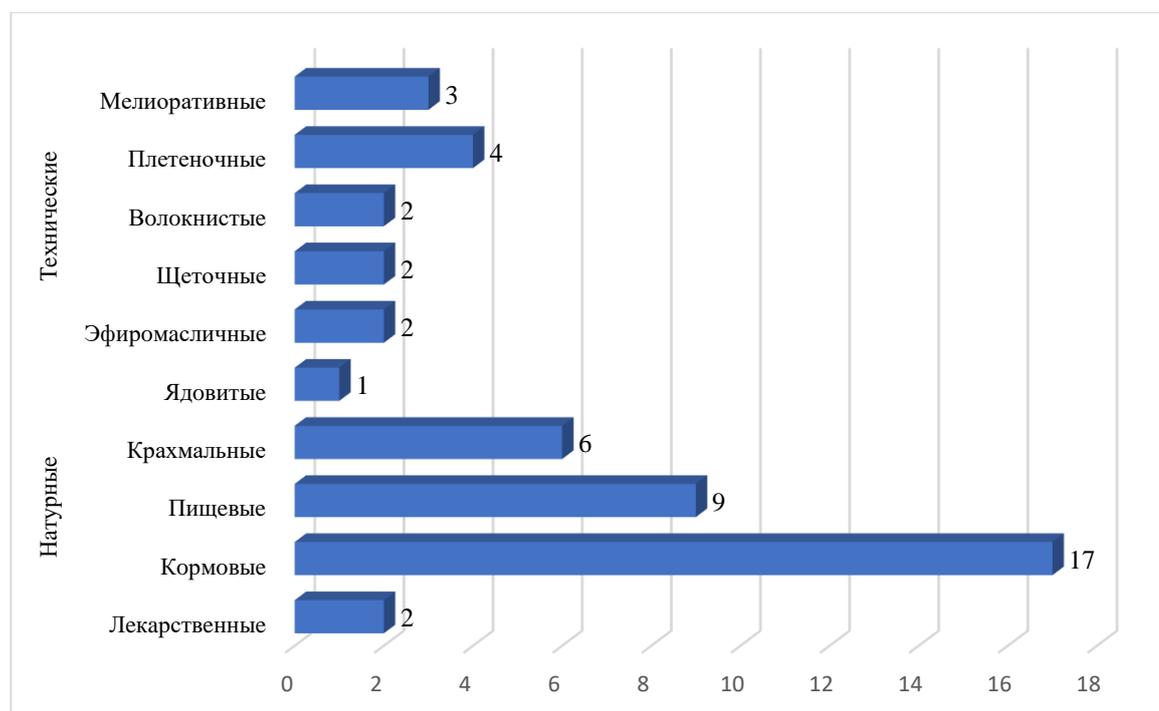


Рисунок 42 – Практически значимые виды водной флоры исследуемых озер

Самая многочисленная группа – кормовые растения – 17 видов, что составляет 16,6 % - *Bolboschoenus maritimus*, *Carex riparia*, *Juncus gerardii*;

далее следуют пищевые – 9 видов (8,8%): *Butomus umbellatus*, *Sagittaria sagittifolia*, *Typha angustifolia*, крахмальные – 6 видов (5,9 %): *Typha latifolia*, *Schoenoplectus lacustris*, *Alisma plantago-aquatica*. 4 вида (3,9%) относятся к плетеночным, 3 вида относятся к мелиоративным (2,9%). По 2 вида приходится на долю волокнистых, щеточных, эфиромасличных и лекарственных, 1 вид является ядовитым - *Alisma plantago-aquatica*. Также было выявлено 3 сорных вида: *Spergularia maritima*, *Spergularia salina*, *Lycopus exaltatus*. Несмотря на то, что среди высших водных растений встречается 31 практически – значимый вид, макрофиты создают важные экосистемы, служат средой обитания и кормовой базой для многих видов рыб, беспозвоночных и птиц, поддерживая биологическое разнообразие водоемов.

Таким образом, в результате проведенного экологического анализа, было показано, что основу водной флоры составляют гидрофиты – 51 вид, или 50 % от общего числа видов, далее следуют мезогигрофиты – 17 видов (16,7%) и гигромезофиты 15 видов (14,7%). Оптимальной глубиной произрастания для макрофитов является глубина от 0,5 до 1 м. Помимо закономерностей распределения макрофитов в водоеме, немаловажным фактором является анализ жизненных форм, который показал, что 85 видов приходится на долю многолетников и 17 видов на долю однолетников. Это связано с их приспособлениями к водной среде обитания, особенностями строения и жизненного цикла. Анализ жизненных форм по К. Раукиеру продемонстрировал, что наибольшее число видов водных растений приходится на долю гемикриптофитов - 75 видов (73,5 %). Распределение жизненных форм по И.Г. Серебрякову показало, что все виды водных растений разделены на 2 группы: поликарпики (85) и монокарпики (17). В результате анализа жизненных форм высших водных растений исследуемых озер по классификации Б.Ф. Свириденко выделено 2 типа, 3 подтипа, 14 групп, 33 секции и 102 экобиоморфы. Также следует отметить, что среди макрофитов встречается незначительное количество практически значимых видов – 31 вид, что связано с их приспособлениями к водной среде, сравнительно медленным ростом и низкой продуктивностью.

Таким образом, экологический анализ водной флоры предоставляет комплексную информацию, необходимую для мониторинга разработки мер по охране природы и устойчивому управлению водными ресурсами.

3.4 Корреляционная взаимосвязь химических переменных и биологического разнообразия высших водных и прибрежно-водных растений

Для выявления взаимосвязи химических элементов и биологического разнообразия высших водных и прибрежно-водных растений был проведен корреляционный анализ Пирсона. Для подтверждения релевантности выбранной статистической модели для нормального распределения в выборке параметров, был проведен QQ плот анализ (рисунок 43).

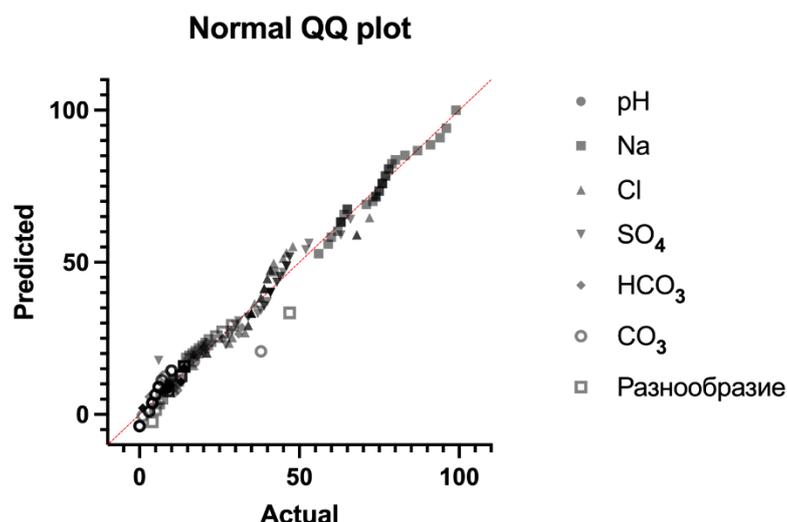


Рисунок 43 - QQ плот анализ

На рисунке видно, что точки лежат в основном вдоль прямой диагональной линии с небольшими отклонениями вдоль каждого из хвостов. Основываясь на этом графике, можно сделать вывод, что этот набор данных имеет нормальное распределение. Для выявления зависимости между переменными (pH, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃, биоразнообразие растений) был проведен корреляционный анализ (коэффициент корреляции Пирсона, R-Пирсона) (рисунок 44).

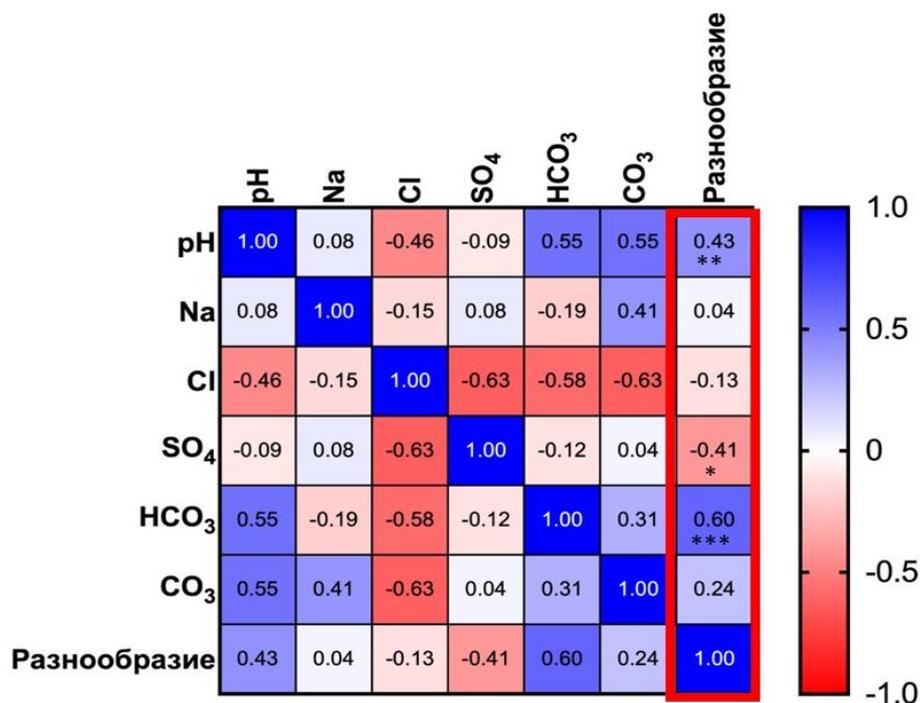


Рисунок 44 – Коэффициент корреляции Пирсона выбранных переменных

Примечание: различия признаков статистически значимы при * P < 0.05, ** P < 0.01, *** P < 0.001, ns – не значимое

Значения коэффициента корреляции варьируют от 0 до ± 1 . Чем больше абсолютное значение r – тем выше теснота связи между переменными. $r = 0$ свидетельствует о полном отсутствии связи. Согласно полученным данным, представленным на рисунке 44, видна положительная зависимость разнообразия растений, коррелирующая с уровнем рН и содержанием карбонатов (HCO_3^- , CO_3^{2-}). В то время, как было отмечено отрицательное значение коэффициента корреляции переменных Cl^- , SO_4^{2-} . Таким образом можно сделать вывод, что на разнообразии растений положительный эффект оказывают такие переменные, как рН, HCO_3^- , CO_3^{2-} негативное влияние демонстрируют Cl^- , SO_4^{2-} .

3.5 Индикаторные виды высших водных и прибрежно-водных растений для соленых и содовых озер

3.5.1 Территориальное распространение специфичных видов растений

Видовой состав солончаковых местообитаний зачастую прост и включает галофитные суккуленты, галотолерантные растения с карликовым ростом и годовым жизненным циклом. Щелочные растительные сообщества характеризуются специфичным видовым составом. К примеру: *Lepidium cartilagineum*, *Suaeda physophora*, *Camphorosma lessingi* и др. [2, 192]. Сведения о специфичных видах для соленой и содовой среды представлены в таблице 32. Следует отметить, что для определения индикаторных видов был проведен анализ среди прибрежно-водных растений, поскольку именно наземные виды представляют наибольшую практическую ценность для последующего визуального мониторинга и оценки состояния экосистем.

Таблица 32 - Специфичные виды прибрежно- водных растений для содовых и засоленных местообитаний в трех исследованных регионах

	Наименование растений	ПБР	Западный Казахстан	Юго -Восточный Казахстан
1	2	3	4	5
1.	<i>Artemisia nitrosa</i>		x	x
2.	<i>Artemisia santonicum</i>	x		
3.	<i>Aster tripolium (Tripolium pannonicum)</i>	x	x	x
4.	<i>Atriplex littoralis</i>	x	x	x
5.	<i>Atriplex prostrata</i>	x	x	x
6.	<i>Atriplex pungens</i>			x
7.	<i>Atriplex tatarica</i>	x		x
8.	<i>Bolboschoenus maritimus</i>	x	x	x
9.	<i>Camphorosma annua</i>	x		
10	<i>Camphorosma lessingi</i>		x	x
11	<i>Chenopodium chenopodioides</i>	x	x	x

Продолжение таблицы 32

	2	3	4	5
12	<i>Chenopodium glaucum</i>	x	x	X
13	<i>Crypsis aculeata</i>	x		x
14	<i>Crypsis alopecuroides</i>	x	x	x
15	<i>Crypsis schoenoides</i>	x	x	x
16	<i>Cyperus pannonicus</i> (Syn: <i>Juncellus pannonicus</i>)	x	x	x
17	<i>Juncus gerardii</i>	x	x	x
18	<i>Juncus maritimus</i>	x		x
19	<i>Lepidium cartilagineum</i>	x	x	x
20	<i>Limonium gmelini</i>	x	x	x
21	<i>Puccinellia dolicholepis</i>		x	x
22	<i>Puccinellia limosa</i>	x		
23	<i>Puccinellia poecilantha</i>		x	
24	<i>Salicornia europaea</i>		x	x
25	<i>Salicornia prostrata</i> (Syn: <i>Salicornia perennans</i>)	x		
26	<i>Salsola soda</i>	x	x	x
27	<i>Spergularia maritima</i> (Syn: <i>Spergularia media subsp. media</i>)	x	x	x
28	<i>Spergularia salina</i> (Syn: <i>Spergularia marina</i>)	x	x	x
29	<i>Suaeda pannonica</i>	x		
30	<i>Suaeda physophora</i>		x	x
31	<i>Suaeda prostrata</i>	x		x
32	<i>Suaeda salsa</i>	x	x	x
	Общее количество	25	22	26

На западе Казахстана встречается 22 вида специфичных вида, на юго - востоке страны - 25 видов. На территории ПБР - выявлено 26 специфичных видов растений. Данные о сходстве и различии в видовом составе растений, рассчитанные с помощью коэффициента Жаккара, представлены в таблице 33.

Таблица 33 - Матрица мер сходства по индексу Жаккара для видового состава растений исследуемых регионов

Индекс	ПБР	Западный Казахстан	Юго-Восточный Казахстан
Юго-Восточный Казахстан	0,6	0,8	x
Западный Казахстан	0,5	x	0,8
ПБР	x	0,5	0,6

Исследуемые три региона характеризуются значительным сходством видового состава. Наибольшее сходство отмечено между юго - восточным и

западным Казахстаном - 0,8 (расстояние между крайней западной и крайней восточной точками около 2960 км). Коэффициент сходства Жаккара между западным Казахстаном и ПБР составляет 0,5, а между юго - восточным Казахстаном и ПБР – 0,6. Сходство видового состава специфичных растений трех регионов объясняется схожими условиями произрастания солончаковых и содовых местообитаний.

Однако, были выявлены и нехарактерные для Центральной Азии виды растений, например: *Artemisia santonicum*, *Camphorosma annua*, *Puccinellia limosa*, *Salicornia prostrata*, *Suaeda pannonica* (эндемичный вид для Паннонии) [193-194]. Виды: *Artemisia nitrosa*, *Atriplex pungens*, *Camphorosma lessingi*, *Puccinellia poecilantha*, *P. dolicholepis*, *Suaeda physophora* встречаются только на территории Центральной Азии. Также, на территории трех регионов исследования были выявлены разные виды одного рода. Например: *Camphorosma annua*, *Artemisia santonicum*, *Suaeda pannonica* специфичны для ПБР, а *Camphorosma lessingi*, *Artemisia nitrosa*, *Suaeda physophora* специфичны для Казахстана.

Полученные данные о количестве видов характерных растений в каждом регионе необходимы для дальнейшего расчета индекса насыщения растений.

3.5.2 Специфичные виды растений для соленых и содовых местообитаний

С экологической точки зрения засоленные и щелочные среды обитания являются одними из самых экстремальных мест для произрастания высших растений. К высокому содержанию растворимых солей, минерализации и стабильно высокому рН в сочетании с колеблющимся водным режимом (например, периодическое затопление и последующее высыхание в жаркий летний сезон для содовых водоемов) может адаптироваться специфичный тип растительности.

На основании классификации почв и химических типов водоемов [35] была проведена дифференциация видового состава растений, непосредственно связанного с этими местообитаниями. В результате были выделены три категории: соленая, содовая, неспецифичная (таблица 34). Однако, приуроченность большинства видов к местообитаниям во многих случаях параллельна и перекрывается с химическими характеристиками окружающей среды. Каждый вид растения этого списка имеет свои доминирующие характеристики: восемь специфичных для содовой среды видов растений, произрастающих в стабильно щелочных условиях, пять из которых являются облигатными галофитами: *Aster tripolium*, *Puccinellia dolicholepis*, *Suaeda physophora* (9 группа), *Artemisia santonicum* (7 группа), *Atriplex littoralis* (4 группа) и 3 факультативные: *Artemisia nitrosa*, *Atriplex prostrata* (3 группа), *Cyperus pannonicus* (6 группа).

Таблица 34 - Категоризация растений, основанная на их встречаемости в исследуемых типах среды обитаний. Категории местообитаний выделены на основе системы классификации Бороса и Колпаковой (2018). Солетолерантность галофитов была установлена в соответствии с Dítě и др. (2023).

Наименование растений	Солеустойчивость растений, основанная на классификации Dítě и др. (2023)		Встречаемость специфичных видов в различных типах местообитаний			Категоризация видов, основанная на их встречаемости в доминирующей среде обитания
	№ солевой группы	солетолерантность	содовый	содово-соленый	соленый	
1	2	3	4	5	6	7
<i>Artemisia nitrosa</i>	3	II	x	x	x	неспецифичный
<i>Artemisia santonicum</i>	7	I	x	x		содовый
<i>Aster tripolium</i>	9	I	x	x		содовый
<i>Atriplex littoralis</i>	4	Ia	x	x		содовый
<i>Atriplex prostrata</i>	3	II	x	x		содовый
<i>Atriplex pungens</i>	2	II	x	x	x	неспецифичный
<i>Atriplex tatarica</i>	3	III	x	x	x	неспецифичный
<i>Bolboschoenus maritimus</i>	5	II	x	x	x	неспецифичный
<i>Camphorosma annua</i>	9	I	x	x	x	неспецифичный
<i>Camphorosma lessingi</i>	3	II	x	x	x	неспецифичный
<i>Chenopodium chenopodioides</i>	6	Ia	x	x	x	неспецифичный
<i>Chenopodium glaucum</i>	4	III	x	x	x	соленый
<i>Crypsis aculeata</i>	9	I	x	x	x	неспецифичный
<i>Crypsis alopecurooides</i>	4	II	x	x		содовый
<i>Crypsis schoenoides</i>	6	II	x	x	x	неспецифичный
<i>Cyperus pannonicus (Syn: Juncellus pannonicus)</i>	6	II	x	x		содовый
<i>Juncus gerardii</i>	5	II	x	x	x	неспецифичный
<i>Juncus maritimus</i>	8	I		x	x	соленый
<i>Lepidium cartilagineum</i>	9	I	x	x	x	неспецифичный

1	2	3	4	5	6	7
<i>Limonium gmelini</i>	8	Ia	x	x	x	неспецифичный
<i>Puccinellia dolicholepis</i>	9	Ia	x	x		неспецифичный
<i>Puccinellia limosa</i>	3	II	x	x	x	содовый
<i>Puccinellia poecilantha</i>	3	II	x	x	x	неспецифичный
<i>Salicornia europaea</i>	9	I		x	x	соленый
<i>Salicornia prostrata</i> (Syn: <i>Salicornia perennans</i> Willd.)	9	I		x	x	соленый
<i>Salsola soda</i>	9	I	x	x	x	неспецифичный
<i>Spergularia maritima</i> (Syn: <i>Spergularia media</i> subsp. <i>media</i>)	6	Ia	x	x	x	неспецифичный
<i>Spergularia salina</i> (Syn: <i>Spergularia marina</i>)	6	Ia	x	x	x	неспецифичный
<i>Suaeda pannonica</i>	9	I	x	x		неспецифичный
<i>Suaeda physophora</i>	9	I	x	x		содовый
<i>Suaeda prostrata</i>	3	II		x	x	соленый
<i>Suaeda salsa</i>	7	Ia		x	x	соленый

Примечание: Таблица 34 составлена на основании собственных полевых исследований, а также ранее опубликованных данных.

