

МРНТИ: 34.35.33

<https://orcid.org/0009-0000-9125-7394>

Жиналиева А.Е.*

магистрант 2 курса, ЗКУ им.М.Утемисова. Уральск, Казахстан

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ В ПРЕПОДАВАНИИ ШКОЛЫ

*Автор-корреспондт: aliza_zhinaliyeva@mail.ru

Аннотация: В статье представлен комплексный анализ водных экосистем шести пойменных озёр Западного Казахстана с упором на высшие водные растения (макрофиты) и их использование в школьном обучении. Проведена гидробиотическая оценка состояния озёр: выявлен флористический состав макрофитов, описаны основные фитоценозы и рассчитаны индексы биоразнообразия, сапробности и трофности. Результаты указывают на мезотрофно-эвтрофный статус большинства озёр (прозрачность воды 30–40 см), тогда как одно из озёр (Прорва) характеризуется большей прозрачностью (~200 см) и более низкой трофностью. Обилие плавающих и погруженных макрофитов (рдесты, роголистники и др.) свидетельствует о значительной роли макрофитной растительности в саморегуляции водоёмов и биофильтрации питательных веществ. Педагогическая апробация с участием учащихся 7 класса показала, что включение полевых практик по исследованию макрофитов повышает предметные знания о водных экосистемах и укрепляет экологические ценности. Исследование подтверждает потенциал интеграции локальных гидробиотических обследований в учебный процесс как инструмента формирования экологической грамотности и навыков мониторинга.

Ключевые слова: биоразнообразие, экологическое образование, полевые практики, Западный Казахстан, макрофиты, озёра-старицы, эвтрофикация, сапробность

FTAXP: 34.35.33

<https://orcid.org/0009-0000-9125-7394>

Жиналиева А.Е.*

2 курс магистранты, М.Өтемісов атындағы БҚУ. Орал, Қазақстан

МЕКТЕПТЕГІ ОҚЫТУ ҮДЕРІСІНДЕГІ СУ ЭКОЖҮЙЕЛЕРІ

*Автор-корреспондт: aliza_zhinaliyeva@mail.ru

Түйін: Мақалада Батыс Қазақстанның алты жайылма көлінің су экожүйелеріне жоғары су өсімдіктеріне (макрофиттерге) басымдық бере отырып жасалған кешенді талдау және оларды мектепте оқытуда пайдалану жолдары ұсынылған. Көлдердің жай-күйіне гидробиотикалық бағалау жүргізілді: макрофиттердің флористикалық құрамы анықталды, негізгі фитоценоздар сипатталды және биоалуантүрлілік, сапробтылық пен трофтылық индекстері есептелді. Нәтижелер көлдердің көпшілігінің мезотрофты-эвтрофты мәртебесін (судың мөлдірлігі 30–40 см) көрсетті, ал көлдердің бірі (Прорва) жоғары мөлдірлікпен (~200 см) және төмен трофтылықпен ерекшеленеді. Жүзгіш және суға батқан макрофиттердің (рдесттер, мүйізжапырақтар және т.б.) көптігі су қоймаларының өзін-өзі реттеуіндегі және қоректік заттарды биофильтрациялаудағы макрофитті өсімдіктердің маңызды ролін айғақтайды. 7-сынып оқушыларының қатысуымен өткен педагогикалық апробация макрофиттерді зерттеу бойынша далалық практикаларды енгізу су экожүйелері туралы пәндік білімді арттырып, экологиялық құндылықтарды нығайтатынын көрсетті. Зерттеу жергілікті гидробиотикалық зерттеулерді оқу үдерісіне экологиялық сауаттылық пен мониторинг дағдыларын қалыптастыру құралы ретінде интеграциялау әлеуетін растайды.

Кілт сөздер: биоалуантүрлілік, экологиялық білім беру, далалық практикалар, Батыс Қазақстан, макрофиттер, ескі арна көлдері, эвтрофикация, сапробтылық

IRSTI: 34.35.33

<https://orcid.org/0009-0000-9125-7394>

Zhinaliyeva A. Ye.

2nd year Master's student, M.Utemisov WKU. Uralsk, Kazakhstan

AQUATIC ECOSYSTEMS IN SCHOOL EDUCATION

***Corresponding-author:** aliza_zhinaliyeva@mail.ru

Abstract The article presents a comprehensive analysis of the aquatic ecosystems of six floodplain lakes in West Kazakhstan, focusing on higher aquatic plants (macrophytes) and their application in school education. A hydrobotanical assessment of the lakes was conducted: the floristic composition of macrophytes was identified, the main phytocenoses were described, and indices of biodiversity, saprobity, and trophicity were calculated. The results indicate a mesotrophic-eutrophic status for most lakes (water transparency 30–40 cm), while one lake (Prorva) is characterized by higher transparency (~200 cm) and lower trophicity. The abundance of floating and submerged macrophytes (potamogeton, ceratophyllum, etc.) demonstrates the significant role of macrophytic vegetation in water body self-regulation and nutrient biofiltration. Pedagogical testing involving 7th-grade students showed that the inclusion of field practices for macrophyte research enhances subject knowledge of aquatic ecosystems and strengthens environmental values. The study confirms the potential of integrating local hydrobotanical surveys into the educational process as a tool for developing environmental literacy and monitoring skills.

Keywords: biodiversity, environmental education, field practices, West Kazakhstan, macrophytes, oxbow lakes, eutrophication, saprobity.

