

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра геоморфологии и геоэкологии

**Использование нейронных сетей для анализа биохимического
потребления кислорода по данным дистанционного зондирования (на
примере фрагмента акватории Волгоградского водохранилища)**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента _____ 2 _____ курса _____ 246 группы _____
направления _____ 05.04.06 _____ Экология и природопользование _____
_____ Александра Владислава Олеговича _____

Научный руководитель

к.г.н, доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

В.А. Данилов

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой

к.с-х.н, доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

В.А. Гусев

инициалы, фамилия

Саратов 2023

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность: Значение водохранилищ для экосистемы очень велика. От них зависит множество процессов, влияющих на территорию, на которой расположено водохранилище, как природных, так и антропогенных. Водоохранилища — это еще и зоны отдыха, рыболовства, рыбоводства, разведения водоплавающей птицы. Волгоградское водохранилище — это большая часть Саратовской области, и негативные изменения, которые имеют эффект накапливания и являются поначалу незаметными, могут быть критическими для жизни общества, и экосистемы в возможном будущем. Именно поэтому важно отслеживать качественные изменения водохранилища.

Задачи мониторинга окружающей среды требуют использования современных вычислительных технологий, для обработки большого количества данных.

В настоящее время, используя ДЗЗ, получают сведения о состоянии наземных объектов, при этом возможен непрерывный сбор информации для каждой конкретной территории. Совместное использование информации, данных ДЗЗ и потенциала нейронных сетей открывает новые возможности для анализа. Посредством нейронных сетей получается построить сложные алгоритмы, и оптимизировать обработку больших разновременных данных по территории исследуемого объекта.

Цель работы: применение алгоритмов нейронных сетей для качественной и количественной оценки значения БПК части акватории Волгоградского водохранилища по ДДЗ

Основные задачи:

- 1 Описание экологических процессов, протекающих на территории Волгоградского водохранилища
- 2 Сравнение алгоритмов нейронных сетей для разработки оптимального метода дешифрирования загрязнения акватории

3 Разработка алгоритма оценки значения БПК, учитывающего выявленные проблемы дешифрирования акватории водохранилищ.

4 Восстановление и анализ изменения значения БПК части акватории Волгоградского водохранилищ за 2015-2022 г.

Научная новизна: использование нейронных сетей для автоматизации процесса анализа и мониторинга сложных гидрологических объектов

Методы исследования: сравнительно-аналитический метод, метод геоинформационного моделирования на основе программного обеспечения (QGIS, ArcGis, TorchGeo) и данных дистанционного зондирования Земли/

Работа содержит авторские материалы: Графики, карты зон подвергшихся наибольшему изменению, модели динамики изменений фрагмента волгоградского водохранилища, прогнозную модель основанную на тенденции исследуемого периода.

Фактический материал: научные публикации (монографии, статьи, учебники, учебные пособия), данные дистанционного зондирования, Интернет-ресурсы, результаты лабораторных исследований полевых материалов.

Основные положения работы, выносимые на защиту:

1 Применение алгоритмов искусственного интеллекта позволяет автоматизировать и провести анализ большого объема накопленных различных разновременных данных дистанционно зондирования и исключить влияние человеческого фактора;

2 Современные мультиспектральные данные дистанционного зондирования позволяют провести оценку экологического состояния акватории и выявить тенденцию изменения загрязнений отдельных участков по времени.

Структура и объёмы работы: выпускная квалификационная работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка использованных источников и 30 приложений. К рассмотрению предлагаются, 14 рисунков.

Основное содержание работы

1 Загрязнение акватории Волгоградского водохранилища

Река Волга занимает важное место в истории нашей страны, упоминается во многих источниках, имеет многолетнюю историю и свои уникальные природные особенности. Она является одним из наиболее значимых природных объектов России и Европы. Она является самой длинной рекой в Европе и пятой по длине рекой в мире. Ее протяженность составляет 3 531 км от истока до устья. Река берет начало на Валдайской возвышенности и впадает в Каспийское море, соединяясь с пятью морями Азовским, Балтийским, Белым, Каспийским и Черным. Бассейн Волги имеет площадь, превышающую территории Франции, Испании и Италии вместе взятых, и объединяет более 150 000 рек, ручьев и водостоков.

