

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**«Перспективные направления инновационного
развития и подготовки кадров» :**
международная научно-практическая конференция

ЧАСТЬ 1

Брест 2022

УДК 001.895 : 331.108 (08)
ББК 65.291.551л0
П27

Председатель:

Шалобыта Н. Н. к.т.н., доцент, проректор по научной работе Учреждения образования «Брестский государственный технический университет» (Брест, Беларусь)

Члены комитета

Найчук А.Я.	д.т.н., доцент (Брест, Беларусь)
Деркач В.Н.	д.т.н., доцент (Брест, Беларусь)
Семенюк С.М.	к.т.н., доцент (Брест, Беларусь)
Мешик О.П.	к.т.н., доцент (Брест, Беларусь)
Лебедь С.Ф.	к.ф.-м.н., доцент (Брест, Беларусь)
Зазерская В.В.	к.э.н., доцент (Брест, Беларусь)
Шешко Н.Н.	к.т.н., доцент (Брест, Беларусь)
Онысько С.Р.	к.т.н. (Брест, Беларусь)
Разумейчик В.С.	к.т.н. (Брест, Беларусь)
Проровский А.Г.	к.т.н. (Брест, Беларусь)
Парфиевич А.Н.	к.т.н. (Брест, Беларусь)

П27 Перспективные направления инновационного развития и подготовки кадров : сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Брестский государственный университет, г. Брест, 14-15 декабря 2022 г.; редкол.: В. В. Зазерская [и др.] – Брест : Издательство БрГТУ. – Ч. 1. – 2022. – 242 с.

ISBN 978-985-493-605-5.

В сборнике опубликованы материалы докладов, представленных на Международной научно-практической конференции «Перспективные направления инновационного развития и подготовки кадров».

Авторами рассматриваются научные, прикладные и образовательные аспекты в области электронных систем и информационных технологий, экономики, строительства, автоматизации технологических процессов и производств, природопользования и природообустройства.

Материалы одобрены оргкомитетом и публикуются с учетом того, что авторская позиция и стилистические особенности публикаций полностью сохранены при соблюдении требований к оформлению материалов.

Сборник предназначен для широкого круга специалистов в области технологий и электронных систем, экономики и строительства. Представленные материалы могут представлять интерес для ученых, инженеров, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов технических специальностей. Сборник индексируется в РИНЦ.

УДК 001.895 : 331.108 (08)
ББК 65.291.551л0

ISBN 978-985-493-605-5

© «Издательство БрГТУ», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ 1

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВ

Михайлов С. С., Чиж Д. А.

Применение ГИС и BIM-технологий для повышения инвестиционной привлекательности территорий 6

Матвеев Н. В., Кривицкий П. В., Малиновский В. Н.

Учёт конструктивных особенностей элементов ломаного очертания при определении сопротивления срезу 17

Шалобыта Н. Н., Шурин А. Б., Шалобыта Т. П.

К вопросу о размещении диафрагм жесткости в железобетонных каркасах по серии ИИ-04 23

Лизогуб А. А.

Живучесть железобетонных конструктивных систем с плоскими дисками перекрытий при отказе ключевого элемента 35

Павлова И. П., Белкина И. В.

Верификация расчетной модели для определения собственных деформаций напрягающего бетона с дисперсным армированием 47

Тур Э. А., Басов С. В., Тричик В. В., Русак Е. Ю.

Свято-Николаевский гарнизонный храм в Брестской крепости как знаковый объект историко-культурного наследия брестчины 51

Невдах А. А., Кривицкий П. В.

Особенности напряженно-деформированного состояния сжатой зоны бетона железобетонных балок при сопротивлении среза 61

Лазовский Д. Н., Глухов Д. О., Лазовский Е. Д.

Моделирование напряженно-деформированного состояния усиленных сжатых железобетонных элементов 67

Дедок В. Н.

Особенности оценки технического состояния мостовых сооружений по нормам Республики Беларусь и Российской Федерации 76

Желткович А. Е., Молош В. В., Пархоц К. Г., Савейко Н. Г.