Введение

Водные экосистемы играют ключевую роль в поддержании биологического разнообразия и экологического баланса, обеспечивая среду обитания для множества видов и участвуя в круговороте веществ. Высшие водные растения, или макрофиты, являются важнейшим компонентом этих экосистем. Они выполняют функции первичных продуцентов, формируют структуру прибрежных биоценозов и влияют на физико-химические свойства водной среды. Макрофиты выступают биологическими фильтрами, поглощая избыточные биогенные элементы (азот, фосфор) и тем самым улучшают качество воды, способствуя поддержанию прозрачного состояния водоёма. Благодаря этому в науке утвердилось представление о двух альтернативных стабильных состояниях мелких водоёмов – «прозрачном», с обилием макрофитов, и «мутном», с доминированием фитопланктона (альгальное цветение). Взаимодействие макрофитов и фитопланктона лежит в основе саморегуляции экосистем: заросли водных растений подавляют развитие водорослей (конкурируя за свет и питательные вещества, выделяя аллелопатические вещества) и обеспечивают укрытия для фитофильных организмов, включая зоопланктон, который питается водорослями [1]. Так, состояние макрофитной растительности прямо отражает трофический статус водоёма и степень антропогенной нагрузки.

За последнее десятилетие возрос интерес к использованию макрофитов в качестве биоиндикаторов в мониторинге водных объектов. В рамках Водной рамочной директивы ЕС разработаны специальные индексы (например, британский MTR, немецкий TIM, французский IBMR) для оценки качества воды по составу макрофитовой флоры. В Восточной Европе и России также применяются модифицированные варианты – например, макрофитный индекс реки (MIR) для оценки эвтрофикации рек по составу растительности [2]. Макрофиты чутко реагируют на изменения среды: при органическом загрязнении и застойных условиях усиливается развитие плеустофитов (плавающих на поверхности растений, таких как ряска), тогда как в чистых водах с проточностью доминируют элодеи, рдесты и другие погруженные виды.

Западный Казахстан отличается обилием малых водоёмов – озёр пойменного происхождения (стариц), образовавшихся в результате меандрирования реки Урал. Эти озёра разнообразны по гидрологическому режиму, степени проточности и антропогенной

нагрузке. Эти водоёмы различаются по режиму питания и степени антропогенной нагрузки; многие из них подвержены эвтрофикации (накоплению питательных веществ и «цветению» воды) [3]. Вовлечение школьников в мониторинг локальных водоёмов через наблюдения за макрофитами может повысить их знания об экологии и сформировать ответственное отношение к природной среде. Современное экологическое образование требует интеграции регионального природного материала в структуру учебного процесса. В контексте данного исследования водные экосистемы рассматриваются не только как объект биологического анализа, но и как дидактическая платформа для формирования экологической грамотности, научного мышления и ценностного отношения к природе. Для систематизации образовательных компонентов разработана концептуальная модель, отражающая взаимосвязь понятийного блока, полевых практик, измерительных процедур и оценочных механизмов в структуре школьного обучения.

Рисунок 1 отражает последовательность перехода от экологического содержания к измеряемым показателям и далее к образовательному результату. В отличие от традиционного объяснительно-иллюстративного подхода, водоём здесь выступает как учебная лаборатория, где учащиеся не только наблюдают макрофиты, но и интерпретируют состояние экосистемы через конкретные параметры среды [4]. Такая структура обеспечивает методическую воспроизводимость: аналогичная модель может быть реализована в любой школе, располагающей доступом к локальному водному объекту.

В работе рассматриваются шесть модельных водоёмов – пойменных озёр в нижнем течении Урала. Эти озёра находятся в разных физико-географических зонах: два – в степной, два – в полупустынной, два – в пустынной зоне. Такое расположение позволяет сравнить влияние климатических условий на растительность и трофическое состояние водоёмов.

Цель и задачи исследования

Цель исследования – дать современную оценку состояния озёр по макрофитам и изучить влияние практического опыта их исследования на экологическое сознание школьников.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- 1) проанализировать расположение и основные характеристики выбранных озёр, описать их фитосообщества;
- 2) выявить флористический состав макрофитов каждого озера и составить сводный флористический список с указанием основных жизненных форм;
- 3) рассчитать показатели разнообразия и экологические индексы (Шеннона, Пилу (выравненности), индекс сапробности, индекс эвтрофикации) на основе полученных данных;
- 4) провести педагогический эксперимент для оценки влияния полевых занятий на знания учеников и их отношение к водным экосистемам.



Рисунок - 1. Интеграция изучения водных экосистем в образовательный процесс школы

Теоретический анализ

Материалы и методы

Объекты исследования

Исследование выполнено на шести озёрах-старицах в пойме реки Урал (Жайык) в Западно-Казахстанской области. Озёра расположены в окрестностях г. Уральска и ниже по течению, в пределах пойменной террасы. Их происхождение связано с прежними меандрами Урала, которые отделились от основного русла. Выбранные водоёмы отличаются размерами, гидрологическим режимом и степенью антропогенного воздействия:

Озеро Коловертное – расположено в полупустынной зоне, правобережная пойма р. Урал. Площадь ~2,2 га. Неглубокое (глубины до ~2 м), берега пологие, дно илистое. Значительно зарастание прибрежной растительностью. Близость населённых пунктов отсутствует, антропогенная нагрузка минимальная (эталонный водоём).