Волга представляет собой уникальную экологическую систему, которую можно условно разделить на три участка: Верхняя, Средняя и Нижняя Волга. Протекая через четыре климатические зоны: лесную, лесостепную, степную и полупустынную, река обладает разнообразным флористическим и фаунистическим составом. На протяжении многих веков эта река обеспечивала близлежащие населенные пункты множеством ресурсов, позволяющих успешно развиваться. Одним из таких ресурсов является транспортная функция, которая обеспечивала сообщение крупных городов на реке, создавая хорошие условия для торговли и перемещения.

Во второй половине 20 века к данным ресурсам добавляется энергетика. Потребность в дешевом электричестве в начале века заставляет многих ученых и инженеров того времени задуматься об использовании потенциала быстрого течения реки. Несмотря на разделившиеся мнения в обществе того времени (группа ученых не разделяла всеобщий энтузиазм по поводу гидростроительства, они призывали к здоровой критике этого проекта, однако их дискуссии были приняты правительством как подрыв советской системы и вредительство), проект был составлен и начало строительству было положено

в 1932 году. Первым водохранилищем в каскаде станет – Иваньковское водохранилище. [1]

Волжский каскад и Волгоградское водохранилище имеют большое значение для экономики и жизни данного региона. Эти водоемы являются уникальными объектами для туризма и отдыха. Однако Волжский каскад сталкивается со множеством проблем, включая экологические. Использование его водоемов для энергетики и судоходства может негативно влиять на окружающую среду и биоразнообразие. Кроме того, положение водохранилища в каскаде может повышать экологический риск. Замыкающая роль водохранилища также сопряжена с опасностью накопления вредных веществ, не только из его собственного стока, но и из водохранилищ, расположенных выше по течению. [2, 3]

Общая протяженность водохранилища составляет 520 км, а его площадь и объем могут изменяться в зависимости от сезона года. Площадь водохранилища при нормальном уровне воды (НПУ) 15 м составляет 312 тыс. га, а объем - 31,5 км³.

Регулирование стока Волгоградского водохранилища оказало негативное влияние на природную среду, приведя к изменению гидрологического режима Волги и снижению ее проточности. Это также привело к созданию искусственных циклов суточного и недельного регулирования водности, изменению схемы течений и вызвало развитие ветрового волнения и новых форм волнового движения водных масс. Наблюдаются изменения характеристик ледовых явлений и ледяного покрова, увеличение минерализации вод водохранилища и изменение их ионного состава, а также ухудшение условий самоочищения вод [8].

Проблема загрязнения Волгоградского водохранилища становится все более актуальной из-за наличия различных загрязняющих веществ в воде, таких как тяжелые металлы и биогенные элементы. Это приводит к появлению сине-зеленых водорослей и "цветениям" воды, что ухудшает ее качество. Наличие этих водорослей приводит к отмиранию водорослей и повышению

потребления кислорода, что вызывает вторичное биологическое загрязнение и ухудшение качества воды. Также необходимо иметь надежную информацию о качестве воды, используемой для питьевого водоснабжения крупных городов, таких как Волгоград, Саратов, Волжский и Камышин. [11].

В летнем фитопланктоне Волгоградского водохранилища обнаружено 101 вид водорослей, относящихся к восьми отделам. Среди зеленых водорослей преобладают виды класса *Volvocineae*, которые составляют 52% и 66% от общей численности. Из диатомовых наиболее широко распространены *Aulacosiragranulata* и *Naviculasp.* Самым массовым из синезеленых является *Microcystisaeruginosa*, которая составляет 54% по численности [12].

Тяжелые металлы в воде находятся как в растворенном, так и во взвешенном состоянии на неорганических и органических частицах, а также на поверхности тел организмов бактерио-, фито- и зоопланктона. Фильтраторы, поглощающие взвеси непосредственно из воды, накапливают тяжелые металлы и передают их в последующие звенья трофических цепей, включая рыб. При отмирании, планктон оседает на дно и загрязняет донные отложения [13].

Кроме того, вода Волгоградского водохранилища также содержит различные органические вещества, включая пестициды, гербициды и фенолы. Эти соединения могут иметь негативное воздействие на здоровье человека, поэтому необходимо контролировать их концентрацию в воде для питьевого водоснабжения [14].