Применение генетического алгоритма и «мягких вычислений» при проектировании монолитных плит на основании 84

СЕКЦИЯ 2
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО:
ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ
И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

АСАУЛОВ Р. В. Современные экологические проблемы, связанные с мелиорацией земель	100
БЕЛОВ С. Г., ТАРАТЕНКОВА М. А., НАУМЧИК Г. О. Применение озонифлотации для очистки сточных вод	108
ВОЛЧЕК А. А., КОСТЮЧЕНКО Н. Н., ПОДЛУЖНАЯ А. М. Химический состав грунтовых вод сельскохозяйственных угодий оао «Племзавод Мухавец»	116
ВОЛЧЕК А. А., СИДАК С. В., ПАРФОМУК С. И., ШЕШКО Н. Н. Влияние климатических изменений на годовой и максимальный сток рек Беларуси: оценка и прогноз.....	124
ВОЛЧЕК А. А., ТАРАТЕНКОВА М. А. Прогнозирование гидрохимических параметров речных вод	134
ВОЛЧЕК А. А., ШВЕДОВСКИЙ П. В., ОБРАЗЦОВ Л. В., СРЫВКИНА Л. Г. Особенности оптимальной стратегии водоохранной деятельности в регионах.....	142
ВОЛЧЕК А. А., ШПОКА Д. А. Асинхронность в колебаниях максимальных уровней воды рек Белорусского Полесья и Белорусского Поозерья	151
ГНЕЗДОВСКИЙ Ю. Ю., МИХАЙЛОВА Н. С. Естественнонаучное образование будущих педагогов в контексте экологического образования	162
ДУАНБЕКОВА А. Е., СУЛТАНБЕКОВА П. С., МЕШИК О. П., САРКЫНОВ Е. С., КАРИМОВА Г. К. Оценка почвенно-мелиоративного состояния орошаемых земель Туркестанской области в зависимости от гидрохимических режимов коллекторно-дренажных вод.....	175
ЖАПАРКУЛОВА Е. Д., ЗАУРБЕК А. К., АРИПЖАНОВА А. С., МЕШИК О. П., ЗАХЕР МОХСЕНИ Рациональное водопользование в Балкаш-Алакольском водохозяйственном бассейне	182
ЖИГАЛОВА М. П. Художественный текст экологического характера и специфика работы с ним при изучении РКИ	193
КАРИМОВА Г. К., КОЗЫКЕЕВА А. Т., МЕШИК О. П., ДУАНБЕКОВА А. Е. Оценка современной изменчивости гидрологического режима водосбора реки Торгай.....	201
МЕШИК О. П., БОРУШКО М. В. Обобщение зарубежного и отечественного опыта разработки климатических проекций....	208
МЕШИК О. П., МОРОЗОВА В. А. Прогнозные оценки снегонакопления на территории Белорусского Полесья.....	216
МЕШИК О. П., ПРОТАСЕВИЧ А. С. Современное состояние эродированных почв территории Беларуси.....	227
ШУМАК В. В., ЯРМОШЕВИЧ Ю. А. Перспективные источники протеина в качестве частичного заменителя рыбной муки для лососёвых комбикормов	238

Секция 1
Новые технологии и материалы,
автоматизация производств

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС И ВІМ-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ

С. С. Михайлов¹, Д. А. Чиж²

¹ *Магистрант, преподаватель-стажер кафедры почвоведения
и геоинформационных систем УО «Белорусский государственный университет»,
Минск, Беларусь, e-mail : sergiomichailov@tut.by*

² *К. э. н., доцент, доцент кафедры почвоведения и геоинформационных систем
УО «Белорусский государственный университет», Минск, Беларусь,
e-mail : chyzh@yandex.by*

Реферат

Цель исследования: создание информационной модели объекта недвижимости для дальнейшего его размещения на пустующем земельном участке с развитой инфраструктурой на территории г. Минска для повышения инвестиционной привлекательности территорий.

В результате проделанной работы была создана информационная модель здания. Данная информационная модель позволяет разместить на ликвидных пустующих земельных участках, с хорошо развитой инфраструктурой, объекты недвижимости с готовыми строительными чертежами и планировками, элементами декора, макетом благоустройства прилегающей территории. Такой подход помогает в реализации земельных участков, повышая их привлекательность.