Условные обозначения: группа солей распределялась по девятибалльной шкале (от 1 до 9);

солеустойчивость: I – облигатный галофит, Ia – региональный облигатный галофит, II – факультативный галофит, III – акцессорный вид Dítě и др. [1-2].

Шесть видов преимущественно привязаны к содово - соленым и соленым местообитаниям: *Salicornia europaea*, *Salicornia prostrata* (9 группа), *Juncus maritimus* (8 группа), *Suaeda salsa* (7 группа), *Chenopodium glaucum* (4 группа), *Suaeda prostrata* (3 группа).

Было выявлено, что 18 видов не проявляют специфических характеристик, указывающих на приуроченность к той или иной среде обитания. Эти виды встречаются как в соленой, так и в содовой среде: *Artemisia nitrosa*, *Atriplex pungens*, *Atriplex tatarica*, *Bolboschoenus maritimus*, *Camphorosma annua*, *Camphorosma lessingi*, *Chenopodium chenopodioides*, *Crypsis aculeata*, *Crypsis schoenoides*, *Juncus gerardii*, *Lepidium cartilagineum*, *Limonium gmelina*, *Puccinellia limosa*, *Puccinellia poecilantha*, *Salsola soda*, *Spergularia maritima*, *Spergularia salina*, *Suaeda pannonica* (таблица 34).

Согласно полученным результатам, все щелочнотолерантные виды растений встречаются в ПБР. Для территории обоих регионов Казахстана характерны 6 видов растений *Aster tripolium*, *Atriplex littoralis*, *Atriplex prostrata*, *Crypsis alopecuroides*, *Cyperus pannonicus* (таблица 32). Последний список потенциально встречающихся видов растений включает не только облигатные и факультативные галофиты, но и случайно встречающиеся виды - неспецифичные (акцессорные).

Эти виды выступают в качестве вспомогательных, так как могут произрастать как в содовой, так и в соленой средах [1]. В рамках исследования акцент был сделан на выявлении видов растений, непосредственно связанных с экосистемами содовых озер [111], поскольку они могут отражать химический состав таких водоемов не только в Казахстане, но и всей Центральной Азии.

Результаты DCA (бестрендовый анализ соответствия) показывают, что идентифицированные химические группы (соленые, содово-соленые, содовые) четко отделяются друг от друга на основании трех видов-индикаторов для засоленной среды (Приложение В): *Juncus maritimus*, *Salicornia europaea*, *Suaeda salsa* и 3 индикаторных видов для содовой (щелочной) среды: *Aster tripolium*, *Puccinellia dolicholepis*, *Suaeda physophora*, за исключением переходного содово-соленого типа местообитаний, где могут встречаться все виды-индикаторы (рисунок 45).

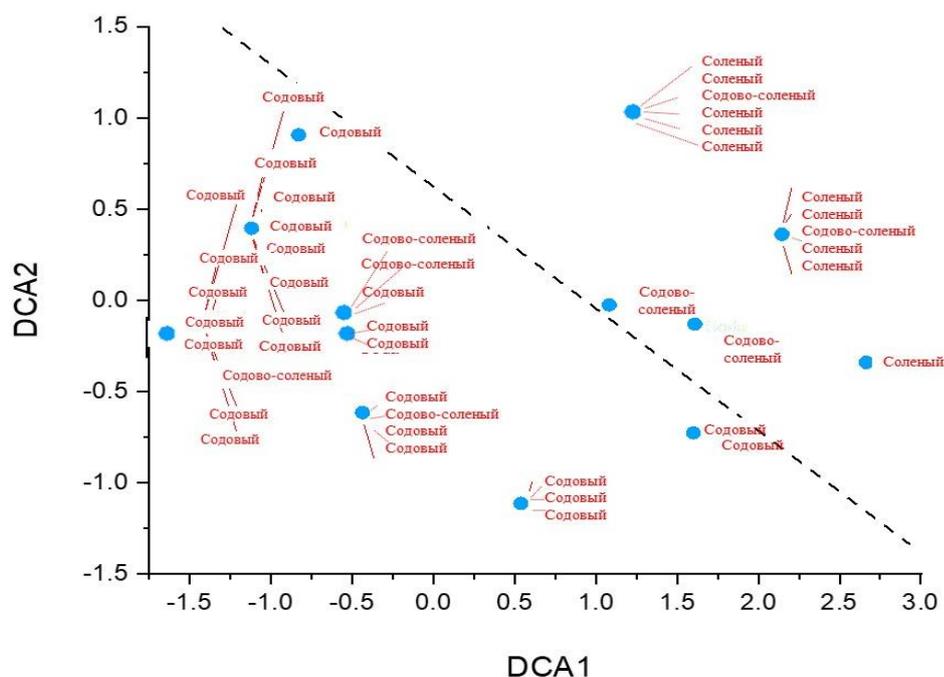


Рисунок 45 - Двумерные графики оценки бестрендового анализа соответствия с исключенным трендом (DCA) по идентифицированным химическим группам (соленый, содово-соленый, содовый).

Для достоверности полученных результатов был применен упрощенный вид индекса индикаторности (формула 8), результаты которого представлены на рисунке 46.

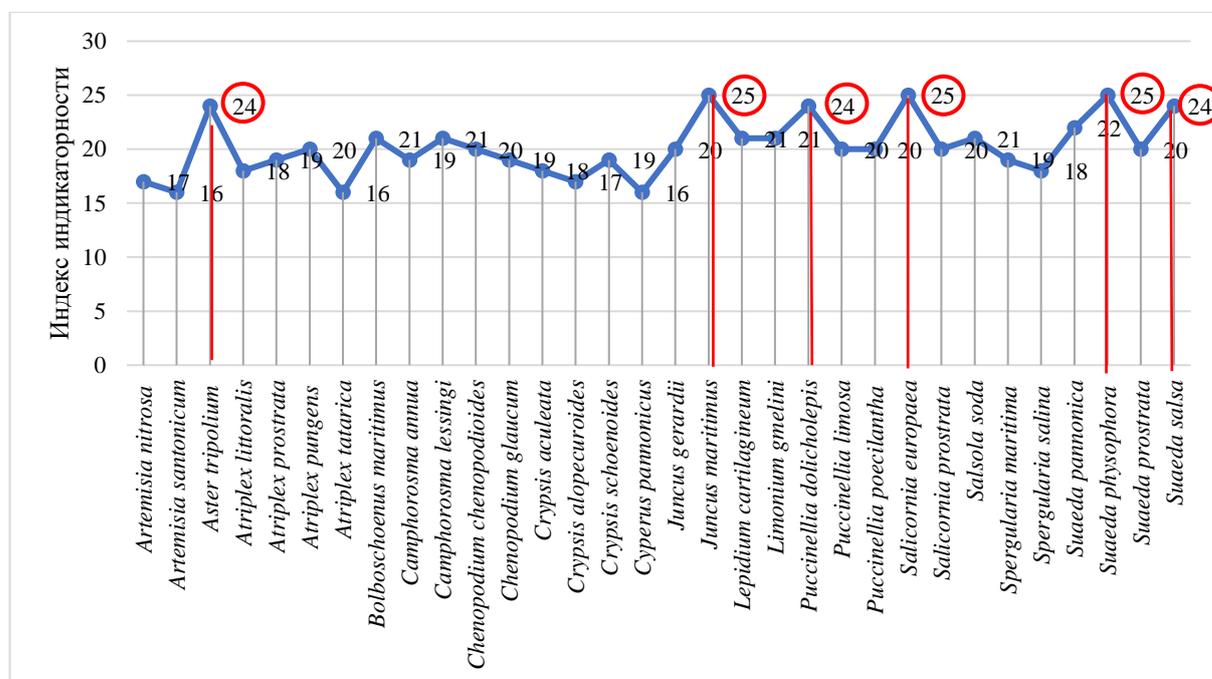


Рисунок 46 – Индекс индикаторности потенциальных специфических видов растений соленых и содовых озер

На предоставленном графике (рисунок 46) показаны значения индекса индикаторности для выявленных специфичных видов растений. Виды *Juncus maritimus*, *Salicornia europaea*, *Suaeda salsa*, *Aster tripolium*, *Puccinellia dolicholepis*, *Suaeda physophora* имеют высокие индексы индикаторности (значение 24 - 25), что делает первые три вида ключевыми для мониторинга и оценки экологического состояния соленых экосистем, последующие 3 вида – для содовых экосистем.

Следует подчеркнуть, что повышенная засоленность часто характеризуется и высокой щелочностью, что способствует развитию у растений, как солеустойчивости, так и толерантности к щелочности [10, 195], что затрудняет разделение их индикационных возможностей. Почвы часто содержат значительное количество извести (CaCO_3), и это отчасти объясняет, почему засоленные почвы также могут быть и щелочными. Это является главным объяснением того, почему даже в результате крупномасштабного анализа было идентифицировано всего 6 видов -индикаторов, 3 из которых для соленой среды: *Juncus maritimus*, *Salicornia europaea*, *Suaeda salsa* и 3 для содовой среды: *Aster tripolium*, *Puccinellia dolicholepis*, *Suaeda physophora*. Однако, для дальнейших исследований наличие только шести видов, специфичных к повышенному засолению или щелочности почвы значительно облегчат биомониторинг и позволят сосредоточиться исключительно на этих индикаторных видах для проведения исследований в крупном географическом масштабе.

Проведение анализа в сравнительном аспекте ПБР и Казахстана для выявления индикаторных видов содовой среды имеет особую важность по нескольким причинам. В Казахстане отсутствуют литературные сведения о щелочнотолерантных видах, и ранее не проводились исследования содовых экосистем, что создает значительный пробел в знаниях о состоянии и экологии содовых сред обитания в регионе. В то время, как ПБР (в частности Венгрия) обладает обширной базой данных и научных исследованиями в этой области [31-32, 35, 193-194].

Сравнение этих трех регионов обосновано и тем, что Казахстан и ПБР имеют схожие природные и климатические условия, что делает результаты анализа более достоверными и практически значимыми. Использование данных и методов, апробированных в Венгрии, позволяют оценить состояние содовых сред Казахстана на высоком научном уровне, обеспечивая при этом возможность корректной интерпретации результатов и разработки рекомендаций по охране и управлению этими уникальными экосистемами. Сравнительный аспект, таким образом, необходим для обеспечения объективности и точности полученных данных, а также для создания научной базы, которая может быть использована для дальнейших исследований и мониторинга содовых водоемов в Казахстане

3.5.3 Экологическая модель индекса насыщения растений

Пространственный автокорреляционный анализ показал значительную кластеризацию для индекса насыщения растений ($Morans\ I = 0,377$; $Z_{score} = 4,835$; $p = 0,000001$) в исследованном крупном пространственном масштабе (таблица 35). Четыре ключевые переменные были выбраны методом детального отбора переменных из всех потенциальных экологических переменных ($N = 39$):

- средняя температура самого теплого квартала;
- тепловой поток твердой поверхности Земли (mBt/m^2);
- фракция песка верхнего слоя почвы (% массы);
- фракция глины верхнего слоя почвы (% массы).

В качестве категориальных переменных использовали 3 химических типа среды: соленый, содовый, солено – содовый.

Таблица 35 - Сводные результаты линейных моделей смешанных переменных (LMM)

Фиксированные параметры [Cl^- , SO_4^{2-}]	Показатель	t-Показатель	Достоверность $p > t $
Средняя температура самого теплого квартала (C°)	2,59769	2,36448	0,02011
Тепловой поток твердой поверхности Земли (mBt/m^2)	-0,34897	-2,49323	0,01441
Фракция песка верхнего слоя почвы (% вес)	0,62021	3,31055	0,00132
Фракция глины верхнего слоя почвы (% вес)	1,00103	4,06144	1,00983E-4
Соленый тип	-0,0547	2,36179	0,02025
Содовый тип	0,07574	3,48874	7,40285E-4
Содово – соленый тип	0,07826	3,17953	0,002

Линейная модель смешанных переменных (LMM) использовалась для обнаружения связи между индексом насыщения видов растений и переменными окружающей среды ($N=102$, $df=94$, $r^2=0,311$, $p<0,05$). Случайные факторы географических регионов (ПБР, Западного и Юго - Восточного Казахстана) не являются значимыми для модели ($p>0,5$).

LMM показал, что индекс насыщения растений имеет положительную значимую связь со средней температурой самого теплого квартала, песком верхнего слоя почвы и фракцией глины, в то время как наблюдалась значимая отрицательная связь с тепловым потоком поверхности твердой Земли (таблица 35).

Положительная корреляция с песком верхнего слоя почвы и глиной доказывает их важную роль в удержании воды, дренаже и доступности питательных веществ, что имеет решающее значение для роста растений. Напротив, отрицательная связь с тепловым потоком твердой земли

предполагает, что увеличение теплового потока может создать экстремальные условия окружающей среды, пагубные для насыщения растений (таблица 35).

Индекс насыщения видового состава растений в разных точках исследования варьируется от 4% до 40%. Для сравнения, индекс насыщенности Восточного Казахстана составляет от 5% до 40%, а Западного Казахстана – от 4% до 26%.

Наиболее часто встречающиеся виды для обоих регионов из 47 точек исследования: *Artemisia nitrosa*, *Limonium gmelinii*, *Salicornia europaea*, *Chenopodium chenopodioides*, *Crypsis aculeata*, *Suaeda physophora*. Для ПБР значения варьируются от 4 до 40%. Наиболее часто встречающиеся виды среди 55 обследуемых точек: *Lepidium cartilagineum*, *Camphorosma annua*, *Aster tripolium*, *Crypsis aculeata*, *Crypsis alopecuroides*, *Puccinellia limosa*, *Suaeda pannonica*, *Spergularia maritima*, *Suaeda prostrata*.

Учитывая тот факт, что большинство растений, произрастающих в соленой среде, как правило, встречаются и в щелочной среде, следует отметить, что для щелочной среды наблюдалась положительная корреляция с индексом насыщения. Это указывает на то, что разнообразие растений больше в щелочной среде обитания, чем в соленой (рисунок 47).

Это явление можно объяснить тем, что щелочная среда, как правило, имеет более низкую степень минерализации, чем типичные соленые среды.

У гликофитов отсутствуют механизмы адаптации к такому химическому стрессу, поэтому они подвержены увяданию из-за снижения способности поглощения воды, замедления роста и в конечном итоге гибели.

Различные химические стрессы (щелочность и соленость) и стратегии адаптации к среде обитания для прибрежных растений, в соленых экосистемах, можно разделить на три отдельные категории стресса (рисунок 47):

1) Щелочной стресс растений, вызванный NaHCO_3 , Na_2CO_3 и стабильно высоким pH;

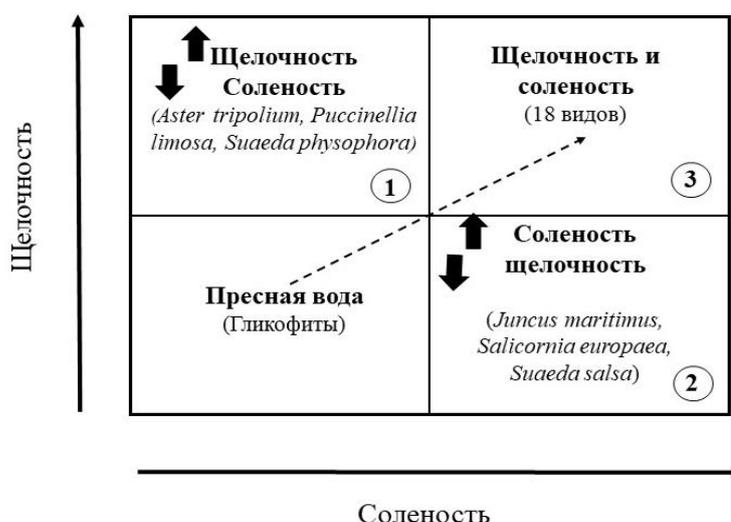


Рисунок 47 – Концептуальная схема влияния различных химических стрессов (щелочности и солености) на высшие сосудистые растения

2) Солевой стресс растений, вызванный NaCl , Na_2SO_4 . Следует подчеркнуть, что повышенный уровень солености снижает разнообразие растений. Видовое богатство растений резко снижается с увеличением солености от 0,8 до 6,4 г/л.

3) Поскольку границы между двумя группами (соленый, содовый) часто нечеткие и изменчивые, переходные зоны являются важными источниками пространственной мозаики, где могут сосуществовать разные виды растений. Большинство галофитных растений (акцессорные виды) растут в средах с высокой соленостью, которая часто сочетается с высокой щелочностью. Эта закономерность может предполагать корреляцию между соленостью и толерантностью к щелочности, например, из-за наличия благоприятных признаков, которые способствуют эволюции солености и толерантности к щелочности. Галофиты, адаптированные как к высокому содержанию Cl^- , так и к высокому содержанию CO_3^{2-} , могут переносить более одного стрессора, а именно соленость и щелочность (соответственно, коррелирующие с Cl^- и CO_3^{2-}) [195].

Особенно важными детерминантами для распределения на группы являются анионные соотношения хлоридов, бикарбонат-карбонатов и сульфатов [195]. Однако, в целом ионы хлорида (Cl^-) и ионы сульфатов (SO_4^{2-}) имеют тенденцию оказывать более пагубное воздействие на растения по сравнению с ионами бикарбоната (HCO_3^-) и ионами карбоната (CO_3^{2-}) [196-197]. Это объясняется несколькими причинами: избыточное содержание хлорида препятствует поглощению воды и нарушает ионный баланс в клетках растений. Повышенные уровни сульфата могут подавлять поглощение питательных веществ, ухудшать ферментативную активность и создавать окислительный стресс в растениях. Эти ионы не принимают прямого участия в процессе фотосинтеза, но могут препятствовать функционированию ферментов и транспортных систем, необходимых для фотосинтеза. Бикарбонатные и карбонатные ионы обычно менее токсичны для растений при умеренных уровнях и в нещелочной среде (ионы OH^- способствуют повышению щелочности только при pH выше 11). Галофиты развили способность использовать ионы бикарбоната, преобразуя их в CO_2 с помощью специализированных ферментов, таких как карбоангидраза, для облегчения фотосинтеза, благодаря которой они имеют конкурентное преимущество в средах с высокой соленостью по сравнению с гликофитами, которые используют исключительно атмосферный CO_2 . Это дает галофитам преимущество для выживания и размножения в соленых местах обитания. Важно отметить, что разные виды растений имеют разную степень толерантности к разным ионам. Ионы почвы и их концентрация играют важную роль, особенно Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} , Mg^{2+} и Ca^{2+} , поскольку эти ионы могут влиять на видовое распределение растений на почвах, подверженных засолению. Специфический состав ионов приводит к низкой или высокой солености или щелочности среды, где могут произрастать определенные виды растений [195]. Кроме того, экологические факторы, такие как тип почвы,

доступность воды и общее содержание питательных веществ, также могут влиять на воздействие этих ионов на рост растений. В связи с этим, правильное понимание конкретных потребностей растений, а также их среды обитания имеют решающее значение для смягчения негативного воздействия этих ионов, а также способствует здоровому росту и развитию растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в ходе проведения исследований результаты по изучению высших водных и прибрежно – водных растений соленых и содовых озер Алматинской области позволяют сделать следующие выводы:

1. В результате проведенных исследований были изучены физические свойства и исследован химический состав воды соленых (Алаколь, Балхаш, Сасыкколь) и содовых (Жаланашколь, Ушколь) озер Алматинской области. Уровень рН во всех отобранных образцах проб воды варьирует в пределах от 7,5 до 10, что свидетельствует о щелочном типе воды. Степень засоленности исследованных образцов воды колебалась в широком суб-гипо-мезо-гиперсоленом диапазоне (1,3–526 г/л). По химическому составу были выявлены 3 типа воды озер, различающиеся по доминирующим ионам и физико-химическим параметрам: 1) соленый (доминируют ионы Na^+ , Cl^- и сульфаты (SO_4^{2-})), 2) содовый (доминируют ионы Na^+ , карбонаты (HCO_3^- , CO_3^{2-}), стабильно высокий рН > 9), 3) содово-соленый (промежуточный) типы. Параметры общего органического углерода и растворенного органического углерода варьировали в диапазоне от 0 – 27,5 мг/л, азота от 0,1–15,1 мг/л, фосфора от 0,05–52,5 мг/л. По степени трофности все отобранные пробы воды относятся к эвтрофному и гипертрофному типу.