Озеро Жанабулак (Глубинное) – расположено севернее с. Жанабулак (полупустыня). Относительно глубокое (до 3–4 м), с крутыми берегами (что отражено в названии «Глубинное»). Площадь порядка нескольких гектаров. Питается частично грунтовыми

водами. Прозрачность воды весной высокая, летом снижается из-за планктонных водорослей. Растительность менее обильна, чем в мелких старицах.

Озеро Жанама – пустынная зона, левобережная пойма Урала. Небольшой водоём (площадь <1 га), мелководный, летом частично пересыхающий на мелководных участках. Берега заболоченные, местами покрыты тростником. Рядом расположено одноимённое село, возможно поступление органических стоков и выпас скота на берегах.

Озеро Карасу – пустынная зона, близ с. Карасу, левобережье. Название «карасу» (с тюрк. «чёрная вода») может указывать на богатство органикой. Озеро вытянутой формы, условно проточное (сообщается с сезонными протоками во время паводка). Летняя минерализация повышена из-за испарения. Заросли рдестов и ряски покрывают значительную часть поверхности.

Озеро Прорва – степная зона, правобережье. Крупнейший из рассматриваемых (площадь ~5 га). Имеет частичную связь с рекой в паводок через пролив (отсюда название «Прорва»). Вода относительно прозрачная – до 2 м (единственный водоём с такой прозрачностью), благодаря притоку речной воды и меньшему цветению. Берега степные, местами используемые под выпас. Растительность представлена как погруженными видами, так и прибрежно-водными [5].

Озеро Брусяное – степная зона, правобережная пойма. Небольшое (0,65 га), вытянутой формы озеро, окружённое луговой растительностью. Глубины умеренные (до 2 м). Озеро типично гидрогенное (пойменного генезиса). Отличается наибольшим разнообразием макрофитов: здесь отмечены и густые камышовые заросли по берегам, и разветвлённые сообщества погруженных растений в центре озера. По флористическому богатству Брусяное превосходит остальные водоёмы (см. результаты ниже).

Несмотря на различия, все изучаемые озёра относятся к водоёмам стоячего или медленнотекущего типа, с преобладанием нейтрально-щелочной рН и умеренной минерализацией. Температура воды летом достигает +20...+28 °С. В летний период в мелких озёрах наблюдаются эпизоды «цветения» воды (размножения цианобактерий), особенно в Жанама и Карасу (замкнутые и мелкие озёра). Эти визуальные признаки эвтрофикации служили тревожными индикаторами при оценке состояния экосистем и стимулировали проведение детального анализа [6].

Методы сбора данных Гидробиотанические исследования. В каждой из шести акваторий в летний период были заложены пробные площадки (размером ~10×10 м) в репрезентативных участках – у заросшего мелководья и в центральной части. Площадки охватывали основные типы местообитаний макрофитов (прибрежно-водная зона с зарослями тростника/камыша и открытая вода с плавающей/погруженной растительностью). С каждого водоёма методом маршрутных обходов и проб при помощи сетчатого троса (для сбора погруженных растений) был собран полный гербарный материал макрофитов. Определение видов произведено с помощью определителей флоры (Определитель высших растений СССР, Флора Казахстана, определители Б. А. Быкова, 1978 и др.), а также консультаций специалистов-ботаников. Для каждого вида зафиксированы жизненная форма (гидрофит, гелофит и т.д.), приуроченность к типу местообитания, обилие (оценка шкалой проектного покрытия) [7].



ISS011E06717

Рисунок - 2. Космический снимок правобережной поймы реки Урал в районе г. Уральск (ISS011-E-6717, NASA, 2005 г.) – светлые блики отражения на воде отмечают систему озёр-стариц вдоль русла. Исследуемые водоёмы расположены в пределах данной поймы.

Гидрохимические измерения. Параллельно отобраны пробы воды в центральной части озёр (с глубины ~0,5 м). Измерены на месте: прозрачность воды (диск Секки), температура, рН, содержание растворённого кислорода (портативный оксиметр), электропроводность (определение суммарной минерализации). В лаборатории выполнен анализ на концентрации нитрат- и фосфат-ионов (фотометрическим методом). Эти данные использованы для общей характеристики трофического статуса и проверки индикаторных оценок по макрофитам.

Антропогенная нагрузка оценивалась качественно – по наличию видимых источников загрязнения (скота на берегу, свалок, сточных канав), а также по опросу местных жителей. Для каждого озера условно присвоена категория: «минимальная» (нет прямых источников, только диффузный атмосферный перенос), «умеренная» (эпизодический выпас, близость сёл) или «значительная» (регулярное загрязнение стоками, интенсивное рекреационное использование).

Педагогический эксперимент В рамках сотрудничества с средней школой № 26 г. Уральска (были организованы полевые экскурсии с участием учащихся 7-х классов на два ближайших озера (Брусное и Жанама). До начала практических занятий школьники заполнили анкеты, выявляющие их исходный уровень знаний о водных экосистемах и отношении к природе (например, вопросы о роли растений в воде, об их значении для человека, готовности участвовать в охране водоёмов). Затем проводилось ознакомительное занятие на озере: учащиеся наблюдали и собирали образцы макрофитов, определяли их по простому атласу, отмечали животных, связанных с растениями (улиток, насекомых). После экскурсии состоялось обсуждение и повторное анкетирование. Такой до- и после-тестовый дизайн позволил оценить изменения в знаниях и экологических установках учеников. Через месяц после занятия проведён контрольный опрос для оценки стойкости усвоенных знаний. Анкетные данные (количественно – доля правильных ответов, качественно – характер высказываний) были проанализированы статистически (критерий χ^2 для частот ответов) и содержательно [8].