Ключевые слова: географические информационные системы (ГИС), ArchiCAD, Building Information Model (BIM).

APPLICATION OF GIS AND BIM TECHNOLOGIES TO INCREASE THE INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF THE TERRITORIES

D. A. Chyzh, S. S. Mikhailau

Abstract

The aim of study: creating an information model of a real estate for its further placement on developed vacant land spaces in Minsk to increase the investment attractiveness of the territories.

In result of study an information model of the building was created. This information model allows to place real estate on saleable vacant land spaces with a well developed infrastructure. Ready-made construction drawings and layouts, decor elements, and a layout of the improvement of the adjacent territory is prepared. This approach helps in land sale by increasing their attractiveness.

Keywords: geographical information systems (GIS), ArchiCAD, Building Information Model (BIM).

Введение

Сравнительно недавно возникшая технология BIM (англ. Building Information Model или Modeling, моделирование (или информационная модель зданий)), достаточно активно становится доминирующей в мировой строительной практике, заменяя ранее применявшиеся технологии проектирования. Дальнейшее развитие BIM предопределяет ее интеграцию с другими информационными системами, в первую очередь с географическими информационными системами (ГИС) [1]. Интеграция между BIM и ГИС будет способствовать получению цифровых моделей городов в процессе так называемого информационного моделирования города (CIM), которая потребует серьезного реинжиниринга бизнес-процессов поддержки принятия решений, городского планирования и управления, земельного администрирования [2].

В настоящее время возникла потребность проектных и строительных организаций в непрерывном процессе архитектурно-строительного проектирования. Данная потребность и привела к развитию BIM-технологий, технологии информационного моделирования зданий. Однако в процессе создания архитектурных проектов возникает ряд трудностей. Одна из основных трудностей – это то, что каждая организация (участник процесса проектирования, строительства и эксплуатации) может использовать различное программное обеспечение и отсутствие возможности дистанционно познакомиться с объектом.

Поэтому на первый план выходят вопросы интеграции ГИС и BIM-технологий для повышения инвестиционной привлекательности территорий

Разработка информационной модели объекта недвижимости и поиск земельного участка

Для проектирования информационной модели объекта недвижимости, использовался программный пакет ArchiCad. ArchiCad – сложный самодостаточный комплекс по проектированию зданий и сооружений. Данный пакет используется и для дизайнерских разработок по проектированию интерьеров помещений и мебели, элементов окружающей среды. В тоже время ArchiCad доступен, начинающим пользователям в освоении и работе.

Благодаря хорошо продуманному интерфейсу и развитой справочной системе ArchiCad, уже после нескольких занятий можно создавать трехмерные модели. Программный пакет ArchiCad помогает развивать навыки пространственного видения создаваемых проектов, что особенно важно в моделировании недвижимости.

Проектирование производится в трехмерном пространстве или на поэтажных планах, фасадах, разрезах. Изменения, вносимые в проект, в процессе его создания, автоматически отражаются на планах этажей, разрезах, фасадах. Изменения сразу отражаются в конструкторской документации и сметах. При создании проекта это позволяет избежать нестыковки между собой отдельных чертежей фасадов, разрезов, поэтажных планов, поскольку все они формируются на основе единой модели автоматически [7, с. 4].