2. Анализ почвенного состава прибрежной зоны исследуемых озер (Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь, Балхаш, Ушколь) показал, что уровень рН во всех образцах больше 7, что позволяет отнести все почвы к щелочным: среднещелочная – Сасыкколь (рН 8,85); сильнощелочная – Ушколь (рН 9), очень сильнощелочная – Алаколь (рН 9,83), Жаланашколь (рН 9,41) и Балхаш (рН 9,23). Данные водной вытяжки продемонстрировали разную степень засоления почв: высокая степень засоления характерна для прибрежной зоны озера Алаколь (3,215 - 0,876%), которая характеризуется сильным угнетением растительности; средnezасолённая степень – Балхаш, ей присуща средняя степень угнетения процессов жизнедеятельности растений; незасоленная – почвы прибрежной линии озер Сасыкколь, Жаланашколь и Ушколь, в которых сумма солей не превышает 0,25 % и является благоприятной для роста растений. Основные типы засоления – хлоридный, хлоридно – сульфатный, содово – сульфатный.

3. Флора истинно водных и прибрежно – водных растений прилегающих территорий озер Алаколь, Сасыкколь и Жаланашколь включает 415 видов из 186 родов и 73 семейств (323 вида прибрежно-водных растений из 144 родов и 43 семейств). Флора истинно водных и прибрежно – водных растений прилегающих территорий озер Балхаш и Ушколь включает 489 видов из 247 родов и 78 семейств (399 вида прибрежно-водных растений из 207 родов и 50 семейств).

4. Таксономический анализ водной флоры выявил 102 вида высших водных растений из 42 родов и 30 семейств. Сравнение видового разнообразия 5 озер не выявило явных различий по составу высших водных растений. Было

отмечено наибольшее сходство видового разнообразия между озерами Алаколь и Балхаш – 0,75, что объясняется схожим химическим составом воды, а также принадлежностью к одному флористическому району – Балхаш – Алакольскому (схожи географические и природно-климатические условия). Вместе с этим отмечено – 13 толерантных видов: *Ranunculus natans* C.A. Mey, *Polygonum corrigioloides* Jaub. & Spach, *Veronica beccabunga* L., *Plantago maritima* L., *Juncus gerardii* Loisel., *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla, *Carex diluta* Bieb., *Carex stenophylla* (V.I. Krecz.) T.V. Egorova., *Eleocharis fennica* Palla ex Kneuck., *Eleocharis oxylepis* (Meinsh.) V. Fedtsch., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex. Stend., *Sparganium natans* L., *Typha angustifolia* L, которые указывают на наличие устойчивых высших водных растений, характерных для всех водоемов.

Экологический анализ макрофитов позволил выделить 6 экологических групп, доминирующее положение среди которых занимают гидрофиты – 51 вид, далее следуют мезогигрофиты (17 видов) и гигромезофиты (15 видов), незначительное количество видов приходится на долю гигрофитов – 8, гидромезофитов – 7 и мезогидрофитов – 4. Количественное распределение высших водных растений по глубине произрастания позволило выделить наиболее оптимальную глубину – 0,5 м – 1м. Помимо закономерностей распределения макрофитов в водоеме, были проанализированы жизненные формы. Выявленные истинно водные растения представлены в виде двух жизненных форм: многолетники 85 видов (83,3%) и однолетники 17 видов (16,7%). Анализ жизненных форм по И.Г.Серебрякову показал, что на долю травянистых поликарпиков приходится 85 видов, монокарпиков – 17 видов. Распределение высших водных растений по классам экобиоморф позволило выделить 2 типа и 3 подтипа: 1. многолетние поликарпики (укореняющиеся – 87 видов, свободноплавающие – 9 видов); 2. однолетние монокарпики (укореняющиеся однолетники – 6 видов).

5. Впервые проведено исследование по выявлению индикаторных видов растений соленой и содовой среды в крупном географическом масштабе, основанном на химическом анализе воды и почвы. Показано, что на разнообразие растений положительный эффект оказывают такие параметры, как pH, HCO_3^- , CO_3^{2-} негативное влияние демонстрируют Cl^- , SO_4^{2-} . Это указывает на то, что разнообразие растений больше в щелочной среде обитания, чем в соленой.

Мониторинг, с последующим проведением статистических анализов данных, позволил выделить 3 индикаторных вида для соленой среды: *Juncus maritimus* Lam., *Salicornia europaea* L., *Suaeda salsa* L.Pall.; 3 вида-индикатора для содовой (щелочной) среды *Aster tripolium* L., *Puccinellia dolicholepis* (V.I.Krecz.) Pavlov, *Suaeda physophora* Pall.

Таким образом, проведенные исследования позволили определить влияние химического состава воды и почвы на растительное разнообразие и выявить индикаторные виды для биомониторинга. Впервые разработан подход к оценке состояния водоемов на основе индикаторных растений,

позволяющий быстрым экспресс-методом биомониторинга определять тип почвы и водоемов без дорогостоящего лабораторного оборудования и анализов. Результаты работы вносят вклад в развитие экологического мониторинга и могут быть применены для оценки состояния экосистем в рамках программы «Устойчивого управления природными ресурсами», проведение которого актуально согласно целям устойчивого развития (ЦУР) №14 «Сохранение морских экосистем», №15 «Сохранение экосистем суши условиях антропогенного воздействия».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Dítě D., Šuvada R., Tóth T., Dítě Z. Inventory of the halophytes in inland central Europe // *Preslia*. – 2023. – Vol. 95. – P. 215–240. doi: 10.23855/preslia.2023.215.
- 2 Dítě D., Eliáš Jr. P., Dítě Z., Piš V., Šuvada R. Vegetation classification and ecology of Pannonian salt lake beds // *Phytocoenologia*. – 2017. – Vol. 4. – P. 329–344. <https://doi.org/10.1127/phyto/2017/0137>.
- 3 Amirinejad A.-A., Sayyari M., Ghanbari F., Kordi S. Salicylic acid improves salinity-alkalinity tolerance in pepper (*Capsicum annuum* L.) // *Adv. Hort. Sci.* 2017. – Vol. 31. – P.157–163. <https://doi.org/10.13128/ahs-21954>.
- 4 Horváth Z., Vad C. F., Tóth A., Zsuga K., Boros E., Vörös L., Ptacnik R. Opposing patterns of zooplankton diversity and functioning along a natural stress gradient: when the going gets tough, the tough get going // *Oikos*. – 2014. – Vol. 123. – P. 461–471. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2013.00575.x>.
- 5 Zhang M., Kimatu J.N., Xu K., Liu B. DNA cytosine methylation in plant development // *J. Genet. Genomics*. – 2010. – Vol. 37. – P. 1–12. [https://doi.org/10.1016/S1673-8527\(09\)60020-5](https://doi.org/10.1016/S1673-8527(09)60020-5).
- 6 Kaiwen G., Zisong X., Yuze H., Qi S., Yue W., Yanhui C. Effects of salt concentration, pH, and their interaction on plant growth, nutrient uptake, and photochemistry of alfalfa (*Medicago sativa*) leaves // *Plant Signal. Behav.* – 2020. – Vol.15. – 1832373 p. <http://dx.doi.org/10.1080/15592324.2020.1832373>.
- 7 Ashwani K., Arvind K., Charu L., Sourabh K., Shamsudheen M., Jai P.S., Arun K., Devi D. Effect of salinity and alkalinity on responses of halophytic grasses *Sporobolus marginatus* and *Urochondra setulosa* // *Indian J Agr Sci*. – 2018. – Vol. 88. – P.1296-1304. <https://doi.org/10.56093/ijas.v88i8.82578>.
- 8 Wang X.-S., Ren H.-L., Wei Z.-W., Wang Y.-W., Ren W.-B. Effects of neutral salt and alkali on ion distributions in the roots, shoots, and leaves of two alfalfa cultivars with differing degrees of salt tolerance // *J. Integr. Agric.* - 2017. -Vol. 16. – P. 1800–1807. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61522-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61522-8).
- 9 Liu J., Guo W.Q., Shi D.C. Seed germination, seedling survival, and physiological response of sunflowers under saline and alkaline conditions // *Photosynthetica*. – 2010. – Vol. 48. – P. 278–286. <https://doi.org/10.1007/s11099-010-0034-3>
- 10 Flowers T.J., Colmer T.D. Plant salt tolerance: adaptations in halophytes. *Ann Bot.* – 2015. – Vol.15. – P. 327–331. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu267>.
- 11 Инелова З.А. Биоразнообразие растений в фитоценозах на территории разрушенного склада, хранилища пестицидов п.Бескайнар // *Man in the modern world: identity and intercultural communication. International monography. Interkulturelle Weiterbildungsgesellschaft e.V. (Düsseldorf, Germany), Encyclopedist-Maximum, 2019. – 583 p.*
- 12 Inelova Z., Nesterova S., Yerubayeva G., Yessimsiitova Z., Seitkadyr K., Zaparina Ye. Heavy metal accumulation in plants of Atyrau region // *Pakistan journal of Botany*. – 2018. – Vol.50, No 6. – P. 2259 – 2263.

- 13 Лисицына Л.И. Гербаризация водных растений, оформление коллекций // Гидрботаника: методология, методы: Материалы школы по гидрботанике – Рыбинск. – 2003. – С. 49-55.
- 14 Соловьева В.В., Лапиров А.Г. Гидрботаника: учебник для высших учебных заведений. – Самара : ПГСГА, 2013. – 354 с.
- 15 Байтенов М.С. Флора Казахстана. – Алматы: Ғылым, 2001. – Т. 1-2.
- 16 Флора Казахстана. – Алма-Ата, 1956. Т.1 – 354 с.; 1958. Т.2 – 292 с.; 1960. Т.3 – 460 с.; 1961. Т.4 – 548 с.; 1961. Т.5 – 515 с.; 1963. Т.6 – 465 с.; 1964. Т.7 – 497 с.; 1965. Т.8 – 447 с.; 1966. Т.9 – 640 с.
- 17 Определитель растений Средней Азии.; под редакц. Ковалевской С.С. Том 1. – Ташкент: Изд. «Фан» УзбССР, 1968. – 225 с.
- 18 Голоскоков В.П. Иллюстрированный определитель растений Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1969-1972. – Т.1-2.
- 19 Иванов В.В. Определитель некоторых водных высших растений флоры Северного Прикаспия / мат. по флоре и раст. Сев. Прикаспия. – 1974. – №4 (1). – С. 2 – 55.
- 20 Plants of the World Online | Kew Science <https://powo.science.kew.org/>
- 21 Weiwei J., Nan Y., Henglin X. Comparison of plant diversity and community assembly between drawdown zone of Three Gorges Reservoir and its southwest reservoir area // Нуро Кехуе. J. Lake Sci. – 2023. – Vol. 35. – P. 564-576. <https://doi.org/10.18307/2023.0214>.
- 22 Sofronova E.V., Sofronov A.P. True bugs (Heteroptera) of relict elm groves in the lower reaches of the Selenga River (Republic of Buryatia) // Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta, Biologiya. – 2018 – Vol. 43. – P.159-173. doi: 10.17223/19988591/43/8.
- 23 Свириденко Б.Ф. Флора и растительность водоемов Северного Казахстан // Омский педагогический ун-т, Омск, 1997. – 324 с.
- 24 Папченков, В.Г. О классификации макрофитов водоемов и водной растительности // Экология. –1985. – № 6. – С. 8 -13.
- 25 Bakker J.D. Increasing the utility of Indicator Species Analysis // J. Appl. Ecol. – 2008. – Vol. 45. – P. 1829–1835. doi: 10.1111/j.1365-2664.2008.01571.x.
- 26 Жумангалиева З.М. Озерный фонд Казахстана: автореф. ... канд. биол. наук: ВАК РФ 25.00.27. – 2014. – 159 с.
- 27 Madsen J. D., Ryan M. W., Melanie T., Patrick D. G. The Distribution and Abundance of Aquatic Macrophytes in Swan Lake and Middle Lake, Minnesota // Journal of Freshwater Ecology. – Vol.20062, No 3. – P. 421-429. doi: 10.1080/02705060.2006.9665019.
- 28 Sorokin D.Y., Banciu H.L., Muyzer G. Functional microbiology of soda lakes // Current Opinion in Microbiology. – 2015. –Vol.25. – P.88-96.
- 29 Namsarev B.B., Barhutov D.D. The soda lakes of Transbaikalia is a unique ecosystem // Bulletin of the Buryat State University Biology, Geography. – 2018. – Vol. 1. – P. 82-86. doi: 10.18101/2587-7143-2018-1-82-86.

- 30 Zarubina E. Y., Durnikin D.A. Flora of salt lakes of the Kulundy plain (South of Western Siberia) // *Siberian Environmental Journal*. – 2001. – Vol.2. – P. 341-351.
- 31 Boros E., Horváth Z., Wolfram G., Vörös L. Salinity and ionic composition of the shallow astatic soda pans in the Carpathian Basin // *International Journal of Limnology*. – 2014 – Vol.50, No.1. – P. 59–69.
- 32 Boros E., Jurecska L., Tatár E., Vörös L., Kolpakova M. Chemical composition and trophic state of shallow saline steppe lakes in central Asia (North Kazakhstan) // *Environmental Monitoring and Assessment*. – 2017. – Vol. 189. – 546 p. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6242-6> PMID: 28990123.
- 33 Sorokin D. Yu., Gorlenk V.M., Namsaraev B.B., Namsaraev Z.B., Lysenko A.M., Eshinimaev B.Ts., Khmelenina V.N., Trotsenko Yu.A., Kuenen J.G. Prokaryotic communities of the north-eastern Mongolian soda lake // *Hydrobiologia*. – 2004. –Vol. 552. – P. 235-248.
- 34 Banda J.F., Lu Ya., Hao Ch., Pei L., Du Z., Zhang Yi, Wei P., Dong H. The effects of salinity and pH on microbial community Diversity and Distribution Pattern in the Brines of Soda Lakes in Badain Jaran Desert, China // *Taylor Francis online*. – 2019. – P. 1-12. doi.org/10.1080/01490451.2019.1654568.
- 35 Boros E, Kolpakova M. A review of the defining chemical properties of soda lakes and pans: An assessment on a large geographic scale of Eurasian inland saline surface waters // *Plos one*. – 2018. – 20 p. doi.org/10.1371/journal.pone.0202205.
- 36 Посохов Е.В. Соляные озера Казахстана. – Академия наук ССР: Москва, 1955. – 188 с.
- 37 Бурлибаева М.Ж., Курочкиной Л.Я., Кащеева В.А., Ерохова С.Н., Иващенко А.А. Глобально-значимые водно-болотные угодья Казахстана (Алаколь-Сасыккольская система озера). – Астана, 2007. – 271 с.
- 38 Об утверждении Программы «Обеспечение устойчивого развития Балхаш-Алакольского бассейна на 2007-2009 годы // Постановление Правительства Республики Казахстан от 2 марта 2007 года № 163.
- 39 Shen B., Wu J., Zhan S., Jin M., Saparov A.S., Abuduwaili J. Spatial variations and controls on the hydrochemistry of surface waters across the Ili-Balkhash Basin, arid Central Asia // *Journal of Hydrology*. – 2021. – Vol. 600. – 126565p. [doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.126565](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126565).
- 40 Mischke S., Zhang C., Plessen B. Lake Balkhash (Kazakhstan): Recent human impact and natural variability in the last 2900 years // *Journal of Great Lakes Research*. – 2020. – Vol 46, No 2. – P. 267 – 276.
- 41 Беремжанов Б.А., Снегирева Н.Е. Метаморфизация воды Сасык – Алакольского бассейна // *Химия и химическая технология*. Алма - Ата, 1964. – Т.2 – С. 32 – 40.
- 42 Беремжанов Б.А., Снегирева Н.Е. Химическая характеристика озера Алаколь // *Химия и химическая технология*. Алма - Ата, 1963. – Т.1 – 256 с.
- 43 Seitova G., Soltanova D., Kasseinova G., Muratbek N., Butenova A. Study of the Ecological State of Lake Alakol in Zhetysu region // *Web of Conferences*. – 2023. – Vol. 390. – 402 p. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339004020>.

- 44 Agybetova R., Zhakupov A., Berdenov Z., Abishov N., Ylemessov A., Gizzatshanova A. Assessment of recreational suitability of lake Alakol in the Republic of Kazakhstan on hydrological indicators // *Geojournal of Tourism and Geosites*. – 2023. – Vol. 46, No 1. – P. 118-123. <https://doi.org/10.3390/d14010011>.
- 45 Кузьмичев А.И. Гидрофильные растения России и сопредельных государств. – Рыбинск, 2002. – 267 с.
- 46 The Convention on Wetlands of International Importance, especially as Waterfowl Habitat // *Ramsar (Iran)*, 1971. – Vol. 996, No 14583. – 245 p.
- 47 Нестерова С.Г. Мухитдинов Н.М., Инелова З.А. Сохранение биоразнообразия растений водно-болотных угодий р. Иле (в пределах Казахстана) // Международной научно-практической конференции «Сохранение и устойчивое использование экосистем водно-болотных угодий». – 2011. – С. 112 – 120.
- 48 Садчиков А. П., Кудряшов М. А. Гидробиотика. Прибрежно - водная растительность: Уч. пособие Для студ. Высш. Учебн. Заведений / Садчиков А. П., М. А. Кудряшов. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 240 с. ISBN 5 – 7695- 2244 – 5.
- 49 Папченков В.Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. Ярославль: ЦМП МУБиНТ, 2001. – 214 с
- 50 Oyedeji A.A., Abowei J.F.N. The Classification, Distribution, Control and Economic Importance of Aquatic Plants // *International Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. – 2012. – Vol.1, No 2. – P.118-128.
- 51 Катанская В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. - Л, 1981. – 187с.
- 52 Schaumburg J., Schranz C., Foerster J., Gutowski A., Hofmann G., Meilinger P., Schneider S., Schmedtje U. Ecological classification of macrophytes and phytobenthos for rivers in Germany according to the Water Framework Directive // *Limnology*. – 2004. – Vol. 34. – P.283–301. [https://doi.org/10.1016/S0075-9511\(04\)80002-1](https://doi.org/10.1016/S0075-9511(04)80002-1).
- 53 Шадрина Н.В. Флора водоемов Западно-Казахстанской степной провинции: автореф... дис.. канд. биол. наук Текст. / Н. В. Шадрина. Казахстан, Алматы, 2007. – 122 с.
- 54 Squires M.M., Lesack L.F.W, Huebert D. The influence of water transparency on the distribution and abundance of macrophytes among lakes of the Mackenzie Delta, Western Canadian Arctic // *Freshwater Biol.* 2002. – Vol. 47. – P. 2123- 2135.
- 55 Хахинов В.В., Намсараев Б.Б., Абидуева Е.Ю., Данилова Э.В. Гидрохимия экстремальных водных систем с основами гидробиологии: учеб. пособие / В.В. Хахинов, Б.Б. Намсараев, Е.Ю. Абидуева, Э.В. Данилова. – УланУдэ: Издательство Бурятского государственного университета, 2007. – 148 с. ISBN 978-5-9793-0019-1.
- 56 Доброхотова К.В., Ролдугин И.И., Доброхотова О.В. Водные растения. – Алма-ата:Кайнар, 1982. – 192 с.
- 57 Кокин К.А. Экология высших водных растений. – М., изд-во МГУ, 1982. – 324 с.