Улучшение экологического состояния Волгоградского водохранилища позволит не только обеспечить безопасность питьевого водоснабжения, но и сохранить биоразнообразие реки Волги и улучшить условия жизни для местных жителей [15, 16].

2 Применение данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) для оценки загрязнения акватории

Обзор данных ДЗЗ может представлять собой важный этап анализа и интерпретации информации о Земле. Данные, собранные из дистанционных наблюдений, могут использоваться для многих целей, таких как мониторинг изменений климата, анализ поверхности Земли и ее ресурсов, а также для обнаружения природных катастроф [17].

Обработка данных ДЗЗ требует использования специализированных инструментов и методов, таких как алгоритмы обработки изображений и геоинформационные системы. Однако благодаря современным технологиям все больше людей может иметь доступ к данным ДЗЗ и использовать их для своих целей.

Существует множество спутниковых систем, которые предоставляют доступ к данным дистанционного зондирования Земли. Некоторые из них — это глобальные системы, которые обеспечивают покрытие всей поверхности Земли, а другие - более локальные системы, ориентированные на конкретные регионы.

Одна из наиболее известных и широко используемых спутниковых систем — это Landsat, который был запущен в 1972 году (и до сих пор продолжает свою работу). Эта система состоит из нескольких спутников, которые снимают Землю в различных спектральных диапазонах. Данные Landsat доступны через открытый доступ, что делает их доступными для любого пользователя.

Другой популярной системой является MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), который был запущен в 1999 году. Эта система находится на борту двух спутников NASA и может снимать Землю в различных разрешениях и спектральных диапазонах.

Кроме того, существуют коммерческие спутниковые системы, такие как DigitalGlobe и Planet Labs, которые предоставляют данные высокого разрешения для коммерческих и государственных заказчиков.

Важно отметить, что доступ к данным ДЗЗ может быть ограничен или требовать определенной аутентификации. Кроме того, для работы с данными

необходимы специализированные инструменты и знания в области обработки изображений и геоинформационных систем.

Sentinel-2 - это спутниковая система, разработанная Европейским космическим агентством (ESA) совместно с Европейской комиссией. Она представляет собой мультиспектральную систему дистанционного зондирования Земли и предназначена для мониторинга изменений на поверхности Земли, таких как изменения в растительности, лесах, водоемах и городах.

Система Sentinel-2 может снимать Землю в 13 спектральных диапазонах от синего красному и ближнему инфракрасному (от 443 нм до 2190 нм), что позволяет получать данные о поверхности Земли в высоком разрешении (до 10 метров). Она также имеет функцию съемки в узкополосных спектральных диапазонах, что делает ее полезной для мониторинга изменений в растительности и землепользовании.

Использование данных Sentinel-2 может быть полезно для многих целей, таких как мониторинг изменений климата, анализ растительности, оценка поверхностных водных ресурсов, а также для обнаружения природных катастроф.

Совместное использование данных Landsat и Sentinel может быть полезным для анализа изменений на поверхности Земли, так как каждая из этих систем обладает уникальными возможностями.

Методы отбора и обработки данных ДЗЗ являются важным инструментом для получения информации о планете. Этот процесс включает в себя множество технологий и методов, которые помогают ученым извлекать пользу из данных, полученных спутниками.

Один из методов отбора данных ДЗЗ — это метод активного зондирования, который использует электромагнитные сигналы, отправляемые на поверхность Земли. Спутники регистрируют эти сигналы, которые затем используются для создания 3D-изображений поверхности, определения

высоты и глубины объектов на земле, а также для анализа проводимости почвы.

Пассивное зондирование - метод отбора данных, использующий излучение объектов на земле для обнаружения света и тепла. Обработка данных ДЗЗ включает в себя множество техник, включая статистический анализ и применение машинного обучения. Коррекция данных ДЗЗ необходима для уменьшения влияния различных искажений, таких как атмосферные условия или ошибки приборов на борту спутника. Атмосферная коррекция является одним из основных методов коррекции, позволяющим учесть эффекты атмосферы и получить более точные изображения. Существуют также другие методы коррекции, такие как геометрическая и радиометрическая коррекции.