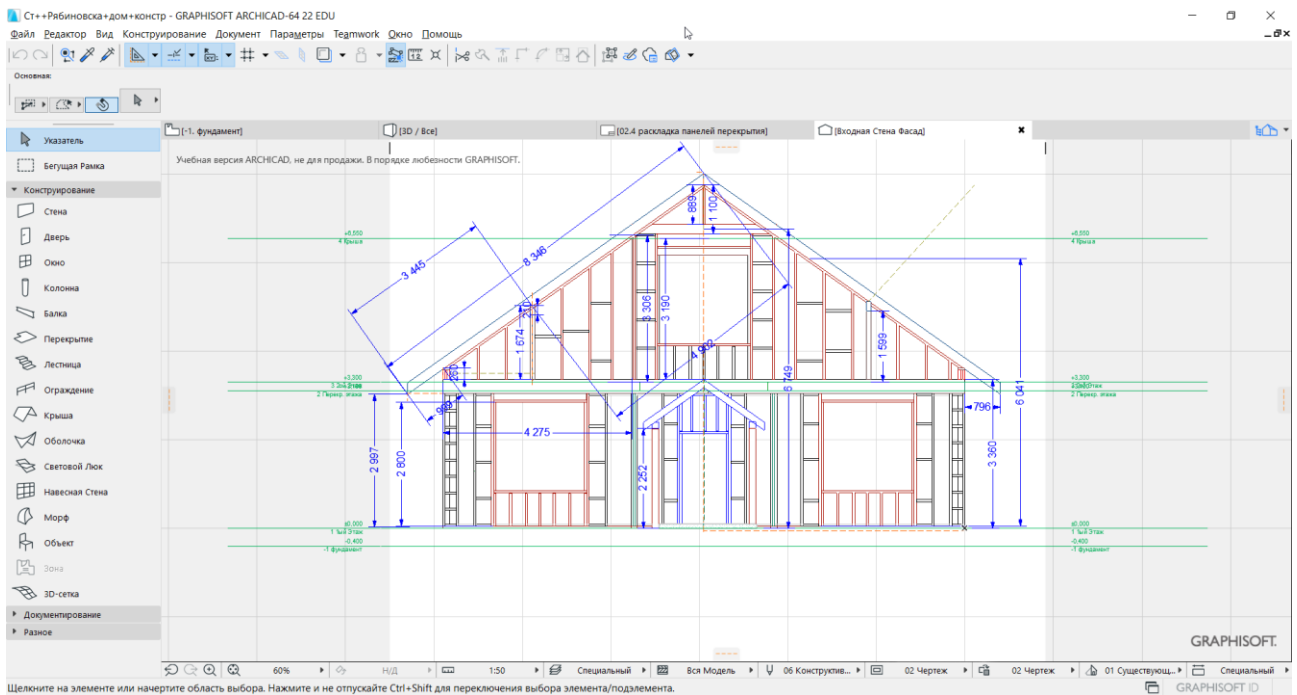


Рисунок 1 - Входная стена

Основная концепция ArchiCAD – «виртуальное здание». Это означает, что вместо отдельных чертежей объекта проектирования создается его модель. По мере работы, с которой, автоматически накапливается вся информация о проекте: положение конструктивных элементов, их покрытия и материалы, геометрические размеры, расстановка мебели, параметры освещения, ландшафтный дизайн прилегающей территории и т.п.