- 58 White P.J., Brown P. H. Plant nutrition for sustainable development and global health // *Annals of Botany*. – 2010. – Vol.105, No.7. – P.1073–1080.
- 59 Vestergaard O., Sand-Jensen, K. Aquatic macrophyte richness in Danish lakes in relation to alkalinity, transparency, and lake area // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 2000. – Vol. 57. – P. 2022–2031.
- 60 Riis T., Sand-Jensen K., Vestergaard O. Plant communities in lowland Danish streams: species composition and environmental factors // *Aquat. Bot.* – 2000. – Vol. 66. – P. 255 – 272.
- 61 Freedman B., Paresh L. P. Environmental influences on aquatic plants in freshwater ecosystems // *Environmental Reviews*. – 2006. – Vol.14, No 2. – P. 89-136. doi:10.1139/A06-001.
- 62 Hilton B.Y.J., Phillips G.L. The effect of boat activity on turbidity in a shallow broadland river // *J Appl Ecol.* – 1982. – Vol. 19. – P.143–150.
- 63 Lou J., Ridd P. V. Modelling of suspended sediment transport in coastal areas under waves and currents // *Estuar Coast Shelf Sci.* – 1997. – Vol. 45. – P. 1–16.
- 64 Olesen B. Regulation of light attenuation and eelgrass *Zostera marina* depth distribution in a Danish embayment // *Mar Ecol Prog Ser.* – 1996. – Vol.134. – P.187–194.
- 65 Benoy G.A., Kalff J. Sediment accumulation and Pb burdens in submerged macrophyte beds // *Limnol Oceanogr.* – 1999. – Vol.44, No 4. – P.1081–90.
- 66 Boros E., Balogh K.V., Vörös L., Horváth Z. Multiple extreme environmental conditions of intermittent soda pans in the Carpathian Basin (Central Europe) // *Limnologica.* – 2017. – Vol. 62. – P. 38-46 <https://doi.org/10.1016/j.limno.2016.10.003>.
- 67 Margaret A. Brock' & J. A. K. Lane The aquatic macrophyte flora of saline wetlands in Western Australia in relation to salinity and permanence // *Hydrobiologia.* – 1983. – Vol. 105. – P. 63 -76.
- 68 Hussain K., Majeed A., Nawaz K., Khizar H.B., Nisar, M.F. Effect of different levels of salinity on growth and ion contents of black seeds (*Nigella sativa* L.) // *Curr. Res. J. Biol. Sci.* – 2009. – Vol.1. – P.135–138.
- 69 Santos T.B., Ribas A.F., de Souza S.G.H., Budzinski I.G.F., Domingues D.S. Physiological Responses to Drought, Salinity, and Heat Stress in Plants: A Review // *Stresses.* – 2022. – Vol. 2, No 1. – P. 113-135. <https://doi.org/10.3390/stresses2010009>
- 70 Zhang M., Kimatu J.N., Xu K., Liu B. DNA cytosine methylation in plant development. // *J. Genet. Genomics.* – 2010. – Vol. 37. – P.1–12. [https://doi.org/10.1016/S1673-8527\(09\)60020-5](https://doi.org/10.1016/S1673-8527(09)60020-5)
- 71 Li R., Shi F., Fukuda K., Yang, Y. Effects of salt and alkali stresses on germination, growth, photosynthesis and ion accumulation in alfalfa (*Medicago sativa* L.) // *Soil Sci. Plant Nutr.* – 2010. – Vol. 56. – P.725–733.
- 72 Haris Saslis-Lagoudakis C., Hua X., Bui E., Moray C., Bromham L. Predicting species' tolerance to salinity and alkalinity using distribution data and geochemical modelling: a case study using Australian grasses // *Annals of Botany.* – 2014. – P. 1 -9. doi:10.1093/aob/mcu248.

- 73 Cheng X., Zhu H., Bañuelos G., Yan B., Shutes B., Liang Y., Chen X. Saline-alkaline tolerance of hygrophilous plant species during their asexual propagation and continued growth stages // *S. Afr. J. Bot.* – 2018. – Vol. 118. – P.129–137.
- 74 Larcher W. *Physiological Plant Ecology*, 4th ed.; Springer-Verlag: Heidelberg/Berlin, Germany, 2003. – 513 p. doi:10.1093/aob/mch084.
- 75 Koyro H.W. Effect of salinity of growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.) // *Environ. Exp. Bot.* – 2006. – Vol. 56. – P. 136–146.
- 76 Taia W.K.,. Wide Scene on Halophytes // *International Journal of Contemporary Research and Review.* – 2020. – Vol.11. – P. 20219-20232. <https://doi.org/10.15520/ijcrr.v11i01.777020>.
- 77 Acosta-Motos J.R., Diaz-Vivancos P., Álvarez S., Fernández-García N., Sánchez-Blanco M.J., Hernández J.A. NaCl induced physiological and biochemical adaptative mechanism in the ornamental *Myrtus cummunis* L. plants // *J. Plant Physiol.* – 2015. – Vol. 183. – P. 41–514.
- 78 Yang C.W., Wang P., Li C.Y., Shi D.C., Wang D.L. Comparison of effects of salt and alkali stresses on the growth and photosynthesis of wheat // *Photosynthetica.* – 2008. – Vol. 46, No 1. – P.107-114.
- 79 Farag I., Al-Zahrani A., Mosa A. Physiological adaptation of three wild halophytic *Suaeda* species: salt tolerance strategies and metal accumulation capacity // *Plants.* – 2022. – Vol. 11. – 537 p. <https://doi.org/10.3390/plants11040537>.
- 80 Vignatti A.M., Cabrera G.C., Canosa M., Echaniz S.A. Environmental and zooplankton parameter changes during the drying of a saline shallow temporary lake in central Argentina // *Univ. Sci.* – 2017. – Vol. 22, No. 3. – P.177-200. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC22-2.eazp>.
- 81 Duo L., Ma Y., Rui M., Lv X., Chen R., Chen X., Wang Y. Is high ph the key factor of alkali stress on plant growth and physiology? A case study with wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings // *Agronomy.* – 2022. – Vol.12, No. 8. – 1820 p. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081820>.
- 82 Guo Y., Liu Y., Zhang Y. Effects of Exogenous Calcium on Adaptive Growth, Photosynthesis, Ion Homeostasis and Phenolics of *Gleditsia sinensis* Lam. Plants under Salt Stress // *Agriculture.* – 2021. – Vol.11. – 978 p. <https://doi.org/10.3390/agriculture11100978>.
- 83 Yang J.Y., Zheng W., Tian Y. Effects of various mixed salt-alkaline stresses on growth, photosynthesis, and photosynthetic pigment concentrations of *Medicago ruthenica* seedlings // *Photosynthetica.* – 2011. – Vol. 49. – P. 275–284.
- 84 Chaves M.M., Flexas J., Pinheiro C. Photosynthesis under drought and salt stress: Regulation mechanisms from whole plant to cell // *Ann. Bot.* – 2009. – Vol.103. – P. 551–560.
- 85 Rengasamy P., Olsson K.A. Irrigation and sodicity // *Aust. J. Soil Res.* – 1993. – Vol. 31. – P. 821–837.
- 86 Mazher A., Fatma A.M, El-Quesni, E.M.; Farahat, M.M. Responses of ornamental plants and woody trees to salinity // *World J. Agric. Sci.* – 2007. – Vol.3. – P.386–395.

- 87 Munns R. Genes and salt tolerance: Bringing them together // *New Phytol.* – 2005. – Vol. 167. – P. 645–663.
- 88 Xiaoyu L.I., Liu J., Zhang Y. Physiological responses and adaptive strategies of wheat seedlings to salt and alkali stresses // *Soil Sci. Plant Nutr.* – 2009. – Vol. 55. – P.680–684.
- 89 Assaha D.V., Ueda A., Saneoka H., Al-Yahyai R., Yaish M.W. The Role of Na⁺ and K⁺ Transporters in Salt Stress Adaptation in Glycophytes // *Front. Physiol.* – 2017. – Vol. 8. – 509 p.
- 90 Bing-Sheng L., Xiao-Wei L., Hong-Yuan M. Differences in Growth and Physiology of Rice in Response to Different Saline-Alkaline Stress Factors // *Agron. J.* – 2013. – Vol.105. – 1889 p. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0017>.
- 91 Liu J., Guo W.Q., Shi D.C. Seed germination, seedling survival, and physiological response of sunflowers under saline and alkaline conditions // *Photosynthetica.* – 2010. – Vol.48. – P.278–286.
- 92 Inelova Z., Zayadan B., Zapparina Ye., Aitzhan M., Boros E. Perspectives for the application of aquatic and semi-aquatic plants in biomonitoring of freshwater, saline and soda aquatic ecosystems // *Pak. J. Bot.* – 2022. – Vol.55, No.3 –P. 1099-1115. [http://dx.doi.org/10.30848/PJB2023-3\(33\)](http://dx.doi.org/10.30848/PJB2023-3(33)).
- 93 Мусина У.Ш., Казова Р.А., Потапенко С.А., Мусина С.В. Живая технология очистки водных экосистем коксускими шунгитами и фитосорбентами // *Вестник КазНТУ.* – 2014. – №3 (103). – С. 3-6.
- 94 Киприянова Л.М. Водная и прибрежно-водная растительность юго-востока Западной Сибири: синтаксономия и эколого-географические закономерности распространения: дис. на соиск. уч. степени: ВАК РФ03.02.01. – 2020. – 429 с.
- 95 Samkaram U.K., Philip S. Heavy metal uptake and accumulation by *Thypha angustifolia* from wetlands around thermal power station // *Int. J. Ecol. and Environ. Sci.* – 1990. – Vol.16, No.2. – 287 p.
- 96 Крот Ю.Г. Использование высших водных растений в биотехнологиях очистки поверхностных и сточных вод // *Гидробиол. журнал.* – 2006. – Т. 42. – № 1. – С. 47-58.
- 97 Casabianca M.-L., Laugier T. *Eichhornia crassipes* production on petroliferous wastewaters: Effects of salinity // *Bioresource Technology.* – 1995. – Vol. 54. – P.39-43.
- 98 Кириченко, К.А. Содержание незаменимых жирных кислот в тканях высших водных растений как важного звена трофических цепей наземных водоемов/ К.А. Кириченко, И.В. Любушкина, Т.П. Побежимова, Н.А. Соколова // *Материалы международной научной конференции, г. Минск. ГНУ «Центральный ботанический сад Академии наук Беларуси», 2013.- С. 110 – 111.*
- 99 Cheng R., Zhu H., Cheng X., Shutes B. and Yan B. Article Saline and Alkaline Tolerance of Wetland Plants—What are the Most Representative Evaluation Indicators? // *Sustainability.* – 2020. – Vol.12. –1913 p. doi:10.3390/su12051913

- 100 Мелихова О.П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. – М. Издательский центр «Академия», 2007. – 228 с.
- 101 Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Экология прибрежно-водной растительности: учебное пособие для студентов вузов. – М.: Изд-во НИИ-Природа, РЭФИА, 2004. – 220 с.
- 102 Винокурова Н.В. Макрофиты пресных вод как объект биомониторинга полихлорированных бифенилов: на примере реки Урал в районе Оренбурга: дис.на соиск.уч.степени специальность ВАК РФ03.02.08. – 2015. – 211 с.
- 103 Flowers T. J., Colmer T. D. Salinity tolerance in halophytes // *New Phytol.* – 2008. – Vol.179. – P. 945–963. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02531.x>.
- 104 Lee S. H., Lee J. S., Kim J. W. Relationship between halophyte distribution and soil environmental factors in the west coast of South Korea // *J. Ecol. Environ.* – 2018. – Vol.42, No.2. – 1256 p. <http://dx.doi.org/10.1186/s41610-017-0062-z>.
- 105 Piernik A. Inland halophilous vegetation as indicator of soil salinity // *Basic Appl. Ecol.* – 2003. – 4. – P.525–536. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00154>.
- 106 Issanova G.T., Abuduwaili J., Mamutov Zh.U., Kaldybaev A.A., Saparov G.A., Bazarbaeva T.A. Saline Soils and Identification of Salt Accumulation Provinces in Kazakhstan // *Arid Ecosystems.*–2017.–Vol.7.–P.243–250. <http://dx.doi.org/10.1134/S2079096117040035>
- 107 Акжигитова Н.И. Растительность засоленных почв Средней Азии, её индикационные свойства и рациональное использование: автореф. дисс. доктора биол. наук. Ташкент, 1982. – 41 с.
- 108 Akzhygitova N.I., Breckle S.-W., Winkler G., Volkova E.A., Wucherer W., Kurochkina L., Makulbekova G.B., Ogar N.P., Rachkovskaya E.I., Safronova I.N., Khramtsov V.N. Botanical geography of Kazakhstan and Middle Asia (desert region). – Stb. Edit., 2003. – 424 p.
- 109 Beisenova R., Rakhymzhan Zh., Tazitdinova R., Auyelbekova A., Khussainov M. Comparative Characteristics of Germination of Some Halophyte Plants in Saline Soils of Pavlodar Region // *Journal of Environmental Management and Tourism.* – 2020. – Vol. 5, No. 45. – P.1132 – 1142. doi:10.14505/jemt.v11.5(45).11.
- 110 Breckle S. -W., Wucherer W., Halophytes and Salt Desertification in the Aralkum Area. – *Aralkum – a Man-Made Deser*, 2012. – P. 271-299. DOI:10.1007/978-3-642-21117-1_12
- 111 Boros E., Ecsedi Z., Oláh J. Ecology and management of soda pans in the Carpathian Basin. - Hortobágy Environmental Association, 2013. – 551 p.– ISBN 978-963-08-9471-5
- 112 Riezing N., Taxa of vascular plants endemic to the pannonicum floristic region // *Acta Bot Hung.* 2023. – Vol. 65. – P.133–207. <https://doi.org/10.1556/034.65.2023.1-2.8>.
- 113 Borhidi A. Magyarország növénytársulásai, 2003. – 487 p. ISBN: 9789630579834.

- 114 Bodrogközy Gy. Ecology of the halophilic vegetation of the Pannonicum. III. Results of the solonetz of Orosháza // *Acta Biol. Szeged.* – 1965a. – Vol. 11. – P. 3-25.
- 115 Bodrogközy Gy. Ecology of the halophilic vegetation of the Pannonicum. IV. Investigations on the solonetz meadow soils of Orosháza // *Acta Biol. Szeged.* – 1965b. – Vol.11. – P. 208-227.
- 116 Bodrogközy Gy. Ecology of the halophilic vegetation of the Pannonicum. V. Results of the Investigation of the “Fehértó” of Orosháza // *Acta Bot. Hung.* – 1966. – Vol.12. – P. 9-26.
- 117 Bodrogközy Gy. Ecology of the halophilic vegetation of the Pannonicum. VI. Effect of the soil-ecological factors on the vegetation of the reserve of lake Dongér at Pusztaszer // *Acta Biol. Szeged.* – 1970a. – Vol.16. – P. 21–41.
- 118 Bodrogközy Gy. Ecology of the halophilic vegetation of the Pannonicum. VII.. Zonation study along the Bega-backwaters in the Voivodina (Yugoslavia) // *Acta Biol. Szeged.* – 1970b. – Vol.16. – P. 25–41.
- 119 Bagi I. The vegetation map of the Kisapaj UNESCO Biosphere Reserve Core Area, Kiskunság National Park, Hungary // *Acta Biol. Szeged.* – 1986. – Vol. 33. – P. 63–74.
- 120 Bagi I. The vegetation map of the Szivós-szék UNESCO Biosphere Reserve Core Area, Kiskunság National Park, Hungary // *Acta Biol. Szeged.* 1988. – Vol.34. – P. 83–95.
- 121 Bagi I. The vegetation map of the Szappan-szék UNESCO Biosphere Reserve Core Area, Kiskunság National Park, Hungary // *Acta Biol. Szeged.* – 1990. – Vol. 36. – P. 27–42.
- 122 Bagi and Molnár Á-NÉR database, 2011. <https://novenyzetiterkep.hu/node/366>
- 123 Guisan A, Thuiller W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models // *Ecol Lett.* – 2005. – Vol.8. – P. 993–1009. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x>.
- 124 Warren D.L., Glor. R.E., Turelli M. Environmental niche equivalency versus conservatism: quantitative approaches to niche evolution // *Evolution.* – 2008. – Vol. 62. – P. 2868–2883. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2008.00482.x>
- 125 Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод / под ред.В.А. Абакумова. – 1992, URI <http://libarch.nmu.org.ua/handle/GenofondUA/66795>.
- 126 Физическая география Казахстана / Е.Н. Вилесов, А.А. Науменко, Л.К. Веселова, Б.Ж. Аубекеров; под общ. Редакцией А.А. Науменко: учебное пособие. – Алматы: Қазақ университеті, 2009. – 362с.
- 127 <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2200000887> (дата обращения 15.11.2022).
- 128 <https://regions.vlast.kz/zhetysu> (дата обращения 23.11.2022).
- 129 Искакова К.А., Жакупова А.А., Ақтымбаева А.С., Абдреева Ш.Т., Айжолова Г.Р. Современное состояние рекреационного потенциала Алакольского бассейна // *Вестник КазНУ. Сер. экологическая.* – Алматы: Казак, ун-Ті., 2013. – №2/1 (38). – С. 60-64.

- 130 Алимкулов С.К., Мырзахметов А.Б., Кулебаев К.М., Турсунова А.А., Баспакова Г.Р., Исакан Г. Морфометрические характеристики оз. Балкаш // Материалы Международной научно-практической конференции «Водные ресурсы, инновация, ресурсо- и энергосбережения» (6-7 октября 2023 года), г.Душанбе, Республика Таджикистан, 2023.– С.203-209.
- 131 Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана. Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. – 2022. – 75 с.
- 132 Проблемы гидроэкологической устойчивости в бассейне озера Балхаш. / Под ред. Самаковой А.Б. – Алматы, «Каганат», 2003. – 584 с.
- 133 Zaparina Ye., Inelova Z., Boros E., Shimshikov B. Soils state analysis in the semi-aquatic zone of saline and soda lakes in Zhetysu (by the example of lake Alakol, Sasykkol, Zhalanashkol, Balkhash and Ushkol) // Vestnik KazNU. –2023.– Vol.3, No. 76. – P.41-53.
- 134 Константинов В.В., Суппес Н.Е. Влияние засоленности почв на рост и развитие злаковых растений // Материалы международной научно-практической конференции «Козыбаевские чтения - Новые подходы и современные взгляды на развитие образования и науки». – 2021 – С. 68-73.
- 135 Ковда В.А. Проблемы опустынивания и засоления почв в засушливых территориях мира. – М.: Наука, 2008. – 415 с.
- 136 Сатлыгулыева Г. Причины засоления почвы и меры по сдерживанию процесса // Вестник науки. – 2023. – №4 (61). – С. 337-340.
- 137 Мухаметкаримов К.М., Кенжегулова С.О. Морфогенетическая характеристика, химические и физикохимические свойства почв северо-Прибалхашской провинции пустынный зоны казахстана // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – №1. – С. 16-28.
- 138 Почвы Казахской ССР. Вып. 4 Алма-Атинская область. – Алма-Ата, 1962. – С.234 – 347.
- 139 Сарсембенова О.Ж. Бакирова Л.С., Толеукадыров Е., Изгутенова Е.А., Макеева Н.В. Алаколь-Сасыккольская система озер // Научный альманах. – 2016. – №. 11(2). – С. 221-225. <https://doi:10.17117/na.2016.11.02.221>
- 140 Амиргалиев Н.А., Лопарева Т.Я., Гоголь Л.Я., Канагатова Ш.К. Гидрохимический режим озер Алакольской впадины // Гидрология и экология. – 2003. – №4. – С.102-114.
- 141 Филонец П.П. Очерки по географии внутренних вод Центрального, Южного и Восточного Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1981. – 186 с.
- 142 Романова С.М. Бессточные водоемы Казахстана. – 2008. - Том 1. – С.1–11
- 143 Березовиков Н.Н. Физико-географическая характеристика АлакольСасыккольской системы озер //Тр. Алакольского государственного природного заповедника. Т. 1. – Алматы: Мектеп, 2004. – С.89-109
- 144 Бурлибаев М.Ж., Волчек А.А., Бурлибаева Д.М. Колебания уровня воды озера Балкаш в условиях изменяющегося климата // Гидрометеорология и экология. – 2017. – № 2. – С. 46 – 65.