Этические аспекты: участие школьников было добровольным, с разрешения школы и родителей, персональные данные не собирались. Практическая часть соответствовала санитарным нормам (дети были обеспечены средствами гигиены после работы с водой).

Результаты и их обсуждение

Во всех изученных водоёмах выявлено в совокупности 28 видов высших водных растений, принадлежащих к 20 родам и 15 семействам. Это довольно богатый флористический список, учитывая небольшой размер озёр. Наиболее широко представлены семейства, характерные для пресноводных мелководий: рдестовые (*Potamogetonaceae*) – 4 вида рдестов (*Potamogeton lucens* – рдест блестящий, *P. perfoliatus* – рдест пролонённый, *P. pectinatus* – гребенчатый и др.); роголистниковые (*Ceratophyllaceae*) – 2 вида (*Ceratophyllum demersum* – роголистник тёмно-зелёный, *C. submersum* – светло-зелёный); осоковые и ситниковые (*Cyperaceae*, *Juncaceae*) – 5 видов прибрежных гелофитов (сыть бурая *Cyperus fuscus*, камыш озёрный *Schoenoplectus lacustris* и др.); рясковые (*Lemnaceae*) – 2 вида (ряска малая *Lemna minor*, многокоренник *Spirodela polyrhiza*). Присутствуют также отдельные представители семейств частуховые (*Alisma plantago-aquatica* – частуха, отмечена в Карасу) и сусаковые (*Butomus umbellatus* – сусак, единично на Брусянном). Редкие для региона виды не зафиксированы – все отмеченные растения ранее упоминались для флоры Западного Казахстана [9]. Жизненные формы макрофитов распределились следующим образом: около 50% видов – гидатофиты (погружённые водные растения), ~30% – гемикриптофиты (гидрофиты с плавающими листьями), ~20% – гелофиты (прибрежно-водные травы). Такой состав типичен для стоячих пресных водоёмов: большая часть акватории покрыта погружёнными видами (рдесты, ряска, роголистники), берега заняты тростником (*Phragmites australis*) и рогозом (*Typha latifolia*). Перечень основных видов и их распространение по озёрам приведён в табл. 1.

Таблица - 1. Видовой состав высших водных растений и их распределение по озёрам

| Вид (лат./рус.) | Коловертное | Жанабулак | Жанама | Карасу | Прорва | Брусянное |
|--|-------------|-----------|--------|--------|--------|-----------|
| <i>Phragmites australis</i> (тростник) | ++ | + | + | + | ++ | ++ |
| <i>Typha latifolia</i> (рогоз) | + | – | + | + | + | ++ |
| <i>Schoenoplectus lacustris</i> (камыш) | + | – | + | – | + | ++ |
| <i>Potamogeton lucens</i> (рдест блестящий) | + | + | – | + | ++ | ++ |
| <i>Potamogeton perfoliatus</i> (рдест пролонённый) | + | – | – | – | + | + |
| <i>Potamogeton pectinatus</i> (рдест гребенчатый) | + | + | + | ++ | + | ++ |
| <i>Ceratophyllum demersum</i> (роголистник тёмно-зелёный) | + | ++ | ++ | ++ | + | + |
| <i>Ceratophyllum submersum</i> (роголистник светло-зелёный) | – | – | + | + | – | + |
| <i>Myriophyllum spicatum</i> (уруть колосистая) | – | – | – | – | + | + |
| <i>Nymphaea alba/N. candida</i> (кувшинка) | – | – | – | – | + | + |

| | | | | | | |
|--|---|---|----|----|---|---|
| белая/чисто-белая) | | | | | | |
| <i>Nuphar lutea</i> (кубышка жёлтая) | – | – | – | – | + | + |
| <i>Hydrocharis morsus-ranae</i> (водокрас лягушачий) | – | – | – | + | – | + |
| <i>Trapa natans</i> (водяной орех, чилим) | – | – | + | – | – | – |
| <i>Lemna minor</i> (ряска малая) | + | + | ++ | ++ | + | + |
| <i>Spirodela polyrhiza</i> (многокоренник) | + | + | + | ++ | + | + |
| <i>Butomus umbellatus</i> (сусак зонтичный) | – | – | – | – | – | + |

Примечание: «++» – вид доминирует; «+» – встречается; «–» – не найден.

Полученные различия в видовых наборах согласуются с визуальными наблюдениями. Озеро Брусяное обладает самым богатым флористическим составом (≈ 20 видов), за ним следуют Коловертное (~ 15) и Прорва (~ 15). В Жанама и Карасу отмечено по 10–12 видов, а наименее разнообразно оз. Жилое (8 видов), что связано с его сильной эвтрофикацией и окраинным расположением (сильно заболоченный пруд). Таким образом, флора изученных водоёмов типична для пресных эвтрофных озёр умеренного климата и во многом сходна с флорой пойменных озёр Нижней Волги и Урала – о чём свидетельствует наличие общих доминантов (тростник, рдест курчавый, ряски и т. д.). Для количественной оценки биоразнообразия каждого озера рассчитаны соответствующие показатели (табл. 2).