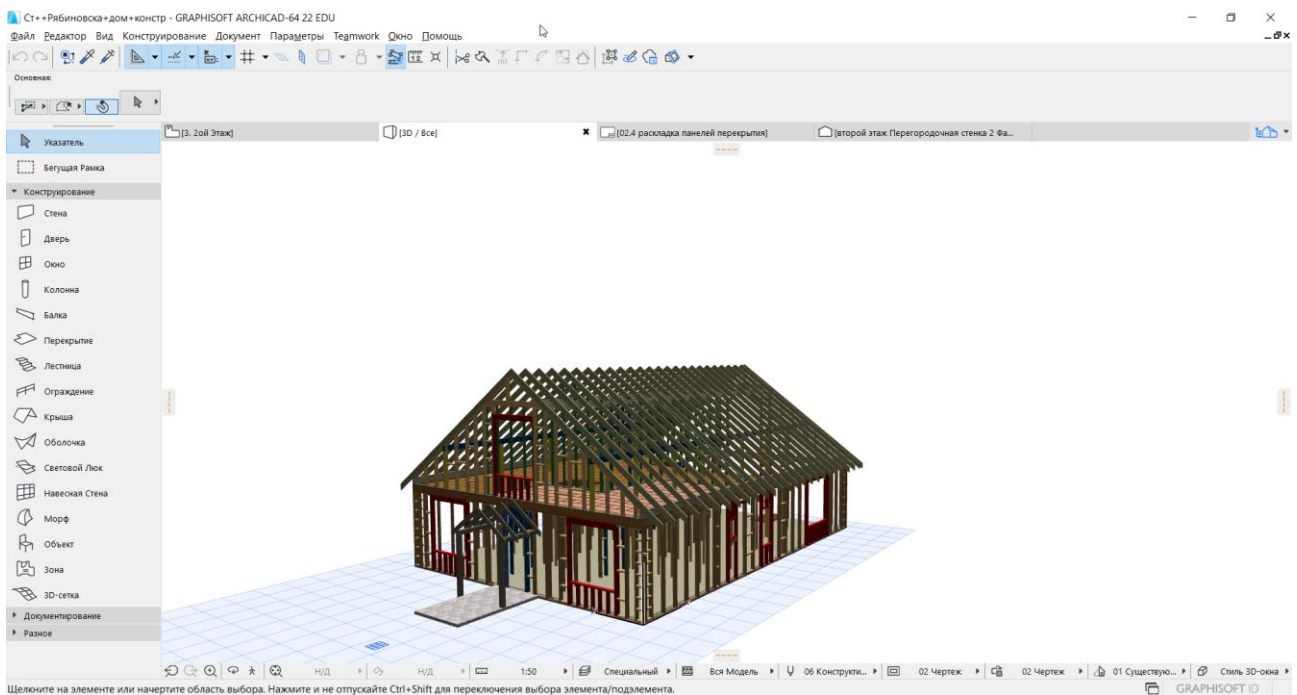


Рисунок 2 - Окна настройки параметров 3-D изображения



Рисунок 3 - Изображение в 3D-окне наружных стен, крыши



Рисунок 4 - Изображение в 3D-окне гостиной на 1 этаже



Рисунок 5 - Изображение в 3D-окне рабочего кабинета

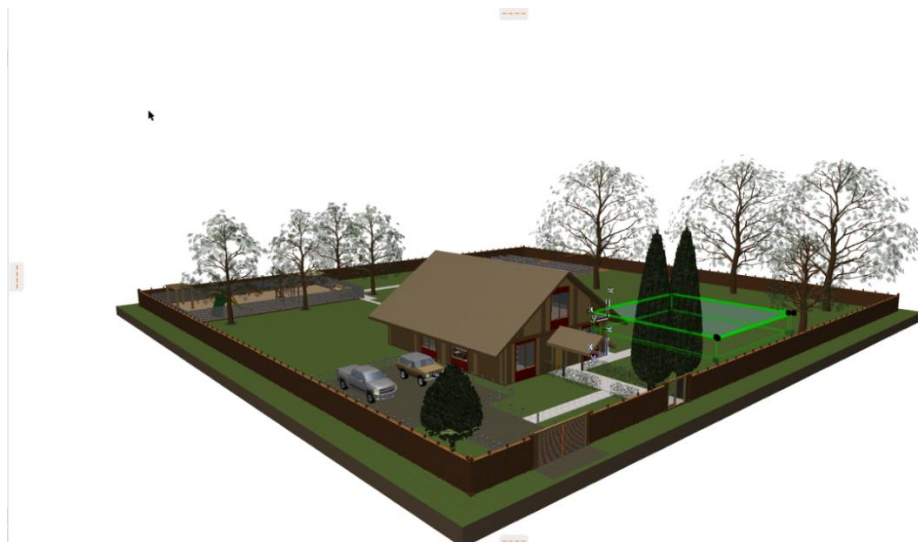


Рисунок 6 - Изображение в 3D-окне придомовой территории

Параллельно с данной работой был произведён сбор информации о земельных участках Республики Беларусь, предназначенных для размещения объектов усадебной застройки (строительства и обслуживания жилого дома) с объектами обслуживания в городе Минске. Это участки, находящиеся в собственности Республики Беларусь, а также которые уже предоставлены в собственность физическим, юридическим лицам Республики Беларусь и иностранным гражданам, но которые на сегодняшний день не застроены. Сюда же отнесены земельные участки, имеющие в наличии, или имеют возможность подключения к инженерным коммуникациям (водоснабжения, водоотведения, газоснабжения, теплоснабжения) и располагающийся на благоприятных грунтах.

Первый этап сбора информации включал в себя определение административно-территориальных границ города Минска. Для этого из реестра «Административно-территориальных и территориальных единиц Республики Беларусь», был получен слой актуальных границ города Минска [18].