- 145 Мальковский И.М. Географические основы водообеспечения природно-хозяйственных систем Казахстана // Гидрометеорология и экология.– 2008. – 203 с.
- 146 Запарина Е.Г., Айтжан М.У., Тулебаева А. Р., Инелова З.А. Анализ семейства Asteraceae Dumort. флоры территории Алакольского заповедника // Материалы международной научно-практической конференция молодых ученых (25 -27 сентября, 2024 г.). –2024. – С. 26 -27.
- 147 Мильков Ф.Н. Общее землеведение: Учеб.для студ. географ. спец. вузов. – М.: Высш.шк. – 1990. – 335 с.
- 148 Алексеев Ю.Е. Морфолого-географический метод в систематике растений и его индуктивная основа // Тезисы докл. 6-го делегат, съезда Всесоюз. бот. о-ва. Кишинёв.– Наука Ленинград, 1978 – Т. 12. – С. 296–297.
- 149 Околелова А.А., Стяжин В.Н., Касьянова А.С. Оценка продуктивности почв с помощью регрессионного анализа // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3 – С. 328-332.
- 150 Лопатовская О. Г. Мелиорация почв. Засоленные почвы: учеб. пособие /. О.Г. Лопатовская, А.А. Сугаченко. – Иркутск:изд-во Иркут. гос.ун-та, 2010. – 123 с.
- 151 Базилевич И.Н., Панкова Е.И. Опыт классификации почв по засолению // Почвоведение. – 1968. – №11. – С. 3-16.
- 152 Прожорина Т.И. Затулей Е.Д. Химический анализ почв // Лабораторный практикум. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. – 32 с.
- 153 Мотузова Г. В., Карпова Е. А., Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия. – М: МГУ, 2013. – 304 с.
- 154 Белавская А. П. К методике изучения водной растительности. // Бот. журнал. – 1979. –Т. 64, № 1. – С. 32 – 41.
- 155 С.А. Абдулина Список сосудистых растений Казахстана / под ред. Р.В. Камелина – Алматы, 1998. – 187 с.
- 156 Тахтаджян А.Л. Система магнолиофитов. – Л.: Наука,1987. – 439 с.
- 157 Черепанов С.К. Сосудистые растения СССР. – Л.: Наука, 1981. – 509 с.
- 158 Ильин М.М. Растительное Сырье СССР. – Л.:АН СССР, 1950-1957. – Т1,2.
- 159 Иващенко А.А., Курагулова Ж.К., Курочкина Л.Я. и др. Растительный мир // Глобально-значимые уголья Казахстана (Алаколь-Сасыккольская система озер). – Астана, 2007. – Т.3. – С.126-135
- 160 Павлов Н.В. Растительное сырье Казахстана. – М - Л.: Изд-во АН СССР, 1947 – 550 с.
- 161 Гемеджиева Н.Г., Грудзинская Л.М., Каржаубекова Ж.Ж., Лесова Ж.Т., Бекетаев Б.Б. Анализ видового разнообразия и изученности полезных растений прибалхашья // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 1. – С. 66-70
- 162 Белов Д.А. Показатели оценки биологического разнообразия ратсительнойдных членистоногих на урбанизированных территориях и методы их определения. Лесной вестник. – 2010. – №.7. – С. 24 – 30.

- 163 Alkhayat F.A., Ahmad A.H., Rahim J., Imran M., Sheikh U.A. Distribution and diversity of aquatic insects in different water bodies of Qatar // *Braz J Biol.* –2022. – Vol.16, No. 84. – 255950 p. <https://doi.org/10.26577/eb.2022.v91.i2.02>.
- 164 Hammer Ø., Harper D. A., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia Electronica.* – 2001. – Т. 4. – №. 1. – С. 9 – 12.
- 165 Гришанов Г.В., Гришанова Ю.Н. Методы изучения и оценки биологического разнообразия: учебное пособие. – Российский ун-т. им. И. Канта, Калининград, 2010. – 58 с.
- 166 Ahmad W.S., Rameez A., Ruquia G., Irfan R., Ahmad Kh.A. Alien flora causes biotic homogenization in the biodiversity hotspot regions of India // *Sci Total Environ.* – 2023. – Vol. 1, 884:163856. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163856>
- 167 Серебряков И.Г. Экологические группы и жизненные формы растений. Ботаника (Анатомия и морфология растений). – М,1978. – С. 431– 436.
- 168 Raunkier C. The life forms of plants and statistical plant geography. – Oxford: Clarendon press, 1934. – 632 p.
- 169 Быков Б.А. Доминанты растительного покрова Советского Союза. Академия Наук КазССР. – Алма-Ата, 1960 – Т.1. – 316 с.
- 170 Быков Б.А. Доминанты растительного покрова Советского Союза. – Наука: Алма-Ата, 1965. –Т.3. – 462 с.
- 171 Кубанская З.В. Солянковыи пустыни Казахстана. - Алма-Ата: Наука, 1980. – 427 с.
- 172 Chiarucci A., Vacaro G., Scheine S.M. Old and new challenges in using species diversity for assessing biodiversity // *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* – 2011. –Vol.27; No.366. – P.2426-2437. doi: 10.1098/rstb.2011.0065. PMID: 21768157; PMCID: PMC3130435.
- 173 Xin P., Gibbes B., Li L., Song Zh., Lockington D. Soil saturation index of salt marshes subjected to spring-neap tides: a new variable for describing marsh soil aeration condition // *Hydrol. Process.* – 2010. – Vol. 24. – P. 2564–2577. <https://doi.org/10.1002/hyp.7670>.
- 174 Peña J., Buil B., Garralón A., Gómez P., Turrero M.J., Escribano A., Garralón G., Gómez M.A. The vaterite saturation index can be used as a proxy of the S&DSI in sea water desalination by reverse osmosis process // *Desalination.* – 2010. – Vol. 254. – P. 75-79. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.12.011>.
- 175 Wolters M., Garbutt A., Bakker Jan P. Salt-marsh restoration: Evaluating the success of de-embankments in northwest Europe // *Biol Conserv.* – 2005. – Vol.123. –P.249–268. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.11.013>.
- 176 Amatulli G., Domisch S., Tuanmu M.-N., Parmentier B., Ranipeta A., Malczyk J., Jetz W. A suite of global, cross-scale topographic variables for environmental and biodiversity modelling // *Scientific Data.* – 2018. – Vol. 5, No.180040.– P. 2154-2163. doi:10.1038/sdata.2018.40.
- 177 Lucazeau F. Analysis and mapping of an updated terrestrial heat flow dataset // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems.* – 2019. – Vol. 20. – P.4001– 4024.

- 178 Fick S.E., R.J. Hijmans WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. – 2017. – Vol.37, No.12. – P. 4302 – 4315. <https://doi.org/10.1029/2019GC008389>.
- 179 Linke S., Lehner B., Ouellet Dallaire C., Ariwi J., Grill G., Anand M., Beames P., Burchard-Levine V., Maxwell S., Moidu H., Tan F., Thieme M. Global hydro-environmental sub-basin and river reach characteristics at high spatial resolution // *Scientific Data*. – 2019 – Vol. 6, No. 283. – P. 1-15. DOI: 10.1038/s41597-019-0300-6.
- 180 FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC, Harmonized World Soil Database (version 1.1). – Laxenburg, Austria, 2009.
- 181 Лакин Г.Ф. Биометрия – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
- 182 Fortran In, Press W., Teukolsky S., Vetterling W., Flannery B.P. *Numerical Recipes*. –Cambridge University Press, 1992.
- 183 He B.-H., Tang R., Tagn Q.-Y. Identifying the best common factor model via exploratory factor analysis // *Applied Mathematics*. – 2024. – Vol. 39, No.1. –P. 24 – 33. DOI: 10.1007/s11766-024-3544-7.
- 184 Dimitrova D.S., Kaishev V.K., Tan S. Computing the Kolmogorov-Smirnov Distribution When the Underlying CDF is Purely Discrete, Mixed, or Continuous // *Journal of Statistical Software*. – 2020. – Vol. 95, No.10. – P.1–42. <https://doi.org/10.18637/jss.v095.i10>.
- 185 Сыдыкбекова Р.К., Мукашева Т.Д., Каргаева М.Т., Бержанова Р.Ж., Игнатова Л.В., Бражникова Е.В., Шимшиков Б.Е., Омирбекова А., Шигаева М.Х., Шерубаева Г., Абдуллаева Б. Численность бактерий в подзональных почвах равнинной территории Казахстана // *ҚазҰУ хабаршысы. Экология сериясы*. – 2011. – №3 (32). – С.19-24.
- 186 Почвы Алма-Атинской области / под ред. С.И. Соколова – Академия наук КазССР:Алма-Ата,1962. – Т.16. – 424 с.
- 187 Мелиорация почв. Засоленные почвы: учеб. пособие / О. Г. Лопатовская, А. А. Сугаченко. – Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. – 101 с.
- 188 Пивоварова Е.Г. Подвижные питательные вещества в почвах, их роль в почвообразовании и продуктивности агроценозов: дисс.. на соиск. уч. степени ВАК РФ 06.01.03, агропочвоведение и агрофизика, доктора сельскохозяйственных наук. – 2006. – 341 с.
- 189 Дурынина Е.П., Егоров В.С. Агрохимический анализ почв, растений, удобрений. – М: Изд-во МГУ, 1998. – 113 с.
- 190 Изучение и подбор солеустойчивых сельскохозяйственных культур для возделывания на засоленных почвах // *практическое руководство для фермеров*. – Центр обучения, консультации и инновации, Бишкек, 2018. – 214 с.
- 191 Лапиров А.Г. Экологические группы растений водоемов / *Гидробиология: методология, методы*. – Рыбинск: Рыбинский дом печати, 2003. – С.23-26.
- 192 Inelova Z., Zapparina Y., Mile O., Boros E. Large-scale assessment of characteristic plant species on eurasian saline and alkaline soda ecosystems // *Ecological Indicators*. – 2024. – Vol.166. – 112431 p.

- 193 Mile O., Walter J. The *Suaeda* Forskål ex Scop. (Chenopodiaceae) genus in Hungary // Flora Pannonica. – 2003. – Vol.1 – P. 29–43.
- 194 Mile, O., Mesterházy A., Macrophytes, in: Boros, E., Ecsedi, Z., Oláh, J. Ecology and management of soda pans in the Carpathian Basin // Hortobágy Environmental Association. – 2013. – P. 87-105.
- 195 Pätsch R., Midolo G., Ditě Z., Ditě D., Wagner V., Pavonič M., Danihelka J., Preislerová Z., Čuk M., Stroh H. G., Tóth T., Chytrá H., Chytrý M., Beyond salinity: Plants show divergent responses to soil ion composition. Global Ecology and Biogeography. – 2024. – Vol.33. – 13821 p. <https://doi.org/10.1111/geb.13821>.
- 196 Javid M., Nicolas M., Ford R. Current Knowledge in Physiological and Genetic Mechanisms Underpinning Tolerances. Alkaline and Saline Subsoil Constraints of Broad Acre Cropping in Dryland Regions / Abiotic Stress in Plants, 2014. – Vol.5. – P.193-201. <http://dx.doi.org/10.5772/23241>.
- 197 Jobbágy E., Tóth T., Noretto M.D., Earman S. On the Fundamental Causes of High Environmental Alkalinity ($\text{pH} \geq 9$): An Assessment of its Drivers and Global Distribution: Causes of High Environmental Alkalinity // Land Degrad Dev. – 2017. – 28. – P.1973-1981. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ldr.2718>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Список прибрежно - водных растений озера Алаколь, Сасыкколь, Жаланашколь

Сем. *Ephedraceae* Dumort.

1. *Ephedra distachya* L. - Эфедра двухколосковая

Сем. *Ranunculaceae* Juss.

2. *Adonis scrobiculata* (= *Adonis parviflora* Fisch. ex DC.) - Адонис (златоцвет) мелкоцветковый
3. *Clematis orientalis* L. - Ломонос восточный
4. *Clematis songorica* Bunge - Ломонос джунгарский
5. *Delphinium rugulosum* Boiss. - Живокость мелкощетилистая
6. *Halerpestes sarmentosa* (Adams) Kom. - Ползунок отпрысковый
7. *Ranunculus testiculatus* Crantz (= *Ceratocephala testiculata* (Crantz) Bess. - Рогоглавник яичкоплодный
8. *Ranunculus repens* L. - Лютик ползучий
9. *Thalictrum flavum* L. - Василистник желтый
10. *Thalictrum simplex* L. - Василистник простой

Сем. *Papaveraceae* Juss.

11. *Chelidonium majus* L. - Чистотел большой

Сем. *Fumariaceae* DC.

12. *Fumaria schleicheri* Soy. -Will. - Дымянка Шлейхера
13. *Fumaria vaillantii* Loisel. - Дымянка Вайана

Сем. *Caryophyllaceae* Juss.

14. *Arenaria leptoclados* (Rchb.) Guss. - Песчанка тонкоцветвистая
15. *Gypsophila paniculata* L. - Качим метельчатый
16. *Holosteum umbellatum* (M. Bieb.) Numan (= *Holosteum polygamum* C.Koch) - Костенец многобрачный

Сем. *Chenopodiaceae* Vent.

17. *Agriophyllum pungens* (Vahl) Link ex A. Dietr. (= *Agriophyllum arenarium* Bunge) - Кумарчик песчаный
18. *Anabasis aphylla* L. - Биюргун безлистный
19. *Anabasis elatior* (С.А.Мей.) Schischk. - Биюргун высокий
20. *Anabasis salsa* (Ledeb.) Benth. ex Volkens - Биюргун солончаковый
21. *Atriplex aucheri* Moq. - Лебеда Оше
22. *Atriplex cana* Ledeb. - Лебеда седая, кокпек
23. *Atriplex centralasiatica* Пjin. (= *Atriplex megalotheca* Popov) - Лебеда центральноазиатская
24. *Atriplex crassifolia* Ledeb. - Лебеда толстолистная
25. *Atriplex hastata* L. - Лебеда копьевидная
26. *Atriplex laevis* Ledeb. - Лебеда гладкая
27. *Atriplex littoralis* L. - Лебеда прибрежная
28. *Atriplex micrantha* Ledeb. - Лебеда мелкоцветковая
29. *Atriplex patens* (Litv.) Пjin - Лебеда отклоненная
30. *Atriplex sagittata* Borkh. (= *Atriplex nitens* Schkuhr.) - Лебеда лоснящаяся
31. *Atriplex tatarica* L. - Лебеда татарская
32. *Atriplex verrucifera* M. Bieb. - Лебеда бородавчатая
33. *Arthrophytum balchaschense* (Пjin) Botsch. (= *Anabasis pauciflora* М.Поп) - Биюргун малоцветковый
34. *Bassia eriophora* (Schrad.) Asch. (= *Londesia eriantha* Fisch. & С.А.Мей.) - Лондезия пушистоцветковая

35. *Bassia odontoptera* (Schrenk) Freitag & G. Kadereit (= *Kochia iranica*) - Кохия иранская
36. *Bassia prostrata* (L.) Beck (= *Kochia prostrata* (L.) Schrad.) - Кохия простертая, изень
37. *Camphorosma lessingii* Litv. - Камфоросма Лессинга
38. *Camphorosma monspeliaca* L. - Камфоросма марсельская
39. *Ceratocarpus arenarius* L. (= *Ceratocarpus utriculosus* Bluk.) - Рогач песчаный
40. *Chenopodium album* L. - Марь белая
41. *Climacoptera lanata* (Pall.) Botsch. - Климакоптера шерстистая
42. *Corispermum aralocaspicum* (= *Corispermum orientale* Lam.) - Верблюдка восточная
43. *Dysphania botrys* (L.) Mosyakin & Clemants (= *Chenopodium botrys* L.) - Марь душистая
44. *Halimocnemis karelinii* Moq. - Галимокнемис Карелина
45. *Halimocnemis longifolia* Bunge - Галимокнемис длиннолистный
46. *Halimocnemis villosa* Kar. & Kir. - Галимокнемис мохнатый
47. *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) M. Bieb. - Сарсазан шишковатый
48. *Halogeton glomeratus* (M. Bieb.) Ledeb. - Галогетон скученный
49. *Halostachys caspica* (M. Bieb.) C.A. Mey. (= *Halostachys belangeriana* (Moq.) Botsch.) - Карабарак каспийский
50. *Kalidium foliatum* (Pall.) Moq. - Поташник олиственный
51. *Kalidium schrenkianum* Bunge ex Ung.-Sternb. - Поташник Шренковский
52. *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst. - Терескен, крашенинниковия роговидная
53. *Oxybasis chenopodioides* (L.) S.Fuentes, Uotila & Borsch (= *Chenopodium chenopodioides* (L.) Aell.) - Марь толстолистная
54. *Oxybasis glauca* (L.) S. Fuentes, Uotila & Borsch (= *Chenopodium glaucum* L.) - Марь сизая
55. *Oxybasis rubra* (L.) S. Fuentes, Uotila & Borsch (= *Chenopodium rubrum* L.) - Марь красная
56. *Petrosimonia squarrosa* (Schrenk) Bunge - Петросимония растопыренная
57. *Petrosimonia sibirica* (Pall.) Bunge - Петросимония сибирская
58. *Polycnemum arvense* L. - Хрупявник полевой
59. *Salicornia europaea* L. - Солярос европейский
60. *Salsola arbuscula* Pall. - Солянка деревцевидная, боялыч
61. *Salsola australis* R. Br. - Солянка южная
62. *Salsola collina* Pall. - Солянка холмовая
63. *Salsola foliosa* (L.) Akhani - Солянка многолистная
64. *Salsola nitraria* Pall. - Солянка натронная
65. *Salsola dzhungaricum* (Pjij) Akhani & Roalson Pjij - Солянка джунгарская
66. *Salsola sclerantha* C.A. Mey. - Солянка жесткоцветковкая
67. *Salsola soda* L. - Солянка содовая
68. *Salsola rigida* Pall. - Солянка жесткая
69. *Salsola tamariscina* Pall. - Солянка тамарисковидная
70. *Suaeda acuminata* (C.A. Mey.) Moq. - Сведа заостренная
71. *Suaeda altissima* (L.) Pall. - Сведа высокая
72. *Suaeda corniculata* (C.A. Mey.) Bunge - Сведа рогатая
73. *Suaeda heterophylla* (Kar. & Kir.) Bunge ex Boiss. - Сведа разнолистная
74. *Suaeda linifolia* Pall. - Сведа линейнолистная
75. *Suaeda salsa* L. Pall. - Сведа засоленная
76. *Suaeda physophora* Pall. - Сведа вздутоплодная
77. *Suaeda prostrata* Pall. - Сведа простертая

Сем. Polygonaceae Juss.