Спектральное разрешение является важным параметром для получения точной информации о состоянии окружающей среды и используется во многих областях, включая геологию, экологию, агрокультуру и лесное хозяйство. Результаты обработки данных ДЗЗ могут быть использованы в различных областях, таких как геодезия, сельское хозяйство, городское планирование и др., для определения типа почвы, состава растительности, распределения водных ресурсов, изменений в ландшафте, оценки пострадавших от природных катастроф и контроля за границами. Применение результатов ДЗЗ может также помочь в решении многих социальных и экономических проблем. Например, это может быть использовано для оценки ущерба, нанесенного природными стихиями, определения местоположения новых земельных участков для строительства или для контроля за изменением лесных массивов и окружающей среды.

Таким образом, автоматизированное дешифрирование и применение результатов ДЗЗ является важной технологией, которая может быть использована для решения множества задач в различных областях.

Для дешифрирования космических снимков необходимо пройти два этапа: предварительную и основную обработку данных. На первом этапе

происходит подготовка дистанционных данных, включая создание изображений различных цветовых вариантов, подгоночной гистограммы под разные типы объектов, трансформацию растровых файлов в соответствующую систему координат и создание мозаичных покрытий. Основной этап включает визуальные и автоматизированные методы для выполнения непосредственного дешифрирования снимков.

Визуальные методы и автоматизированные методы используются для классификации ДЗЗ изображений. Визуальные методы основаны на анализе снимков и информации, полученной в ходе полевых обследований или при анализе картографических, архивных и других материалов. Автоматизированные методы используют математические процедуры для группировки объектов по формализованным признакам, таким как значения яркости, текстуры и структуры изображения. Существует множество спектральных индексов, которые используются для анализа различных объектов на изображении, например, индексы NDVI, NDSI, EVI, SAVI, NDWI, LSWI, MNDWI, AWEI, WI и NDTI. Они позволяют извлекать ценную информацию о состоянии растительности, земледельческих угодий, водных объектов, поверхностных и грунтовых водах. Таким образом, использование спектральных индексов является важным инструментом для анализа ДЗЗ-изображений и управления земельными и водными ресурсами.

3 Оценка загрязнения части акватории Волгоградского водохранилища по анализу ДЗЗ

Волгоградское водохранилище является одним из крупнейших в России и занимает площадь более 3 тысяч км². В связи с этим проведение анализа качества воды на всей его территории не представляется возможным, поэтому выбор участка для анализа должен быть обоснованным.

Для выбора участка Волгоградского водохранилища для анализа были учтены несколько факторов. Прежде всего, важным критерием является покрытие данными дистанционного зондирования. Такой участок должен

быть в пределах одной сцены или двух сцен, чтобы избежать неоднозначности при определении положения территории на снимке.

Кроме того, особое внимание уделено характеру течения на всем протяжении выбранного участка и однородному прогреву всей акватории. Наличие различных скоростей течения и извилистой береговой линии также играют важную роль при выборе участка для анализа.

Нахождение выбранного участка близ населенных пунктов является еще одним фактором, который необходимо учитывать. Особенно интересно отметить динамику последних лет по появлению ряски и различной водной растительности, что делает этот участок еще более привлекательным для исследования.

Основным фактором, который делает выбранный участок Волгоградского водохранилища особенно интересным для анализа, является его морфология. Участок характеризуется различными глубинами и наличием разного типа дна, что может существенно влиять на развитие и распределение биологических сообществ.

Кроме того, на этом участке отмечается наличие особой флоры и фауны, которая связана с климатическими и географическими особенностями региона. В частности, здесь можно наблюдать миграции рыбных видов, которые приходят на питание и нерест из других водоемов.

Наконец, важной особенностью этого участка является его экологическое значение. В данном районе расположены многие объекты природно-заповедного значения, которые нуждаются в постоянном мониторинге и охране. Таким образом, проведение анализа на данном участке имеет большое значение для экологической безопасности и сохранения природного наследия региона.

Еще одним важным фактором, который делает выбранный участок Волгоградского водохранилища особенно значимым для анализа, является его положение в каскаде водохранилищ на реке Волге. Данный участок расположен между верхним и нижним водохранилищами и является

последним в этой цепочке. Это означает, что все загрязнения и изменения, которые происходят на более верхних участках реки, могут накапливаться на данном участке, что может существенно влиять на экосистему региона. Данный фактор указывает на необходимость проведения комплексного анализа состояния всего каскада водохранилищ на реке Волге.