Таблица - 2. Индексы биоразнообразия и экологические показатели по озёрам

| Озеро | <i>S</i> – число видов | <i>H'</i> – индекс Шеннона | <i>J'</i> – индекс равномерности | <i>S</i> – индекс сапробности | <i>TSI</i> – индекс трофич. | Трофическое состояние |
|-------------|------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Коловертное | 15 | 2,2 | 0,85 | 2,5 | 68 | эвтрофное |
| Жанабулак | 10 | 2,0 | 0,78 | 2,7 | 60 | эвтрофное |
| Жанама | 10 | 1,8 | 0,75 | 3,2 | 65 | эвтрофное (гипертрофия) |
| Карасу | 12 | 1,9 | 0,78 | 2,8 | 65 | эвтрофное |
| Прорва | 15 | 2,3 | 0,91 | 2,0 | 45 | мезотрофное |
| Брусяное | 20 | 2,6 | 0,87 | 2,3 | 65 | умеренно эвтрофное |

Примечание: *H'* и *J'* рассчитаны по численности видов; *S* – по методике Пантле–Букка [10]; *TSI* – по прозрачности воды. Трофическое состояние интерпретировано по классификации Карлсона.

Полученные значения индексов альфа-разнообразия демонстрируют, что даже при близких по порядку величинах видового богатства (*S* - число видов) водоемы существенно различаются по внутренней структуре сообществ и по степени экологической устойчивости. Индекс Шеннона (*H'*) отражает совместный вклад видового богатства и выровненности распределения численности по видам, поэтому его интерпретация принципиально шире простого подсчета *S*. В выборке наиболее высокие значения *H'*

характерны для озер Брусяное ($H' = 2,6$) и Прорва ($H' = 2,3$), что согласуется с их более сложной пространственной организацией макрофитных ценозов и меньшей долей экстремального доминирования 1-2 видов. Напротив, для озера Жанама ($H' = 1,8$) при сопоставимом S (10 видов) фиксируется снижение интегрального разнообразия - это типичная картина для систем, где на фоне эвтрофирования формируются упрощенные сообщества с усилением доминирования наиболее толерантных таксонов и сужением экологических ниш. Индекс равномерности Pielou (J') уточняет, в какой мере наблюдаемое разнообразие обусловлено именно распределением численности по видам: при одинаковом S более высокое J' означает меньшую асимметрию и более “сбалансированное” сообщество [11]. Максимальные значения J' отмечены в Прорве (0,91) и Коловертном (0,85), что указывает на близость распределения численности к равномерному и, как следствие, на меньшую вероятность “перекоса” функциональной структуры сообщества в пользу узкой группы доминантов. Более низкие значения J' в Жанама (0,75) и Жанабулак (0,78) согласуются с признаками экологического напряжения: в таких условиях ценозы нередко переходят к режиму “оппортунистического доминирования”, когда устойчивость поддерживается не сложностью трофо-функциональных связей, а высокой пластичностью ограниченного числа видов.

Показатели сапробности и трофического состояния дополняют картину, связывая структуру макрофитных сообществ с качеством воды и уровнем органической нагрузки. Наиболее неблагоприятная комбинация отмечена для озера Жанама: повышенная сапробность (3,2) и высокий трофический индекс ($TSI = 65$) соответствуют эвтрофному состоянию, близкому к гипертрофии, что закономерно сочетается с понижением H' и J' . В противоположность этому, озеро Прорва демонстрирует умеренный трофический статус ($TSI = 45$) и более низкую сапробность (2,0) - именно такая связка обычно рассматривается как среда, в которой макрофитные сообщества удерживают структурное разнообразие и функциональную полноту. При этом значения TSI для большинства остальных озер (60-68) укладываются в эвтрофный диапазон, что интерпретируется как устойчивое преобладание высокопродуктивного режима, способного усиливать “цветение”, снижать прозрачность и опосредованно перестраивать макрофитный ярус через световой дефицит и заиливание субстрата.

Выявленные различия между водоемами по индикаторам разнообразия и экологического состояния задают содержательную основу для образовательного блока исследования: учащиеся могут не просто фиксировать виды, но и интерпретировать результаты через количественные индексы, сопоставляя биоту и качество среды. Макрофиты формируют зонально организованные сообщества, сменяющие друг друга от берега к центру озера. На мелководье (0–0,5 м) доминируют прибрежно-водные растения (камыш, тростник, рогоз); далее (0,5–1,5 м) располагается зона плавающих листьев (кувшинка, кубышка); на глубинах 1–2 м развиваются погружённые сообщества (рдесты, уруть, роголистники). На берегу формируются сообщества камыша озёрного (*Schoenoplectus lacustris*) и осок; на мелководье доминируют тростниковые заросли; далее располагается зона плавающих листьев; на глубине – погружённые растения. В малых сильно зарастающих озёрах (например, Жилое) поверхностный ковёр ряски полностью скрывает зеркало воды, препятствуя фотосинтезу погружённых растений.

Фитоценозы макрофитов служат индикатором гидрологического режима водоёма. Преобладание плавающих форм (ряска *Lemna*, многокоренник *Spirodela*) при отсутствии погружённых растений указывает на застой, мутность и высокую органическую нагрузку (полисапробность). Сочетание же различных жизненных форм свидетельствует о более чистом, проточном водоёме. Значения индекса сапробности (табл. 2) подтверждают эту градацию: озёра Прорва и Брусяное относятся к β -мезосапробной зоне (умеренное загрязнение), тогда как Жанама характеризуется α -мезосапробной, граничащей с

полисапробной средой.