78. *Atraphaxis compacta* Ledeb. - Курчавка скученная

79. *Atraphaxis replicata* Lam. - Курчавка отогнутая
80. *Fallopia convolvulus* (L.) Á.Löve - Фаллопия вьюнковая
81. *Polygonum aviculare* L. - Горец птичий, спорыш
82. *Polygonum patulum* M. Bieb. - Горец развесистый
83. *Rheum nanum* Siev. - Ревень низкий
84. *Rheum tataricum* L. - Ревень татарский
85. *Rumex maritimus* L. - Щавель морской
86. *Rumex marschallianus* Rchb. - Щавель Маршалловский
87. *Rumex stenophyllus* Ledeb. - Щавель узколистный
88. *Rumex ucranicus* Fisch. ex Spreng. - Щавель украинский

Сем. Limoniaceae Ser.

89. *Limonium coralloides* (Tausch) Lincz. - Кермек коралловидный
90. *Limonium gmelini* (Willd.) Kuntze - Кермек Гмелина
91. *Limonium leptophyllum* (Schrenk) Kuntze - Кермек узколистный
92. *Limonium myrianthum* (Schrenk) Kuntze - Кермек тысячцветковый
93. *Limonium otolepis* (Schrenk) Kuntze - Кермек ушастый
94. *Limonium suffruticosum* (L.) Kuntze - Кермек полукустарниковый

Сем. Frankeniaceae S.F Gray

95. *Frankenia hirsuta* L. - Франкения жестковолосая

Сем. Tamaricaceae Link

96. *Tamarix elongata* Ledeb. - Гребенщик удлинённый
97. *Tamarix Eversmannii* Presl. - Гребенщик Эверсманны
98. *Tamarix hispida* Willd. - Гребенщик щетинистоволосый
99. *Tamarix Karelinii* Bunge - Гребенщик Карелина
100. *Tamarix laxa* Willd. - Гребенщик рыхлый
101. *Tamarix leptostachys* Bunge - Гребенщик тонкоколосый
102. *Tamarix ramosissima* Ledeb. (= *Tamarix eversmannii* C.Presl ex Bunge) - Гребенщик многоветвистый

Сем. Salicaceae Mirb.

103. *Populus alba* L. - Тополь белый
104. *Populus diversifolia* Schrenk - Тополь разнолистный, туранга
105. *Populus pruinosa* Schrenk - Тополь сизолистный
106. *Salix alba* L. - Ива белая
107. *Salix songarica* Andersson - Ива джунгарская
108. *Salix triandra* L. - Ива трхтычинковая

Сем. Brassicaceae Burnett

109. *Alyssum dasycarpum* Stephan ex Willd. - Бурачок пушистоплодный
110. *Alyssum desertorum* Stapf - Бурачок пустынный
111. *Berteroa incana* (L.) DC. - Икотник серый
112. *Chorispora macropoda* Trautv. (= *Chorispora sibirica* (L.) DC.) - Хориспора сибирская
113. *Chorispora tenella* (Pall.) DC. - Хориспора тонкая
114. *Draba sibirica* (Pall.) Thell. (= *Lepidium sibiricum* Pall.) - Клоповник сибирский
115. *Erysimum leucanthemum* (Stephan ex Willd.) V.Fedtsch. - Желтушник белоцветный
116. *Erysimum sisymbrioides* C.A. Mey. - Желтушник гулявниковидный
117. *Euclidium syriacum* (L.) W.T.Aiton - Крепкоплодный сирийский
118. *Lepidium amplexicaule* Willd. - Клоповник стеблеобъемлющий
119. *Lepidium appelianum* Al-Shehbaz (= *Cardaria pubescens* (C.A.Mey.) Jarm.) - Сердечница пушистая
120. *Lepidium chalepense* L. (= *Cardaria repens* (Schrenk) Jarm.) - Сердечница ползучая
121. *Lepidium cordatum* Willd. ex Steven - Клоповник сердцевидный
122. *Lepidium cartilagineum* (= *Lepidium crassifolium* Waldst. et Kit.) - Клоповник толстолистный

123. *Lepidium bipinnatifidum* Desv. (= *Lepidium coronopifolium* Fisch.) - Клоповник воронцелистный
124. *Lepidium draba* L. (= *Cardaria draba* (L.) Desv.) - Сердечница крупковая
125. *Lepidium latifolium* L. - Клоповник широколистный
126. *Lepidium perfoliatum* L. - Клоповник пронзенный
127. *Lepidium ruderales* L. - Клоповник сорный
128. *Lepidium songaricum* Schrenk ex Fisch. & С.А.Мей. - Клоповник джунгарский
129. *Sisymbrium polymorphum* (Murray) Roth - Гулявник изменчивый
- Сем. Malvaceae Juss.**
130. *Althaea officinalis* L. - Алтей лекарственный
- Сем. Cannabaceae Endl.**
131. *Cannabis sativa* (= *Cannabis ruderalis* Janisch.) - Конопля сорная
132. *Humulus lupulus* L. - Хмель обыкновенный
- Сем. Urticaceae Juss.**
133. *Urtica dioica* L. - Крапива двудомная
- Сем. Euphorbiaceae Juss.**
134. *Euphorbia blepharophylla* Ledeb. - Молочай ресничатолистный
135. *Euphorbia densa* Schrenk - Молочай густой
136. *Euphorbia inderiensis* Less. ex Kar. & Kir. - Молочай индерский
137. *Euphorbia pachyrrhiza* Kar. & Kir. - Молочай толстокоренный
138. *Euphorbia rapulum* Kar. & Kir. - Молочай репка
139. *Euphorbia soongarica* Boiss. - Молочай джунгарский
140. *Euphorbia uralensis* Fisch. ex Link - Молочай уральский
- Сем. Crassulaceae DC.**
141. *Orostachys spinosa* (L.) Sweet - Горноколосник
142. *Orostachys thyrsoiflora* Fisch. - Горноколосник пирамидальный
- Сем. Rosaceae Juss.**
143. *Argentina anserina* (L.) Rydb. (= *Potentilla anserina* L.) - Лапчатка гусиная
144. *Geum rivale* L. - Гравилат речной
145. *Malus domestica* (Suckow) Borkh. - Яблоня домашняя
146. *Potentilla reptans* L. - Лапчатка ползучая
147. *Potentilla supina* L. - Лапчатка сизкая
148. *Rosa alberti* Regel - Шиповник Альберта
149. *Rosa laxa* Retz. - Шиповник рыхлый
- Сем. Lythraceae J.St.-Hil.**
150. *Lythrum hyssopifolia* L. - Дербенник иссополистый
151. *Lythrum nanum* Kar. & Kir. - Дербенник карликовый
152. *Lythrum tribracteatum* Salzm. ex Spreng. - Дербенник трехприцветниковый
- Сем. Onagraceae Juss.**
153. *Epilobium adnatum* Griseb. - Кипрей сродный
154. *Epilobium hirsutum* L. - Кипрей мохнатый
155. *Epilobium subalgidum* Hausskn. - Кипрей холодолюбивый
- Сем. Fabaceae Lindl.**
156. *Astragalus alopecurus* Pall. - Астрагал лисохвостовидный
157. *Astragalus juvenalis* Delile (= *Astragalus ujalensis* Gontsch.) - Астрагал уялинский
158. *Astragalus sulcatus* L. - Астрагал бороздчатый
159. *Astragalus ujalensis* Gontsch. - Астрагал уялинский
160. *Caragana halodendron* (Pall.) Dum.Cours. (= *Halimodendron halodendron* (Pall.) Voss) - Шенгил серебристый
161. *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. - Солодка уральская
162. *Lotus frondosus* (Freyn) Kuprian. - Лядвенец густолистственный

163. *Lotus strictus* Fisch. & C.A. Mey. - Лядвенец торчащий
 164. *Lotus tenuis* Waldst. & Kit. ex Willd. - Лядвенец тонкий
 165. *Medicago romanica* Prodan (= *Medicago romanica* Prod. - Люцерна степная
 166. *Medicago trautvetteri* Sumn. - Люцерна Траутветтера
 167. *Melilotus albus* Medik. - Донник белый
 168. *Melilotus dentatus* (Waldst. & Kit.) Desf. - Донник зубчатый
 169. *Melilotus officinalis* (L.) Lam. - Донник аптечный
 170. *Melilotus suaveolens* Ledeb - Донник ароматный
 171. *Oxytropis puberula* Boriss. - Остролодочник пушистый
 172. *Sophora alopecuroides* L. (= *Pseudosophora alopecuroides* (L.) Sweet) - Софора
 лисохвостная, брунец
 173. *Sphaerophysa salsula* (Pall.) DC. - Сферофиза солончаковая
 174. *Trifolium pratense* L. - Клевер луговой
 175. *Vicia cracca* L. - Горошек мышиный
 176. *Vicia subvillosa* (Ledeb.) Boiss. - Горошек маловолосистый

Сем. **Zygophyllaceae R.Br.**

177. *Zygophyllum balchaschense* Boriss. - Парнолистник балхашский
 178. *Zygophyllum brachypterum* Kar. & Kir. - Парнолистник короткокрылый
 179. *Zygophyllum fabago* L. – Парнолистник обыкновенный
 180. *Zygophyllum jaxarticum* M. Pop - Парнолистник сырдарьинский
 181. *Zygophyllum latifolium* Schrenk. - Парнолистник широколистный
 182. *Zygophyllum kopalense* Boriss. - Парнолистник копальский
 183. *Zygophyllum pterocarpum* Bunge - Парнолистник крылатоплодный
 184. *Zygophyllum Rosovii* Bge. - Парнолистник Розова
 185. *Zygophyllum subtrijugum* C.A. Mey - Парнолистник почти трехпарный
 186. *Zygophyllum stenopterum* Schrenk. - Парнолистник узкокрылый

Сем. **Nitrariaceae Bercht.et J.Presl**

187. *Nitraria schoberi* L. - Селитрянка Шобера
 188. *Nitraria sibirica* Pall. - Селитрянка сибирская

Сем. **Elaeagnaceae Juss.**

189. *Elaeagnus oxycarpa* Schlecht. - Лох остроплодный

Сем. **Apiaceae Lindl.**

190. *Ferula leiophylla* Korov. - Ферула гладколистная
 191. *Ferula tatarica* Fisch.ex Spreng. - Ферула татарская
 192. *Hyalolaena bupleuroides* (Schrenk) M.Pimen. et Kljuykov - Гиалолена володуш-
 ковидная
 193. *Seseli hippomarathrum* subsp. *hebecarpum* Drude (= *Seseli Ledebourii* G. Don.) -
 Жабрица Ледебура

Сем. **Cynomoriaceae Lindl**

194. *Cynomorium coccineum* subsp. *songaricum* (Rupr.) J.Léonard (= *Cynomorium*
songaricum Rupr.) - Циноморий джунгарский

Сем. **Rubiaceae Juss.**

195. *Galium amblyophyllum* Schrenk. - Подмаренник туполистный
 196. *Galium karakulense* Pobed. – Подмаренник каракульский
 197. *Galium palustre* L. - Подмаренник болотный

Сем. **Aposynaceae Juss.**

198. *Aposynum pictum* Schrenk (= *Poaosynum pictum* (Schrenk) Baill.) - Поацинум пестрый

Сем. **Asclepiadaceae R.Br.**

199. *Cynanchum acutum* subsp. *sibiricum* (Willd.) Rech.f.) (= *Cynanchum sibiricum* Willd.) -
 Цинанхум сибирский

Сем. **Solanaceae Juss.**

200. *Datura stramonium* L. - Дурман обыкновенный

201. *Hyoscyamus pusillus* L. - Белена крошечная
 202. *Solanum dulcamara* L. - Паслен сладко-горький
Сем. Convolvulaceae Juss.
 203. *Convolvulus arvensis* L. - Вьюнок полевой
Сем. Boraginaceae Juss.
 204. *Cynoglossum viridiflorum* Pall. - Чернокорень зеленоцветный
Сем. Scrophulariaceae Juss.
 205. *Verbascum blattaria* L. - Коровяк тараканий
 206. *Veronica beccabunga* L. - Вероника поточная
 207. *Veronica scutellata* L. – Вероника щитковая
 208. *Veronica verna* L. - Вероника весенняя
Сем. Orobanchaceae Vent
 209. *Cistanche salsa* (С.А. Мей.) G.Beck - Цистанхе солончаковая
 210. *Orobanche amoena* С.А. Мей. - Заразиха прелестная
Сем. Plantaginaceae Juss
 211. *Plantago cornuti* Gouan - Подорожник Корнута
 212. *Plantago lanceolata* L. - Подорожник ланцетовидный
 213. *Plantago maritima* L. - Подорожник приморский
 214. *Plantago minuta* Pall. - Подорожник маленький
 215. *Plantago urvillei* Opiz (= *Plantago stepposa* Kupr.) - Подорожник степной
Сем. Lamiaceae Lindl.
 216. *Lagochilus pungens* Schrenk - Зайцегуб колючий
 217. *Mentha arvensis* L. - Мята полевая
 218. *Mentha interrupta* Boriss. - Мята прерывистая
 219. *Mentha longifolia* var. *asiatica* (Boriss.) Rech.f. (= *Mentha asiatica* Boriss.) – Мята длиннолепестковая
 220. *Nepeta micrantha* Bunge - Котовник мелкоцветковый
Сем. Asteraceae Dumort.
 221. *Artemisia abrotanum* L. (*Artemisia procera* Willd.) - Полынь высокая
 222. *Artemisia absinthium* L. - Полынь горькая
 223. *Artemisia annua* L. - Полынь однолетняя
 224. *Artemisia austriaca* Jacq. - Полынь австрийская
 225. *Artemisia arenaria* L. – Полынь песчаная
 226. *Artemisia gracilescens* Krasch. et Iljin - Полынь тонковатая
 227. *Artemisia nitrosa* Web. - Полынь селитряная
 228. *Artemisia oliveriana* J.Gay ex Besser (= *Artemisia serotina* Bunge) - Полынь поздняя
 229. *Artemisia pauciflora* Web. - Полынь малоцветковая
 230. *Artemisia semiarida* (Krasch. Et Lavr.) – Полынь полусухая
 231. *Artemisia scoparia* Waldst. et Kit. - Полынь веничная
 232. *Artemisia scopiformis* Ledeb. - Полынь прутьевидная
 233. *Artemisia Schrenkiana* Ledeb. – Полынь Шренковская
 234. *Artemisia sieversiana* Willd. - Полынь Сиверсовская
 235. *Artemisia terrae – albae* Krasch. – Полынь белоземельная
 236. *Aster tripolium* L. – Астра триполиум
 237. *Centaurea glastifolia* subsp. *intermedia* (Boiss.) L.Martins (= *Chartolepis intermedia* Boiss.) - Хартолепис средний
 238. *Chartolepis intermedia* Boiss. - Хартолепис средний
 239. *Cirsium alatum* (S.G.Gmel.) Bobr. - Бодяк крылатый
 240. *Erigeron canadensis* L. – Мелколепестник канадский
 241. *Filago arvensis* L. - Жабник полевой
 242. *Galatella biflora* (L.) Ness. – Солонечник двуцветковый
 243. *Galatella fastigiiformis* Novopokr. - Солонечник щитковидный

244. *Inula britannica* L. - Девясил британский
 245. *Inula caspica* Blum ex Ledeb. - Девясил каспийский
 246. *Inula salicina* L. - Девясил иволистный
 247. *Jacobaea racemosa* subsp. *kirghisica* (DC.) Galasso & Bartolucci (= *Senecio paucifolius* S.G.Gmel) - Крестовник малолистный
 248. *Karelinia caspia* (Pall.) Less. - Карелиния каспийская
 249. *Serratula erucifolia* (L.) Druce (= *Klasea erucifolia* (L.) Greuter & Wagenitz) - Серпуха эруколистная
 250. *Lactuca serriola* L. - Латук дикий
 251. *Lactuca undulata* Ledeb. - Латук волнистый
 252. *Ligularia thyrsoides* (Ledeb.) DC. - Бузульник метельчатый
 253. *Pseudopodospermum inconspicuum* (Lipsch.) Zaika, Sukhor. & N.Kilian (= *Scorzonera inconspicua* Lipsch.) - Козелец неприметный
 254. *Rhaponticum repens* (L.) Hidalgo (= *Acroptilon australe* Iljin) - Горчак южный
 255. *Rhaponticum repens* (L.) Hidalgo (= *Acroptilon repens* (L.) DC.) - Горчак ползучий
 256. *Saussurea amara* (L.) DC. - Соссюрея горькая
 257. *Saussurea salsa* (Pall.ex Bieb.) Schrenk - Соссюрея солончаковая
 258. *Saussurea turgaiensis* B.Fedtsch. - Соссюрея тургайская
 259. *Scorzonera parviflora* Jack. - Козелец мелкоцветковый
 260. *Scorzonera songorica* (Kar. & Kir.) Lipsch. & Vassilcz. - Козелец джунгарский
 261. *Senecio paucifolius* Gmel. - Крестовник малолистный
 262. *Serratula erucifolia* (L.) Boriss. - Серпуха эруколистная
 263. *Sonchus arvensis* L. - Осот полевой
 264. *Sonchus palustris* L. - Осот болотный
 265. *Symphotrichum ciliatum* (Ledeb.) G.L.Nesom (= *Brachyactis ciliata* (Ledeb.) Ledeb.) - Брахиактис реснитчатый
 266. *Tanacetum tanacetoides* (DC.) Tzvel. - Пижма пижмовидная
 267. *Tanacetum vulgare* L. - Пижма обыкновенная
 268. *Taraxacum bessarabicum* (Hornem.) Hand.- Mazz. - Одуванчик бессарабский
 269. *Taraxacum bicornis* Dahlst. - Одуванчик двурогий
 270. *Taraxacum glaucanthum* (Ledeb.) DC. - Одуванчик сизоцветковый
 271. *Taraxacum multiscaposum* Schischk. - Одуванчик многострелочный
 272. *Taraxacum officinale* Wigg. - Одуванчик аптечный
 273. *Tragopogon dubius* Scop. - Козлобородник сомнительный
 274. *Tripolium pannonicum* (Jacq.) Dobrocz. - Триполиум паннонский
 275. *Xanthium strumarium* L. - Дурнишник обыкновенный
- Сем. Iridaceae Juss.**
 276. *Iris halophila* Pall. - Касатик солелюбивый
- Сем. Liliaceae Juss.**
 277. *Gagea bulbifera* (Pall.) Salisb. - Гусиный лук луковиценосный
- Сем. Asparagaceae Juss.**
 278. *Asparagus breslerianus* Schult. & Schult.f.- Спаржа Бреслера
 279. *Asparagus brachyphyllus* Turcz. - Спаржа коротколистная
- Сем. Orchidaceae Juss.**
 280. *Dactylorhiza salina* (Turcz.ex Lindl.) - Пальчатокоренник солончаковый
- Сем. Poaceae Barnhart**
 281. *Aeluropus littoralis* (Gouan) Parl. - Прибрежница солончаковая
 282. *Alopecurus pratensis* L. - Лисохвост луговой
 283. *Avena fatua* L. - Овес пустой, овсюг
 284. *Bromus japonicus* Thunb. - Костер японский
 285. *Bromus oxydon* Schrenk - Костер острозубый
 286. *Bromus tectorum* L. (= *Anisantha tectorum* (L.) Nevski) - Анизанта кровельная

287. *Calamagrostis pseudophragmites* (Hall.fil.) Koel. (= *Calamagrostis dubia* Bunge) - Вейник ложнотростниковый
288. *Crypsis aculeata* (L.) Aiton. - Скрытница колючая
289. *Crypsis alopecuroides* (Piller. & Mitterp.) Schrad. - Скрытница лисохвостовидная
290. *Crypsis schoenoides* (L.) Lam. - Скрытница камышевидная
291. *Elymus repens* (L.) Gould (= *Elytrigia repens* (L.) Nevski) - Пырей ползучий
292. *Eremopyrum distans* (C.Koch) Nevski - Мортук расставленный
293. *Eremopyrum orientale* (L.) Jaub.et Spach - Мортук восточный
294. *Eremopyrum triticeum* (Gaertn.) Nevski - Мортук пшеничный
295. *Festuca orientalis* (Boiss.) V. Fedtsch. - Овсяница восточная
296. *Festuca valesiaca* Gaudin - Овсяница валисская, типчак
297. *Hordeum bogdanii* Wilensky - Ячмень Богдана
298. *Hordeum brevisubulatum* (Trin.) Link - Ячмень короткоостный
299. *Hordeum roshevitzii* Bowden – Ячмень сибирский
300. *Leymus angustus* (Trin.) Pilg. - Волоснец узкий
301. *Leymus multicaulis* (Kar.et Kir.) Tzvel. - Волоснец многостебельный
302. *Leymus paboanus* (Claus) Pilg. - Волоснец Пабо
303. *Leymus secalinus* (Georgi) Tzvel. - Волоснец ржаной
304. *Leymus ramosus* (K.Richt.) Tzvelev – Полевица ветвистая
305. *Lolium arundinaceum* subsp. *orientale* (Hack.) G.H.Loos (= *Festuca regeliana* Pavlov.) - Овсяница восточная
306. *Neotrinia splendens* (Trin.) M.Nobis P.D.Gudkova & A.Nowak (= *Achnatherum splendens* (Trin.) Nevski) - Чий блестящий
307. *Poa angustifolia* L. - Мятлик узколистный
308. *Poa pratensis* L. - Мятлик луговой
309. *Poa trivialis* L. - Мятлик обыкновенный
310. *Polypogon maritimus* Willd. – Многобородник приморский
311. *Polypogon monspeliensis* (L.) Desf. - Многобородник монпельинский
312. *Puccinellia distans* (Jacq.) Pari. - Бескильница расставленная
313. *Puccinellia diffusa* V. Krecz. - Бескильница раскидистая
314. *Puccinellia dolicholepis* V. Krecz. - Бескильница длинночешуйная
315. *Puccinellia gigantea* (Grossh.) Grossh. - Бескильница гигантская
316. *Puccinellia hauptiana* V. Krecz. - Бескильница Гауптовская
317. *Puccinellia poecilantha* (K.Koch) Grossh. - Бескильница пестроцветная
318. *Puccinellia macropus* V.I.Krecz. – Бескильница большеногая
319. *Puccinellia tenuissima* (Litv. ex V.I.Krecz.) Pavlov - Бескильница тончайшая
320. *Setaria pumila* (Poir.) Schult. - Щетинник низкий
321. *Setaria viridis* (L.) Beauv. - Щетинник зеленый
322. *Stipa lessingiana* Trin.et Rupr. - Ковыль Лессинга
- Сем. Lemnaceae S.F. Gray**
323. *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid. - Многокоренник обыкновенный

Сем. Ephedraceae Dumort.