Проведение анализа качества воды на выбранном участке Волгоградского водохранилища позволит получить информацию о текущем состоянии экосистемы данного региона, оценить уровень загрязнения и принять соответствующие меры для его уменьшения. Кроме того, результаты анализа помогут определить возможные угрозы для здоровья человека и окружающей среды.

Один из примеров алгоритма, который может использоваться для экологического мониторинга, это Recursive Neural Network Change Detection (RNN-CD). Он использует рекуррентные нейронные сети (RNN), чтобы обрабатывать последовательности изображений и определять изменения во времени.

RNN-CD предполагает наличие двух типов скрытых состояний: одно скрытое состояние отвечает за модель "старого" состояния, а другое - за модель "нового" состояния. Затем он использует механизм внимания, чтобы оценить разницу между двумя состояниями и определить, есть ли изменения. Этот алгоритм показал хорошие результаты при использовании его для обнаружения изменений в лесных массивах и океанских данных.

Кроме того, существуют и другие алгоритмы детекции изменений, которые могут быть использованы в экологическом мониторинге. Например, алгоритмы, основанные на сверточных нейронных сетях (CNN), также могут быть эффективными для обнаружения изменений на изображениях и видео.

В целом, использование алгоритмов детекции изменений может помочь экологам и ученым быстро обнаруживать изменения в окружающей среде и принимать соответствующие меры для защиты и сохранения природы.

Результаты использования алгоритмов детекции изменений зависят от конкретной задачи и применяемого подхода. Однако, в общем случае, такие алгоритмы позволяют выявлять различия между двумя наборами данных, изображений, видео или временных рядов.

Для примера, в экологическом мониторинге алгоритмы детекции изменений помогают обнаруживать потенциально опасные изменения в окружающей среде, такие как деградация лесов или загрязнение почвы. Это позволяет принимать соответствующие меры для уменьшения негативного воздействия на природу и сохранения биологического разнообразия.

Использование алгоритмов детекции изменений может помочь выявлять потенциально важные изменения в данных и принимать соответствующие меры для предотвращения негативных последствий.

Алгоритмы детекции изменений могут быть очень полезны для мониторинга изменений в водной среде. Например, они могут использоваться для обнаружения загрязнений водных ресурсов, изменений уровня воды и состояния водных экосистем.

Один из примеров, когда такие алгоритмы были использованы для анализа изменений в водной среде, это мониторинг уровня солености в воде, который является важным показателем здоровья водных экосистем. Для этого используется алгоритм, основанный на методе вычитания изображений, который позволяет определить различия в градации цвета на двух последовательных изображениях.

Также алгоритмы детекции изменений могут использоваться для обнаружения биологических изменений в водной среде, таких как появление новых видов растительности или животных. В этом случае может использоваться алгоритм, основанный на сверточных нейронных сетях (CNN), которые могут обработать изображения водной среды и определить изменения на них.

В частности, алгоритмы детекции изменений могут использоваться для мониторинга качества воды на водоемах и определения концентрации

загрязняющих веществ. В этом случае используется алгоритм, основанный на анализе спектров света, который позволяет определять состав воды и уровень ее загрязнения.

Для оценки состояния динамики загрязнений поверхностных вод необходимо произвести коррекцию и определить зависимость между результатами полевых (лабораторных) исследований и данными полученными дистанционными методами. В рамках дипломного проекта научная группа института урбанистики, архитектуры и строительства Саратовского Государственного Технического Университета проводила исследования по определению органического уровня загрязнения поверхностных водоемов на территории Саратовской агломерации [31].

Измерения проводились каждые 2 недели в период с 21 апреля по 27 мая 2021 года. За исследуемый промежуток времени БПК₅ снизилась со значения 7,94 мг O₂/дм³ до 4 мг O₂/дм³, что свидетельствует о положительной динамике к очищению водотока. Для сравнения результатов и поиска корреляции данных был произведен подбор данных дистанционного зондирования, подходящих под данный временной ряд. Для анализа были выбраны две сцены спутника Landsat 8, подходящих под временной период.

Посредством ГИС-анализа был построен профиль в месте, где были произведены заборы воды. Выявлена высокая корреляционная зависимость содержания БПК в водной среде, отражающаяся на двух инфракрасных диапазонах - Near Infrared (NIR) и Short-wave Infrared (SWIR) 2. Данная зависимость позволяет утверждать, что с помощью мультиспектральных данных ДЗЗ можно проанализировать органическое загрязнение Волгоградского водохранилища.