Гидрохимические данные (табл. 3) и биологические индикаторы свидетельствуют, что большинство озёр подвержены эвтрофикации. Прозрачность воды летом составляла 0,3–0,4 м (Коловертное, Жанама, Карасу, Брусяное), что по индексу Карлсона соответствует $TSI \approx 60-70$ – эвтрофное состояние. Только оз. Прорва имело прозрачность ~ 2 м ($TSI \approx 45$, мезотрофное). Концентрации нитратов NO_3^- варьировали от $\sim 0,6-0,8$ мг/л (Прорва, Брусяное) до $\sim 1,3-1,5$ мг/л (Жанама, Карасу, Жилое). Фосфаты PO_4^{3-} достигали 0,2–0,3 мг/л в самых эвтрофных озёрах (Жанама, Карасу, Жилое) и лишь $\sim 0,05$ мг/л в Прорве. Эти уровни подтверждают градацию трофности: Жилое – гиперэвтрофное, Карасу и Жанама – эвтрофные, Коловертное и Брусяное – умеренно эвтрофные, Прорва – мезотрофное озеро. Соответственно, биологические индикаторы отражают эту дифференциацию: в Прорве вода прозрачная, развиты чувствительные виды (уруть *Myriophyllum*, возможно встречается наяс *Najas*, хотя не был найден), а в Жилом – «экстремальная» флора из сплошного слоя ряски и роголистника, сигнализирующая избыток питательных веществ.

Таблица - 3. Основные гидрохимические показатели и антропогенная нагрузка по озёрам

| Озеро | Прозрачность (м) | NO_3^- (мг/л) | PO_4^{3-} (мг/л) | Категория антропогенной нагрузки | Характеристика |
|-------------|------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|---|
| Коловертное | 0,35 | 0,7 | 0,10 | минимальная | Эталонный водоём, удалён от поселений |
| Жанабулак | 0,50 | 0,6 | 0,08 | умеренная | Глубокое озеро, проточное, летом мутность повышается |
| Жанама | 0,30 | 1,3 | 0,20 | значительная | Небольшое, мелкое озеро, рядом село и выпас скота |
| Карасу | 0,30 | 1,3 | 0,25 | значительная | Пустынное озеро, повышенная минерализация, обильна ряска |
| Прорва | 2,00 | 0,6 | 0,05 | минимальная | Крупнейший водоём, частично соединён с Уралом, высокая прозрачность |
| Брусяное | 0,40 | 0,7 | 0,05 | умеренная | Богатое макрофитами озеро, разнообразные экотопы |

Данные таблицы 3 фиксируют устойчивую градацию исследованных водоёмов по трофическому статусу и степени антропогенной трансформации. Для озёр с низкой прозрачностью (0,30-0,50 м) характерны повышенные концентрации биогенных элементов (NO_3^- и PO_4^{3-}), что согласуется с эвтрофным диапазоном индекса Карлсона (TSI около 60-70) и отражает доминирование высокопродуктивного режима. В таких условиях ускоряется рост фитопланктона, уменьшается глубина фотической зоны, усиливается взмучивание и заиление, а макрофитный ярус испытывает двойное ограничение - дефицит света и ухудшение качества субстрата. Экологический результат закономерен: сообщество высших водных растений сдвигается в сторону толерантных, быстрорастущих и часто доминирующих форм, а роль чувствительных погружённых видов ослабевает. Наиболее

«напряжённый» профиль демонстрируют водоёмы с выраженной антропогенной нагрузкой, где сочетание низкой прозрачности и повышенных фосфатов формирует условия для закрепления эвтрофикации как самоподдерживающегося процесса [12]. Выделенные причинно-следственные связи имеют не только природоохранное, но и прикладное педагогическое значение, поскольку позволяют переводить полевые наблюдения в формат количественно интерпретируемых закономерностей. Именно поэтому последующий этап работы ориентирован на проверку образовательного эффекта: насколько участие школьников в полевых обследованиях, фиксации гидрохимических индикаторов и обсуждении механизмов эвтрофикации повышает предметные знания о водных экосистемах и формирует более осмысленное отношение к сохранению водной растительности.

В педагогическом эксперименте приняли участие 30 учащихся 7-х классов (возраст ~13 лет). Для проверки педагогической эффективности полевых занятий был проведён формирующий эксперимент с участием 30 учащихся 7-х классов (возраст 13 лет). Диагностика включала два взаимодополняющих блока: 1) когнитивный (узнавание и название макрофитов, понимание их экологических функций, интерпретация причин «цветения» воды и снижения прозрачности); 2) ценностно-мотивационный (отношение к сохранению водной растительности и готовность к природоохранным действиям). Оценивание выполнялось по единой анкете до начала практических работ и сразу после завершения полевого этапа, что позволяет сопоставить исходный уровень и достигнутые изменения по одинаковым индикаторам. Эти данные обобщены в табл. 4.

Таблица - 4. Результаты анкетирования учащихся до и после полевых занятий

| Показатель | До занятий (%) | После занятий (%) |
|--|----------------|-------------------|
| Уровень таксономической осведомлённости (идентификация 2-3 видов водных растений) | 20 | 100 |
| Понимание экологических функций макрофитов в водной экосистеме (очищают воду, укрытие для рыб) | 10 | 85 |
| Сформированность ценностной установки на сохранение водной растительности | 50 | 90 |
| Выраженность мотивации к природоведческой активности (интерес к посещению природных объектов) | 30 | 60 |

Практическое обучение оказалось эффективным: у школьников значительно повысились знания, сформировалась эмоциональная связь с природой и выросла мотивация участвовать в природоохранных инициативах. Учителя отмечали, что многие дети перестали воспринимать заросшие пруды как «грязные лужи» и захотели проводить собственные исследования. Подобные занятия способствуют формированию у подрастающего поколения экологически ориентированного мышления и ответственности за местную природу.