1. *Ephedra distachya* L.

Отдел Magnoliophyta

Класс Magnoliopsida

Порядок Ranunculales

Ranunculaceae Juss.

2. *Adonis scrobiculata* subsp. *scrobiculata* (= *Adonis parviflora* Fisch. ex DC.)
3. *Clematis asplenifolia* Schrenk ex Fisch. & C. A. Mey.
4. *Clematis glauca* Willd.
5. *Clematis orientalis* L.
6. *Delphinium camptocarpum* Fisch. et Mey. (= *Consolida camptocarpa* (Fisch. et Mey.) Nevski)
7. *Delphinium biternatum* Huth.
8. *Halerpestes sarmentosa* var. *sarmentosa* (= *Halerpestes salsuginosa* Greene)
9. *Ranunculus linearilobus* Bunge
10. *Ranunculus platyspermus* Fisch. ex DC.
11. *Ranunculus sceleratus* L.
12. *Ranunculus falcatus* L. (= *Ceratocephala falcata* (L.) Cramer)
13. *Thalictrum flavum* L.
14. *Thalictrum isopyroides* C.A. Mey.
15. *Thalictrum minus* L.

Порядок Papaverales

Papaveraceae Juss.

16. *Roemeria pavonina* (Schrenk) Banfi, Bartolucci, J.-M. Tison & Galasso
(= *Papaver pavoninum* Schrenk)
17. *Roemeria refracta* DC.
18. *Roemeria hybrida* (L.) DC.

Hypnocoaceae Nakai

19. *Hypnocoium pendulum* var. *pendulum* (= *Hypnocoium parviflorum* Kar. et Kir.)

Fumariaceae DC.

20. *Fumaria vaillantii* Loisel.

Подкласс Caryophyllidae

Порядок Caryophyllales

Caryophyllaceae Juss.

21. *Cerastium falcatum* Bunge (= *Cerastium bungeanum* Vved.)
 22. *Dianthus crinitus* subsp. *soongoricus* (Schischk.) Kozhev. (= *Dianthus soongoricus* Schischk.)
 23. *Eremogone longifolia* (M.Bieb.) Fenzl (= *Arenaria longifolia* M.Bieb.)
 24. *Gypsophila perfoliata* L.
 25. *Gypsophila paniculata* L.
 26. *Holosteum umbellatum* subsp. *glutinosum* (M.Bieb.) Nyman (= *Holosteum polygamum* C.Koch)
 27. *Spergularia diandra* (Guss.) Heldr.
 28. *Spergularia rubra* (L.) J.Presl & C.Presl
 29. *Stellaria media* (L.) Vill.
 30. *Silene gavrillovii* (Krasn.) Popov (= *Silene balchaschensis* Schischk.)
 31. *Silene geblertiana* Schrenk ex Fisch. & C.A.Mey.
- Chenopodiaceae Vent. (Amaranthaceae Juss.)**
32. *Amaranthus retroflexus* L.
 33. *Amaranthus albus* L.

34. *Agriophyllum latifolium* Fisch. & C.A.Mey.
35. *Anabasis aphylla* L.
36. *Anabasis elatior* (C.A. Mey.) Schischk.
37. *Anabasis salsa* (Ledeb.) Benth. ex Volkens
38. *Atriplex prostrata* subsp. *calotheca* (Rafn) M.A.Gust. (= *Atriplex calotheca* (Rafn) Fries)
39. *Atriplex dimorphostegia* Kar. & Kir.
40. *Atriplex laevis* Ledeb.
41. *Atriplex littoralis* L.
42. *Atriplex micrantha* Ledeb.
43. *Atriplex halimus* L.
44. *Atriplex patens* (Litv.) Iljin
45. *Atriplex tatarica* L.
46. *Atriplex cana* Ledeb.
47. *Atriplex ornata* Iljin.
48. *Bassia prostrata* (L.) Beck (= *Kochia prostrata* (L.) Schrad.)
49. *Blitum virgatum* L. (= *Chenopodium foliosum* Asch.)
50. *Camphorosma monspeliaca* L. (= *Camphorosma lessingii* Litv.)
51. *Ceratocarpus arenarius* L.
52. *Chenopodium acuminatum* Willd.
53. *Chenopodium album* L.
54. *Chenopodium botrys* L. Mosyakin & Clemants
55. *Chenopodiastrum hybridum* (L.) S.Fuentes, Uotila & Borsch (= *Chenopodium hybridum* L.)
56. *Corispermum korovinii* Iljin
57. *Corispermum lehmannianum* Bunge
58. *Corispermum squarrosum* L. (= *Agriophyllum squarrosum* (L.) Moq.)
59. *Climacoptera crassa* (Bieb.) Botsch.
60. *Climacoptera lanata* (Pall.) Botsch.
61. *Girgensohnia oppositiflora* (Pall.) Fenzl
62. *Halimocnemis villosa* Kar. & Kir.
63. *Halimocnemis karelinii* Moq.
64. *Halimocnemis villosa* Kar. & Kir.
65. *Halocnemum strobilaceum* (Pall.) M.Bieb.
66. *Halocharis hispida* (Schrenk) Bunge
67. *Kalidium caspicum* (L.) Ung.-Sternb.
68. *Kalidium foliatum* (Pall.) Moq.
69. *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst.
70. *Nanophyton erinaceum* (Pall.) Bunge
71. *Oxybasis chenopodioides* (L.) S.Fuentes, Uotila & Borsch (= *Chenopodium chenopodioides* (L.) Aellen)
72. *Oxybasis glauca* (L.) S.Fuentes, Uotila & Borsch (= *Chenopodium glaucum* L.)
73. *Oxybasis rubra* (L.) S.Fuentes, Uotila & Borsch (= *Chenopodium rubrum* L.)
74. *Petrosimonia glaucescens* (Bunge) Iljin.
75. *Petrosimonia brachyphylla* (Bunge) Iljin.
76. *Petrosimonia sibirica* (Pall.) Bunge
77. *Salicornia europaea* L.
78. *Salsola arbuscula* Pall.
79. *Salsola dshungarica* Iljin.
80. *Salsola foliosa* (L.) Schrad. ex Schult.
81. *Salsola laricifolia* Litv. ex Drobow
82. *Salsola nitraria* Pall.

83. *Salsola orientalis* S.G.Gmel.
84. *Salsola paulsenii* Litv.
85. *Salsola rosacea* L.
86. *Salsola soda* L.
87. *Salsola sclerantha* C.A.Mey.
88. *Suaeda acuminata* (C.A. Mey.) Moq.
89. *Suaeda altissima* (L.) Pall.
90. *Suaeda corniculata* (C.A.Mey) Bunge
91. *Suaeda heterophylla* (Kar. et Kir.) Bunge ex Boiss.
92. *Suaeda linifolia* Pall.
93. *Suaeda physophora* Pall.

Порядок Polygonales

Polygonaceae Juss.

94. *Atraphaxis pyrifolia* Bunge
95. *Atraphaxis replicata* Lam.
96. *Atraphaxis spinosa* L.
97. *Calligonum aphyllum* (Pall.) Gürke
98. *Calligonum acanthopterum* I.G.Borshch.
99. *Calligonum crispum* Bunge
100. *Calligonum eriopodium* Bunge.
101. *Calligonum leucocladum* (Schrenk) Bunge
102. *Calligonum macrocarpum* I.G.Borshch.
103. *Calligonum acanthopterum* f. *acanthopterum* (= *Calligonum rotula* I.G.Borshch.)
104. *Calligonum barsukiense* Soskov
105. *Calligonum junceum* (Fisch & C.A.Mey) Litv.
106. *Persicaria lapathifolia* (L.) Delarbre (= *Polygonum lapathifolium* L.)
107. *Polygonum aviculare* L.
108. *Polygonum acerosum* Ledeb. ex Meisn.
109. *Polygonum argyrocoleon* Steud. ex Kunze
110. *Polygonum patulum* M.Bieb.
111. *Rheum tataricum* L.f.
112. *Rheum nanum* Siev.
113. *Rumex confertus* Willd.
114. *Rumex dentatus* subsp. *halacsyi* (Rech.) Rech.f. (= *Rumex halacsyi* Rech.)
115. *Rumex marschallianus* Rchb.

Порядок Plumbaginales

Limoniaceae Lincz.

116. *Goniolimon callicomum* (C.A.Mey.) Boiss.
117. *Goniolimon speciosum* (L.) Boiss.
118. *Limonium gmelinii* (Willd.) O. Kuntze.
119. *Limonium otolepis* (Schrenk) Kuntze
120. *Limonium leptolobum* Kuntze

Подкласс Dilleniidae

Порядок Theales

Hypericaceae Juss.

121. *Hypericum perforatum* L.

Порядок Primulales

Primulaceae Vent.

122. *Lysimachia maritima* (L.) Galasso, Banfi & Soldano (= *Glaux maritima* L.)
123. *Primula longiscapa* Ledeb.

Порядок Tamaricales

Tamaricaceae Link

- 124. *Tamarix arceuthoides* Bunge
- 125. *Tamarix hispida* Willd.
- 126. *Tamarix gracilis* Willd.
- 127. *Tamarix ramosissima* Ledeb.

Порядок Salicales

Salicaceae Mirb.

- 128. *Populus euphratica* Olivier (=Populus diversifolia Schrenk)
- 129. *Populus pruinosa* Schrenk
- 130. *Salix songarica* Andersson.
- 131. *Salix alba* L.
- 132. *Salix turanica* Nasarow

Порядок Cucurbitales

Cucurbitaceae Juss.

- 133. *Bryonia cretica subsp. dioica* (Jacq.) Tutin (=Bryonia dioica Jacq.)

Порядок Capparales

Brassicaceae Burnett.

- 134. *Sisymbrium altissimum* L.
- 135. *Sisymbrium polymorphum* (Murray) Roth
- 136. *Alyssum turkestanicum* Regel & Schmalh.
- 137. *Alyssum dasycarpum* Stephan ex Willd.
- 138. *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh.
- 139. *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.
- 140. *Chorispora tenella* (Pall.) DC.
- 141. *Cithareloma lehmannii* Bunge
- 142. *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl
- 143. *Draba nemorosa* L.
- 144. *Erysimum cheiranthoides* L.
- 145. *Erysimum quadrangulum* Desf. (=Syrenia montana (Pall.) Klokov)
- 146. *Erysimum leucanthemum* (Stephan ex Willd.) B.Fedtsch.
- 147. *Goldbachia laevigata* DC.
- 148. *Isatis emarginata* Kar. & Kir.
- 149. *Isatis costata* C.A.Mey.
- 150. *Lepidium amplexicaule* Willd.
- 151. *Lepidium densiflorum* Schrad.
- 152. *Lepidium coronopifolium* Fisch.
- 153. *Lepidium latifolium* L.
- 154. *Lepidium lacerum* C.A.Mey.
- 155. *Lepidium perfoliatum* L.
- 156. *Lepidium appelianum* Al-Shehbaz (=Cardaria pubescens (C.A.Mey.) Jarm.)
- 157. *Meniocus linifolius* (Stephan ex Willd.) DC.
- 158. *Pseudoarabidopsis toxophylla* (M.Bieb.) Al-Shehbaz, O'Kane & R.A.Price
(=Arabidopsis toxophylla (M.Bieb.) N.Busch)
- 159. *Strigosella africana* (L.) Botsch.
- 160. *Strigosella circinata* (Bunge) Botsch.
- 161. *Strigosella turkestanica* (Litv.) Botsch.
- 162. *Tetracme quadricornis* (Willd.) Bunge
- 163. *Thlaspi arvense* L.

Порядок Malvales

Malvaceae Juss.

- 164. *Hibiscus trionum* L.

Порядок Urticales

Ulmaceae Mirb.

165. *Ulmus pumila* L.

Cannabaceae Endl.

166. *Cannabis sativa* L. (= *Cannabis ruderalis* Janisch.)

Urticaceae Juss.

167. *Urtica dioica* L.

Порядок Euphorbiales

Euphorbiaceae Juss.

168. *Chrozophora sabulosa* Kar. & Kir.

169. *Euphorbia jaxartica* (Prokh.) Prokh. ex Serg.

170. *Euphorbia lamprocarpa* (Prokh.) Prokh.

171. *Euphorbia microcarpa* Prokh. Krylov

172. *Euphorbia turczaninowii* Kar. & Kir.

173. *Euphorbia sororia* Schrenk

174. *Euphorbia uralensis* Fisch. ex Link.

Подкласс Rosidae

Порядок Rosales

Rosaceae Juss.

175. *Argentina anserina* (L.) Rydb. (= *Potentilla anserina* L.)

176. *Potentilla inclinata* Vill. (= *Potentilla impolita* Wahlenb.)

177. *Potentilla recta* L.

178. *Potentilla supina* L.

179. *Rosa laxa* Retz.

Порядок Myrtales

Onagraceae Juss.

180. *Epilobium hirsutum* L.

Порядок Fabales

Fabaceae Lindl.

181. *Ammodendron bifolium* (Pall.) Yakovlev

182. *Astragalus ammodendron* Bunge

183. *Astragalus arenarius* L.

184. *Astragalus amabilis* Popov

185. *Astragalus turczaninowii* Kar. & Kir.

186. *Astragalus orbiculatus* Ledeb.

187. *Alhagi pseudalhagi* (M.Bieb.) Desv. ex Wangerin

188. *Caragana halodendron* (Pall.) Dum.Cours. (= *Halimodendron halodendron* (Pall.) Voss)

189. *Caragana leucophloea* Pojark.

190. *Eremosparton aphyllum* (Pall.) Fisch. & C.A. Mey.

191. *Glycyrrhiza glabra* L.

192. *Glycyrrhiza uralensis* Fisch. ex DC.

193. *Lotus frondosus* (Freyn) Kuprian.

194. *Lathyrus pratensis* L.

195. *Medicago falcata* L.

196. *Melilotus dentatus* (Waldst. & Kit.) Desf.

197. *Melilotus albus* Medik.

198. *Oxytropis glabra* DC.

199. *Sophora alopecuroides* L. (= *Vexibia alopecuroides* (L.) Yakovlev)

200. *Sphaerophysa salsula* (Pall.) DC.

201. *Trigonella stellata* Forssk. (= *Trigonella cancellata* Desf. ex Spreng.)

202. *Trifolium fragiferum* L.

203. *Trifolium repens* L.

204. *Vicia subvillosa* (Ledeb.) Boiss.

Порядок **Rutales**

Rutaceae Juss

205. *Haplophyllum versicolor* Fisch. & C.A.Mey.

Zygophyllaceae R. Br.

206. *Tribulus terrestris* L.

207. *Zygophyllum brachypterum* Kar. & Kir.

208. *Zygophyllum macropodum* Boriss.

209. *Zygophyllum subtrijugum* C.A.Mey.

210. *Zygophyllum pterocarpum* Bunge

211. *Zygophyllum fabagooides* Popov

Nitrariaceae Lindl.

212. *Nitraria sibirica* Pall.

213. *Nitraria schoberi* L.

Порядок **Geraniales**

Geraniaceae Juss.

214. *Geranium transversale* (Kar. & Kir.) Vved. ex Pavlov

215. *Erodium oxyrhinchum* M.Bieb.

216. *Erodium cicutarium* (L.) L'Hér.

Порядок **Elaeagnales**

Elaeagnaceae Juss.

217. *Elaeagnus angustifolia* L.

Порядок **Apiales**

Apiaceae Lindl.

218. *Oedibasis apiculata* (Kar. & Kir.) Koso-Pol.

219. *Seseli hippomarathrum* subsp. *hebecarpum* Drude (= *Seseli ledebourii* G. Don.)

220. *Silaum silaus* (L.) Schinz & Thell.

Подкласс **Lamiidae**

Порядок **Gentianales Juss.**

Rubiaceae Juss.

221. *Galium verum* subsp. *verum* (= *Galium ruthenicum* Willd.)

222. *Rubia deserticola* Pojark.

223. *Rubia dolichophylla* Schrenk

Gentianaceae Juss.

224. *Schenkia spicata* (L.) G.Mans. (= *Centaurium spicatum* (L.) Fritsch.)

Apocynaceae Juss.

225. *Apocynum venetum* subsp. *lancifolium* (Russanov) ined. (= *Trachomitum lancifolium* (Russanov) Pobed.)

Asclepiadaceae R. Br.

226. *Cynanchum acutum* subsp. *sibiricum* (Willd.) Rech.f. (= *Cynanchum sibiricum* Willd.)

Порядок **Solanales**

Solanaceae Juss.

227. *Hyoscyamus pusillus* L.

228. *Lycium ruthenicum* Murray

229. *Lycium flexicaule* Pojark.

230. *Lycium dasystemum* Pojark.

Порядок **Convolvulales**

Convolvulaceae Juss.

231. *Convolvulus arvensis* L.

232. *Calystegia sepium* (L.) R.Br.

Cuscutaceae Dumort.

233. *Cuscuta europaea* L.

Порядок Boraginales

Boraginaceae Juss.