Для уточнения содержания водной растительности был создан индекс мутности воды (NDTI), значения которого колеблются в диапазоне от -1 до 1. Мутность воды принимает значения от 0.4 до 1. В акватории Волгоградского водохранилища на территории исследуемого участка значения индекса NDTI разнятся от -0.224 до 0.182. На основании накопленных данных ДЗЗ и

предположении о гармонической динамике органических загрязнений были созданы модели тренда изменений на следующие 5 лет (с 2023 по 2027 год).

При расчете мер различий использовался метод среднего квадратического отклонения. На основании модели тренда изменений по диапазону NIR были сделаны растры на следующие 5 лет, которые предполагают, что накопление органического загрязнения начнет возрастать и достигнет пика в 2027 году.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе были использованы алгоритмы нейронных сетей и мультиспектральные данные дистанционного зондирования для автоматизации анализа качества водной среды на больших территориях. Результаты анализа загрязнения Волгоградского водохранилища по данным дистанционного зондирования за период с 2015 по 2022 год показали гармоническую динамику изменений загрязнения, которая может быть использована для статистической оценки меры различий для моделей загрязнения. Были сделаны прогнозы на следующие 5 лет, которые указывают на повышение уровня загрязнения водной среды. Полученные результаты помогут принимать решения по экологическому обеспечению и защите водных объектов.

Однако данная работа имеет ограничения, так как использовались только данные дистанционного зондирования без учета данных, полученных на местности. Кроме того, для более точных прогнозов необходимо учитывать все факторы, влияющие на качество водной среды, а также уточнять модели на основе новых данных.

Тем не менее, результаты работы показали возможность эффективного использования методов машинного обучения и дистанционного зондирования для анализа качества водной среды на больших территориях. Этот подход может быть важным инструментом для экологической оценки и управления водными ресурсами в будущем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Волжско-камский каскад гидроузлов [Электронный ресурс]: Информационный портал Studfile. URL: <https://studfile.net/preview/1853142/> (дата обращения 10.10.2021). Загл. с экрана. Яз. рус.
- 2 Авакян, А.Б. Что делать с волжскими водохранилищами? / А.Б. Авакян // Природа. – 1999. – №№2. – С. 25 – 30.
- 3 Бурдин, Е.А. Экономические последствия создания Волжского каскада ГЭС / Е.А. Бурдин // Вестник ЧГУ – №2 – 2011 – С.28–35
- 8 Сметанин, В.И. Восстановление и очистка водных объектов. / В.И. Сметанин // Колос – М 2003. – 318 с.
- 11 Шашуловский В.А. Динамика биологических ресурсов Волгоградского водохранилища / В.А Шашуловский // автореф.дис. д-ра биол. наук. – Саратов – 2006. – 50 с.
- 12 Седова О.В. Современное состояние флоры и растительности мелководий Волгоградского водохранилища в административных границах Саратовской области / О.В. Седова // Известия Саратовского Университета – Т. 9 – вып.2. – 2009 – С. 61–67.
- 13 Законнов, В.В. Каскад водохранилищ и его роль в регулировании твердого стока и управлении качеством воды нижней волги / В.В. Законнов, З.В. Волкова, А.В. Законнова // ВХР – №4 – 2022 – С.5–19
- 14 Приоритетные загрязняющие вещества. [Электронный ресурс]: Информационный портал Studme. URL: <https://studme.org/347045/ekologiya/> (дата обращения: 10.10.2021). Загл. с экрана. Яз. рус.
- 15 Торгашкова, О.Н. Оценка экологического состояния реки Волги в пределах города Саратова / О.Н. Торгашкова, Н. С. Воловик, А. В. Опарина // БМИК – №6. – 2013 – С.983–985
- 16 Степанова, Л. П. Экологические проблемы земледелия / Л. П. Степанова, Е. Н. Цыганок, И. М. Тихойкина // Вестник ОрелГАУ – №1 – 2012 – С.11–17

31 Розов, Д.С. Оценка уровня органического загрязнения поверхностных водоемов Саратовской агломерации / Д.С. Розов // Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А. - Саратов, 2021 г. - С.40-46