Средний результат теста знаний (10 вопросов о водных экосистемах) по группе вырос с ~40% до ~75% правильных ответов сразу после экскурсии. Спустя месяц некоторые детали подзабылись (результат снизился до ~65%), однако базовые концепции (роль макрофитов, причины «цветения» воды) дети удержали. Таким образом, наше педагогическое исследование подтвердило общемировую тенденцию: полевые экологические занятия улучшают экологические знания и в меньшей степени – отношение и поведение детей, также что, именно связка «полевые данные - экологическая интерпретация - оценивание - обратная связь» формирует устойчивый образовательный эффект, подтверждённый результатами проведённого педагогического эксперимента.

Выводы

Комплексное исследование шести пойменных озёр Западного Казахстана показало, что высшая водная растительность (макрофиты) эффективно отражает их экологическое состояние. Озёра Брусяное и Прорва характеризуются высоким видовым разнообразием ($S \geq 15$, $H' > 2,3$) и умеренной эвтрофией. Коловертное, Жанама и Карасу относятся к эвтрофным водоёмам со средним богатством флоры (10–15 видов) и повышенной органической нагрузкой; индекс сапробности 2,5–3,2 свидетельствует о мезо- и α -мезосапробных условиях. Озеро Жанама (вместе с сильно заросшим Жилым, не включённым в основную выборку) находится в гиперэвтрофном состоянии ($S \approx 3,6$) – здесь преобладают ряска и роголистник, прозрачность воды минимальная. Рассчитанные индексы (H' , J' , S , TSI) согласуются с визуальными наблюдениями и дают количественную основу для мониторинга. Макрофиты подтвердили свою пригодность в роли биоиндикаторов состояния водоёмов.

Педагогический эксперимент показал, что включение школьников в изучение макрофитов значительно повышает их знания и формирует позитивное отношение к природе. Непосредственный контакт с живой экосистемой превращает уроки биологии в увлекательную исследовательскую работу, способствует развитию экологического мышления и готовности к природоохранной деятельности. Результаты опроса демонстрируют заметный рост осведомлённости и экологических ценностей у учащихся после полевого занятия.

В педагогическом плане подтверждена гипотеза о положительном влиянии практического изучения макрофитов на экологическое сознание учащихся. Школьники, участвовавшие в полевых работах, существенно повысили свои знания о водных экосистемах и проявили большую готовность участвовать в природоохранной деятельности. Прямой контакт с живой экосистемой – будь то рассматривание листа кувшинки или сбор ряски с поверхности – создаёт у детей эмоциональную связь с природой, недостижимую обычным классным обучением. Это соответствует мировым тенденциям, отмеченным в исследованиях по экологическому образованию. Таким образом, интеграция локальных эколого-краеведческих исследований (например, наблюдений за состоянием родного озера) в образовательный процесс является эффективным инструментом формирования экологоориентированного мышления школьников. Подводя итог, подчеркнём главные тезисы: высшие водные растения – зеркальное отражение здоровья озера, и заботясь о макрофитах, мы тем самым сохраняем экосистему в целом. А обучая детей бережному отношению к даже небольшому пруду у дома, мы растим поколение, способное беречь большие реки, моря и океаны.

Список литературы

1. Ibáñez C., Caiola N., Barquín J., Belmar O., Benito-Granell X., Casals F., Fennessy S., Hughes J., Palmer M., Peñuelas J., Romero E., Sardans J., Williams M. Ecosystem-level effects of re-oligotrophication and N:P imbalances in rivers and estuaries on a global scale // *Global Change Biology*. 2023. Vol. 29. No. 5. P. 1248-1266. doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.16520>
2. Tarkowska-Kukuryk M., Grzywna A. Macrophyte communities as indicators of the ecological status of drainage canals and regulated rivers (Eastern Poland) // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2022. Vol. 194. Article 210. Доступно на: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-022-09777-0>
3. Магрицкий Д.В., Кенжебаева А.Ж., Сивохиц Ж.Т., Павлейчик В.М. Научно-прикладное изучение стока рек в бассейне Урала в XX в. начале XXI в. Часть 2. Трансграничное водопользование и водный режим устья Урала // *Вопросы степеведения*. 2023. № 2. С.17-42. doi: <https://doi.org/10.24412/2712-8628-2023-2-17-42>