- 234. *Arnebia decumbens* (Vent.) Coss. et Kralik
- 235. *Heliotropium arguzioides* Kar. & Kir.
- 236. *Nonea caspica* (Willd.) G. Don.
- 237. *Nonea pulla* (L.) DC.
- 238. *Rochelia leiocarpa* Ledeb.
- 239. *Myosotis arvensis* (L.) Hill
- 240. *Lappula consanguinea* (Fisch. & C.A. Mey.) Gürke
- 241. *Lappula patula* (Lehm.) Menyh.

Порядок Scrophulariales

Scrophulariaceae Juss.

- 242. *Dodartia orientalis* L.
- 243. *Linaria vulgaris* Mill.
- 244. *Scrophularia incisa* Weinm.
- 245. *Verbascum blattaria* L.

Orobanchaceae Vent.

- 246. *Orobanche cumana* Wallr.

Plantaginaceae Juss.

- 247. *Plantago cornuti* Gouan
- 248. *Plantago salsa* Pall.
- 249. *Plantago lagocephala* Bunge
- 250. *Plantago major* L.
- 251. *Plantago tenuiflora* Waldst. & Kit.
- 252. *Plantago lanceolata* L.

Порядок Lamiales

Lamiaceae Lindl.

- 253. *Dracocephalum royleanum* Benth. (= *Lallemantia royleana* (Benth.) Benth.)
- 254. *Mentha arvensis* L.
- 255. *Nepeta micrantha* Bunge
- 256. *Nepeta pungens* Benth.
- 257. *Teucrium scordium* subsp. *scordioides* (Schreb.) Arcang. (= *Teucrium scordioides* Schreb.)

Подкласс Asteridae

Порядок Asterales

Asteraceae Dumort.

- 258. *Arctium leiospermum* Juz. & Ye. V. Serg.
- 259. *Artemisia annua* L.
- 260. *Artemisia austriaca* Jacq.
- 261. *Artemisia absinthium* L.
- 262. *Artemisia abrotanum* L. (= *Artemisia procera* Willd.)
- 263. *Artemisia juncea* Kar. & Kir.
- 264. *Artemisia marschalliana* Spreng.
- 265. *Artemisia nitrosa* Web. ex Stechm.
- 266. *Artemisia pauciflora* Weber ex Stechmann
- 267. *Artemisia schrenkiana* Ledeb.
- 268. *Artemisia scoparia* Waldst. & Kit.
- 269. *Artemisia succulenta* Ledeb.
- 270. *Artemisia serotina* Bunge (= *Artemisia serotina* Bunge)
- 271. *Artemisia scopaeformis* Ledeb.
- 272. *Artemisia tournefortiana* Rchb.
- 273. *Artemisia vulgaris* L.

274. *Echinops albicaulis* Kar. & Kir.
275. *Erigeron canadensis* L.
276. *Cancrinia discoidea* (Ledeb.) Poljakov ex Tzvelev
277. *Carduus nutans* L.
278. *Centaurea iberica* Trevir. ex Spreng.
279. *Centaurea glastifolia* subsp. *intermedia* (Boiss.) L.Martins (= *Chartolepis intermedia* Boiss.)
280. *Chondrilla aspera* Poir.
281. *Chondrilla canescens* Kar. & Kir.
282. *Chondrilla piptocoma* Fisch., C.A.Mey. & Avé-Lall.
283. *Chondrilla laticoronata* Leonova
284. *Cousinia dissecta* Kar. & Kir.
285. *Cousinia dolicholepis* Schrenk
286. *Cousinia platylepis* Fisch., C.A.Mey. & Avé-Lall.
287. *Cichorium intybus* L.
288. *Cirsium arvense* (L.) Scop.
289. *Cirsium arvense* var. *vestitum* Wimm. & Grab. (= *Cirsium incanum* (S.G.Gmel.) Fisch. ex M.Bieb.)
290. *Cirsium vulgare* (Savi) Ten.
291. *Echinops acantholepis* Jaub. & Spach (= *Acantholepis orientalis* Less.)
292. *Galatella fastigiiformis* Novopokr.
293. *Galatella hauptii* (Ledeb.) Lindl. ex DC.
294. *Garhadiolus papposus* Boiss. & Buhse
295. *Gnaphalium uliginosum* L. (= *Gnaphalium kasachstanicum* Kirp. & Kuprian.)
296. *Handelia trichophylla* (Schrenk) Heimerl
297. *Jurinea krascheninnikovii* Iljin
298. *Jurinea schischkiniana* Iljin.
299. *Jurinea sudunensis* Korsh.
300. *Karelinia caspia* (Pall.) Less.
301. *Lactuca tatarica* (L.) C.A.Mey.
302. *Matricaria discoidea* DC. (= *Chamomilla suaveolens* (Pursh) Rydb.)
303. *Microcephala subglobosa* (Krasch.) Pobed.
304. *Onopordum acanthium* L.
305. *Picris nuristanica* Bornm.
306. *Pentanema salicinum* (L.) D.Gut.Larr., Santos-Vicente (= *Inula salicina* L.)
307. *Petasites spurius* (Retz.) Rchb.
308. *Rhaponticum repens* (L.) Hidalgo (= *Acroptilon repens* (L.) DC.
309. *Saussurea salsa* (Pall.) Spreng.
310. *Saussurea turgaiensis* B.Fedtsch.
311. *Saussurea amara* (L.) DC.
312. *Saussurea prostrata* C. Winkl.
313. *Scorzonera parviflora* Jacq.
314. *Senecio dubitabilis* C.Jeffrey & Y. L.Chen
315. *Senecio glaucus* subsp. *coronopifolius* (Maire) C.Alexander (= *Senecio noeanus* Rupr.)
316. *Senecio subdentatus* Ledeb.
317. *Sonchus arvensis* L.
318. *Taraxacum monochlamydeum* Hand. – Mazz.
319. *Taraxacum glaucanthum* (Ledeb.) DC.
320. *Taraxacum dealbatum* Hand.-Mazz.
321. *Taraxacum longipyramidatum* Schischk.
322. *Taraxacum multiscaposum* Schischk.

323. *Takhtajianantha mongolica* (Maxim.) Zaika, Sukhor. & N.Kilian (= *Scorzonera mongolica* Maxim.)
 324. *Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch.Bip. (= *Tripleurospermum perforatum* (Mérat) M.Lainz)
 325. *Tripolium pannonicum* (Jacq.) Dobrocz. (= *Tripolium vulgare* Nees)
 326. *Xanthium strumarium* L.

Класс Liliopsida

Подкласс Liliidae

Порядок Liliales

Iridaceae Juss.

327. *Iris halophila* var. *sogdiana* (Bunge) Skeels (= *Iris sogdiana* Bunge)
 328. *Iris lactea* f. *biglumis* (Vahl) Kitag. (= *Iris pallasii* Fisch. ex Trevir.)
 329. *Iris halophila* Pall.
 330. *Iris songarica* Schrenk ex Fisch. & C.A.Mey.

Liliaceae Juss.

331. *Gagea kunawurensis* (Royle) Greuter (= *Gagea ova* Stapf.)
 332. *Gagea bergii* Litv.
 333. *Gagea setifolia* Baker
 334. *Rhinopetalum karelinii* Fisch. ex D.Don

Порядок Amaryllidales

Asphodelaceae Juss.

335. *Eremurus anisopterus* (Kar. & Kir.) Regel
 336. *Eremurus inderiensis* (M.Bieb.) Regel

Alliaceae J. Adardh.

337. *Allium iliense* Regel
 338. *Allium borszczowii* Regel
 339. *Allium caspium* (Pall.) M.Bieb.
 340. *Allium schubertii* Zucc.
 341. *Allium sabulosum* Steven ex Bunge
 342. *Allium turkestanicum* Regel
 343. *Allium caesium* Schrenk
 344. *Allium pallasii* Murray
 345. *Allium sewerzowii* Regel

Ixiolirianaceae Nakai

346. *Ixiolirion tataricum* (Pall.) Schult. & Schult.f.

Порядок Asparagales

Asparagaceae Juss.

347. *Asparagus brachyphyllus* Turcz.
 348. *Asparagus angulofractus* Iljin
 349. *Asparagus persicus* Baker

Порядок Poales

Poaceae Barnhart.

350. *Aegilops cylindrica* Host
 351. *Aeluropus littoralis* (Gouan) Parl.
 352. *Aristida adscensionis* L. (= *Aristida heymanii* Regel)
 353. *Bromus danthoniae* Trin.
 354. *Bromus oxyodon* Schrenk
 355. *Bromus inermis* Leys. (= *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub)
 356. *Bromus tectorum* L. (= *Anisantha tectorum* (L.) Nevski)
 357. *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth
 358. *Calamagrostis pseudophragmites* (Haller f.) Koeler (= *Calamagrostis dubia* Bunge)

359. *Calamagrostis pseudophragmites* (Haller f.) Koeler
360. *Chloris virgata* Sw.
361. *Cynodon dactylon* (L.) Pers.
362. *Deschampsia cespitosa* subsp. *cespitosa* (= *Deschampsia caespitosa* P.Beauv.)
363. *Echinochloa crus-galli* (L.) P.Beauv.
364. *Elytrigia repens* (L.) Nevski
365. *Elymus repens* (L.) Gould (= *Agropyron repens* (L.) P.Beauv.)
366. *Eragrostis minor* Host
367. *Eragrostis collina* Trin.
368. *Eragrostis minor* Host
369. *Eremopyrum bonaepartis* (Spreng.) Nevski
370. *Eremopyrum orientale* (L.) Jaub. & Spach
371. *Eremopyrum triticeum* (Gaertn.) Nevski
372. *Festuca valesiaca* Schleich. ex Gaudin
373. *Hordeum marinum* subsp. *gussoneanum* (Parl.) Thell. (= *Hordeum geniculatum* All.)
374. *Leymus racemosus* (Lam.) Tzvel.
375. *Leymus angustus* (Trin.) Pilg.
376. *Leymus divaricatus* (Drobow) Tzvelev
377. *Secale sylvestre* Host
378. *Setaria viridis* (L.) P.Beauv.
379. *Stipagrostis karelinii* (Trin. & Rupr.) H.Scholz
380. *Stipagrostis pennata* (Trin.) de Winter
381. *Stipa arabica* Trin. & Rupr. (= *Stipa caspia* C. Koch.)
382. *Stipa lessingiana* Trin. & Rupr.
383. *Stipa macroglossa* P.A.Smirn.
384. *Stipa caucasica* Schmalh.
385. *Stipa capillata* L.
386. *Schismus arabicus* Nees
387. *Schismus barbatus* (L.) Thell.
388. *Phleum paniculatum* Huds.
389. *Puccinellia diffusa* (V.I.Krecz.) V.I.Krecz. ex Drobov
390. *Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.
391. *Puccinellia dolicholepis* (V.I.Krecz.) Pavlov
392. *Puccinellia poecilantha* (C. Koch) Grossh.
393. *Puccinellia macropus* V. I.Krecz.
394. *Phalaris arundinacea* L.
395. *Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert
396. *Sporobolus turkestanicus* (Eig) P.M.Peterson (= *Crypsis turkestanica* Eig)
397. *Sporobolus alopecuroides* (Piller & Mitterp.) P.M.Peterson (= *Crypsis alopecuroides* (Piller & Mitterp.) Schrad.)
398. *Taeniatherum caput-medusae* (L.) Nevski (= *Taeniatherum crinitum* (Schreb.) Nevski)
399. *Timouria conferta* (Poir.) Sennikov (= *Achnatherum caragana* (Trin.) Nevski)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

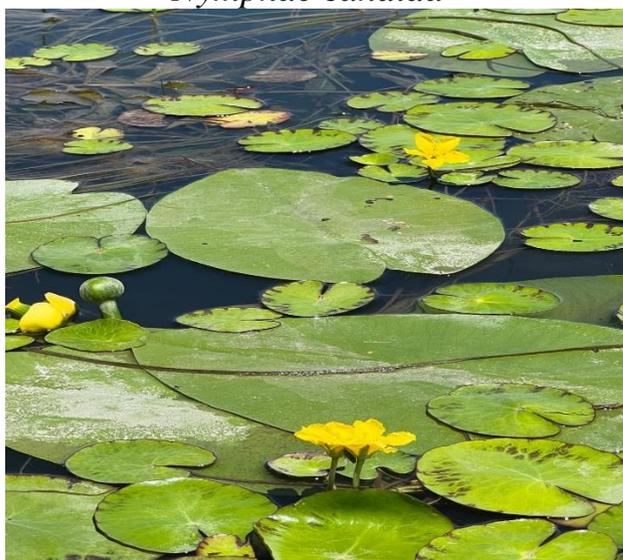
Высшие водные растения соленых и содовых озер Алматинской области



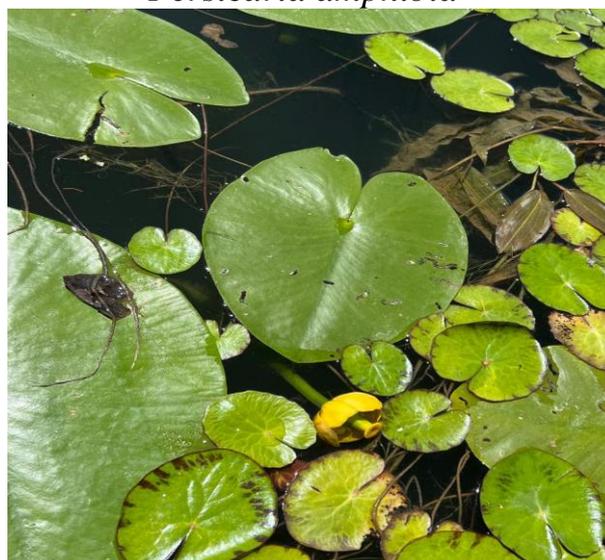
Nymphae candida



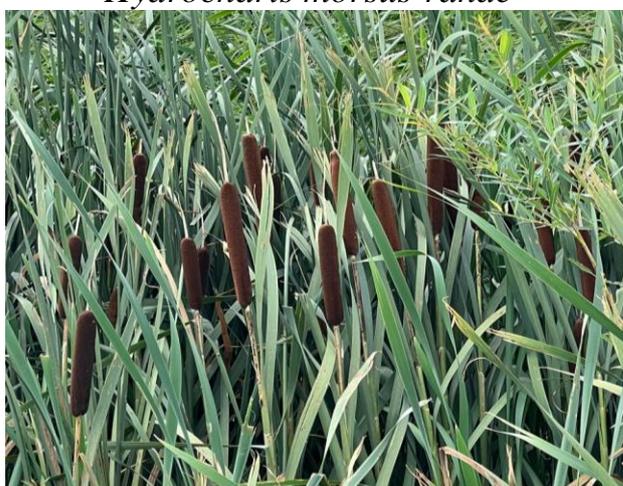
Persicaria amphibia



Hydrocharis morsus-ranae



Nuphar lutea



Typha latifolia



Ceratophyllum submersum



Potamogeton crispus



Sagittaria sagittifolia



Alisma plantago-aquatica



Ranunculus trichophyllus



Phragmites australis



Bolboschoenus maritimus L.



Рисунок 4 - *Epilobium hirsutum*



Рисунок 4 – *Eleocharis palustris*



Myriophyllum verticillatum



Schoenoplectus lacustris



Myriophyllum spicatum



Potamogeton lucens

Прибрежно – водные растения соленых и содовых озер



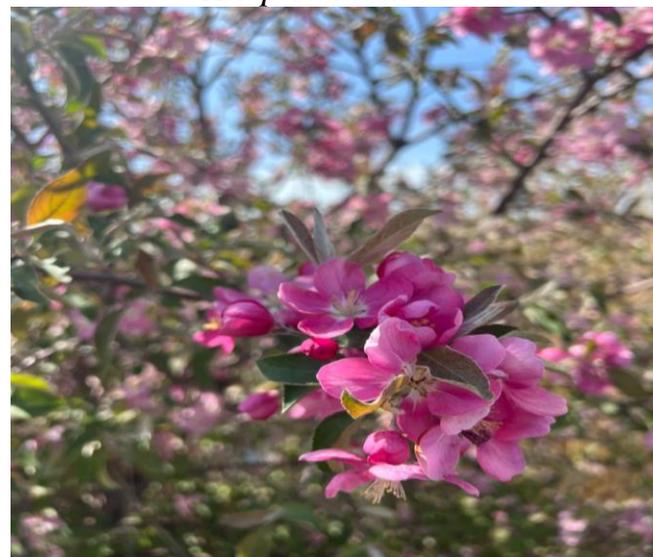
Tamarix ramosissima



Atriplex halimus



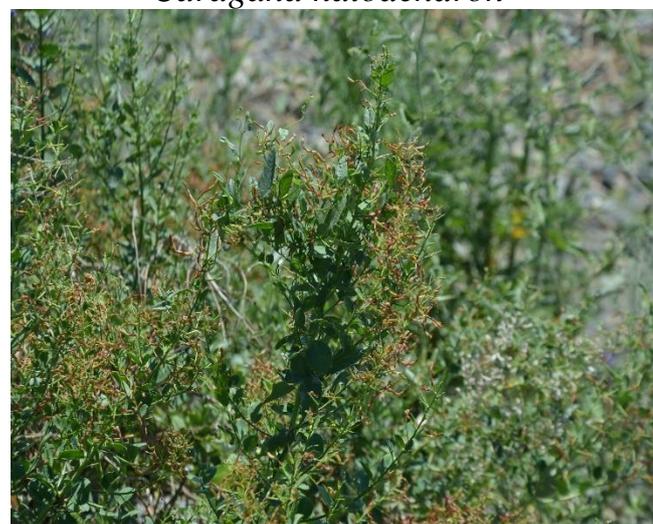
Camphorosma lessingi



Caragana halodendron



Atraphaxis replicata



Alhagi pseudalhagi

ПРИЛОЖЕНИЕ В

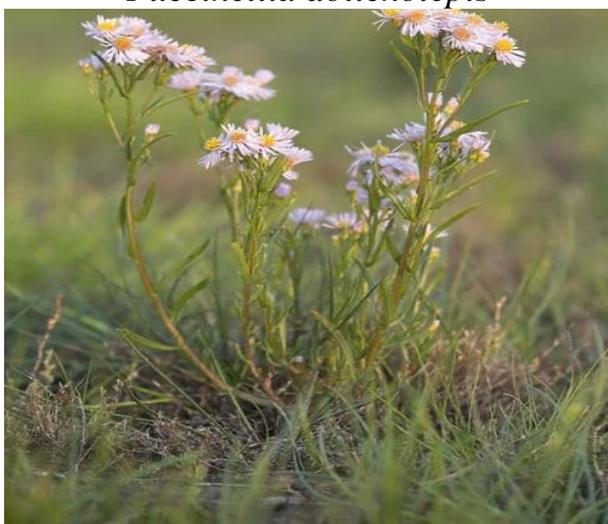
Индикаторные виды растений соленых и содовых озер



Puccinellia dolicholepis



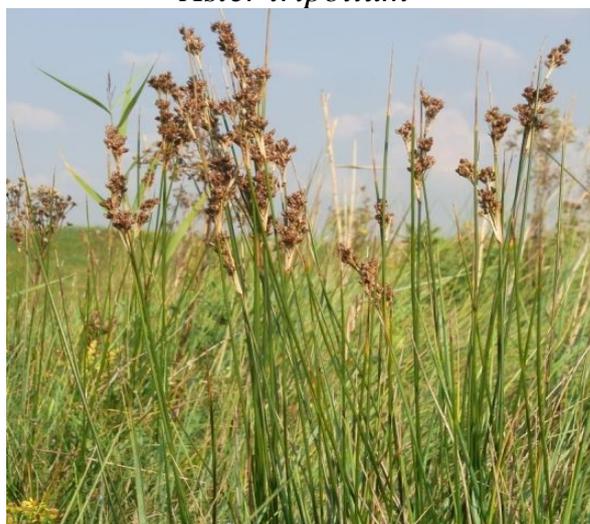
Suaeda salsa



Aster tripolium



Salicornia europaea



Juncus maritimus



Suaeda physophora

+