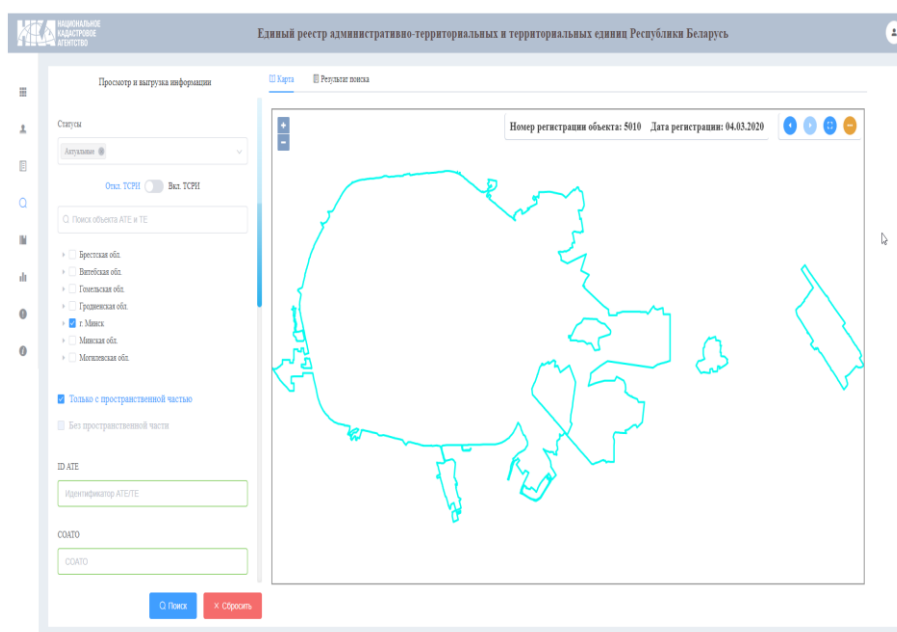


Рисунок 7 - Реестр «Административно-территориальных и территориальных единиц Республики Беларусь»

Затем была произведена выгрузка информация о земельных участках из единого государственного регистра «Недвижимого имущества прав на него и сделок с ним».