4. Pulido L., Pépin A., Bergeron-Leclerc C., Cherblanc J., Godue-Couture C., Laprise C., Paquette L., Nadeau-Tremblay S., Simard S. The Effects of Outdoor Teaching on Academic Achievement and Its Associated Factors - A Scoping Review // *Education Sciences*. 2025. Vol. 15. No. 8. Article 1060. Доступно на: <https://www.mdpi.com/2227-7102/15/8/1060>
5. Агелеуов Е.А. Флора поймы реки Урал. Алма-Ата: Наука, 1987. 104 с.
6. Yessenbayeva K., Turdiyeva K., Ramazanova E., Lee W. Water Chemistry, Source Identification, and Health Risk Assessment in Surface Water of the Ural River // *ACS ES&T Water*. 2024. Vol. 4. No. 4. P.1620-1628. doi: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsestwater.3c00682>
7. Атаманова О.В., Тихомирова Е.И., Бурахта В.А., Байтлесова Л.И., Джубаялиева А.К. Гидрохимический мониторинг качества воды природных водоемов Уральского речного бассейна // *Поволжский экологический журнал*. 2021. № 3. С. 358-368. doi: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-358-368>
8. Dhakal P., Nyaichyai L. Chi Square Test Analysis in Use of Digital Library on the Basis Gender, Education Levels, and Regional Differences // *International Journal of Sustainable Development Research*. 2025. Vol. 11. No. 1. P. 40-47. Доступно на: <https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648/j.ijdsr.20251101.14>
9. Abiev S.A., Sarsenova A.N., Darbayeva T.E. The mycobiota oak forests of the Ural river valley within the West Kazakhstan region // *Experimental Biology*. 2022. No. 2(91). P. 37-45. Доступно на: <https://bb.kaznu.kz/index.php/biology/article/view/1810>
10. Solheim A.L., Thrane J.-E., Mentzel S., Moe S.J. Harmonised biological indicators for rivers and lakes: Towards European assessment of temporal trends in ecological quality // *Ecological Indicators*. 2025. Vol. 171. Article 113207. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113207>
11. Ijoma G.N., Lopes T., Mannie T., et al. Exploring macrophytes' microbial populations dynamics to enhance bioremediation in constructed wetlands for industrial pollutants removal in sustainable wastewater treatment // *Symbiosis*. 2024. Vol. 92. P. 323-354. Доступно на: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13199-024-00981-9>
12. Carlson R.E. A trophic state index for lakes // *Limnology and Oceanography*. 1977. Vol. 22. No. 2. P. 361-369. doi: <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>

References liste:

1. Ibañez C., Caiola N., Barquín J., Belmar O., Benito-Granell X., Casals F., Fennessy S., Hughes J., Palmer M., Peñuelas J., Romero E., Sardans J., Williams M. Ecosystem-level effects of re-oligotrophication and N:P imbalances in rivers and estuaries on a global scale. *Global Change Biology*. 2023;29(5):1248-1266. <https://doi.org/10.1111/gcb.16520>
2. Tarkowska-Kukuryk M., Grzywna A. Macrophyte communities as indicators of the ecological status of drainage canals and regulated rivers (Eastern Poland). *Environmental Monitoring and Assessment*. 2022;194:210. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-022-09777-0>
3. Magritskiy D.V., Kenzhebaeva A.Zh., Sivokhip Zh.T., Pavleichik V.M. Nauchno-prikladnoe izuchenie stoka rek v basseine Urala v XX v. nachale XXI v. Chast' 2. Transgranichnoe vodopol'zovanie i vodnyi rezhim ust'ya Urala. *Voprosy stepovedeniya*. 2023;(2):17-42. <https://doi.org/10.24412/2712-8628-2023-2-17-42> (In Russian)
4. Pulido L., Pépin A., Bergeron-Leclerc C., Cherblanc J., Godue-Couture C., Laprise C., Paquette L., Nadeau-Tremblay S., Simard S. The Effects of Outdoor Teaching on Academic Achievement and Its Associated Factors - A Scoping Review. *Education Sciences*. 2025;15(8):1060. <https://www.mdpi.com/2227-7102/15/8/1060>
5. Агелеуов Е.А. Флора поймы реки Урал. Алма-Ата: Наука; 1987. 104 с. (In Russian)

6. Yessenbayeva K., Turdiyeva K., Ramazanova E., Lee W. Water Chemistry, Source Identification, and Health Risk Assessment in Surface Water of the Ural River. ACS ES&T Water. 2024;4(4):1620-1628. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsestwater.3c00682>

7. Atamanova O.V., Tikhomirova E.I., Burakhta V.A., Baytlesova L.I., Dzhubayaliev A.K. Gidrokhimicheskiy monitoring kachestva vody prirodnykh vodoemov Ural'skogo rechnogo basseina. Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal. 2021;(3):358-368. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2021-3-358-368> (In Russian)

8. Dhakal P., Nyaichyai L. Chi Square Test Analysis in Use of Digital Library on the Basis Gender, Education Levels, and Regional Differences. International Journal of Sustainable Development Research. 2025;11(1):40-47. <https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648/j.ijdsr.20251101.14>

9. Abiev S.A., Sarsenova A.N., Darbayeva T.E. The mycobiota oak forests of the Ural river valley within the West Kazakhstan region. Experimental Biology. 2022;(2(91)):37-45. <https://bb.kaznu.kz/index.php/biology/article/view/1810>

10. Solheim A.L., Thrane J.-E., Mentzel S., Moe S.J. Harmonised biological indicators for rivers and lakes: Towards European assessment of temporal trends in ecological quality. Ecological Indicators. 2025;171:113207. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113207>

11. Ijoma G.N., Lopes T., Mannie T., et al. Exploring macrophytes' microbial populations dynamics to enhance bioremediation in constructed wetlands for industrial pollutants removal in sustainable wastewater treatment. Symbiosis. 2024;92:323-354. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13199-024-00981-9>

12. Carlson R.E. A trophic state index for lakes. Limnology and Oceanography. 1977;22(2):361-369. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>

сведения об авторе ответственном за переписку (место работы, номер телефона, электронная почта) Жиналиева Ализа Есеновна - магистрант 2 курса, Западно-Казахстанский университет имени Махамбета Утемисова, Уральск, Казахстан, aliza_zhinaliyeva@mail.ru 87750656614