Таблица

Земельные участки, Минска

FID	Shape	SOATO	CAD_NUM	ADDRESS	UIDADOR	ID_ATE	NAMEREGION	NAMEDISTR	SEL SOVET	SHORTNAME	NAMEOBJECT	ID EVA	STREETTYPE	STREETNAME
0	ПолYGON	6258827046	625882704601000020	Минская обл., Червенский р-н, Рованский с/с, д.Дубовичье, д.47	-1	0						0		
1	ПолYGON	6222506000	622250600001000528	Минская обл., Дзержинский р-н, г.Фаніполь, ул. Строителей, д. 18	109284	18474	Минская об	Дзержинский р-н		г.	Фаніполь	51978	Улица	Строителей
2	ПолYGON	5000000000	500000000001000003	г.Минск, квартал улиц Солтыса-Вауцасова	0	0						0		
3	ПолYGON	5000000000	500000000001000021	г.Минск, пер. Ириновский, 7	1801509	17030	г. Минск			г.	Минск	46558	Переулок	Ириновский
4	ПолYGON	5000000000	500000000001000036	г.Минск, ул.Тракторная	0	0						0		
5	ПолYGON	5000000000	500000000001000082	г.Минск, ул. Вауцасова, 21	1068123	17030	г. Минск			г.	Минск	5684	Улица	Вауцасова
6	ПолYGON	5000000000	500000000001000085	г.Минск, пер. Гольшанский 2-й, 14	1674837	17030	г. Минск			г.	Минск	39525	Переулок	Гольшанский 2-й
7	ПолYGON	5000000000	500000000001000089	г.Минск, пер. Баторинский, 5	1989242	17030	г. Минск			г.	Минск	39514	Переулок	Баторинский
8	ПолYGON	5000000000	500000000001000095	г.Минск, ул. Филимонова	0	0						0		
9	ПолYGON	5000000000	500000000001000098	г.Минск, Родниковая ул., 30	8384	17030	г. Минск			г.	Минск	19630	Улица	Родниковая
10	ПолYGON	5000000000	500000000001000102	г.Минск, Бумажкова ул., 46/25	8434	17030	г. Минск			г.	Минск	5584	Улица	Бумажкова
11	ПолYGON	5000000000	500000000001000105	г.Минск, Фучика ул., 4	8439	17030	г. Минск			г.	Минск	23375	Улица	Фучика
12	ПолYGON	5000000000	500000000001000106	г.Минск, ул. Бумажкова, 44	1492639	17030	г. Минск			г.	Минск	5584	Улица	Бумажкова
13	ПолYGON	5000000000	500000000001000108	г.Минск, Багратиона ул., 47А	8447	17030	г. Минск			г.	Минск	4803	Улица	Багратиона
14	ПолYGON	5000000000	500000000001000109	г.Минск, ул. Болотная, 17	1521886	17030	г. Минск			г.	Минск	5286	Улица	Болотная
15	ПолYGON	5000000000	500000000001000110	г.Минск, Ясная ул., 25	810	17030	г. Минск			г.	Минск	25584	Улица	Ясная
16	ПолYGON	5000000000	500000000001000113	г.Минск, Багратиона 2-й пер., 10	8499	17030	г. Минск			г.	Минск	4801	Переулок	Багратиона 2-й
17	ПолYGON	5000000000	500000000001000115	г.Минск, Авангардная ул., 58	8515	17030	г. Минск			г.	Минск	4522	Улица	Авангардная
18	ПолYGON	5000000000	500000000001000116	г.Минск, Переходной 1-й пер., 28	8540	17030	г. Минск			г.	Минск	17577	Переулок	Переходной 1-й
19	ПолYGON	5000000000	500000000001000117	г.Минск, Авангардная ул., 46	8542	17030	г. Минск			г.	Минск	4522	Улица	Авангардная
20	ПолYGON	5000000000	500000000001000118	г.Минск, Кубанская ул., 22	8568	17030	г. Минск			г.	Минск	12260	Улица	Кубанская
21	ПолYGON	5000000000	500000000001000119	г.Минск, Багратиона ул., 38	8584	17030	г. Минск			г.	Минск	4803	Улица	Багратиона
22	ПолYGON	5000000000	500000000001000122	г.Минск, пер. Холмогорский 4-й, 4	1483057	17030	г. Минск			г.	Минск	23458	Переулок	Холмогорский 4-й
23	ПолYGON	5000000000	500000000001000124	г.Минск, пер. Коллективный, д. 6	1473289	17030	г. Минск			г.	Минск	10686	Переулок	Коллективный
24	ПолYGON	5000000000	500000000001000125	г.Минск, пер. Коллективный, д. 2	553027	17030	г. Минск			г.	Минск	10686	Переулок	Коллективный
25	ПолYGON	5000000000	500000000001000127	г.Минск, ул. Уральская, 36	8672	17030	г. Минск			г.	Минск	22895	Улица	Уральская
26	ПолYGON	5000000000	500000000001000129	г.Минск, ул. Таяжная, 35	8688	17030	г. Минск			г.	Минск	22048	Улица	Таяжная
27	ПолYGON	5000000000	500000000001000132	г.Минск, пер. Пелевой, пер. 19	8714	17030	г. Минск			г.	Минск	17546	Переулок	Пелевой

1

(0 из 16206 Выбранные)

Земельные участки, Минска

Рисунок 8 - Результат выгрузки информации о земельных участках

В результате на территории города Минска располагаются 16206 земельных участков предназначенных для размещения объектов усадебной застройки (строительства и обслуживания жилого дома) с объектами обслуживания.

На втором этапе были выбраны земельные участки, для которых отсутствует информация о зарегистрированных капитальных строениях. После этого были выбраны земельные участки находящиеся в собственности Республики Беларусь и предоставленные на праве собственности физическим, юридическим лицам Республики Беларусь и иностранным гражданам, которые нарушили Указ Президента Республики Беларусь от 07.02.2006 г., №72 «О мерах по государственному регулированию отношений при размещении и организации строительства жилых домов, объектов инженерной, транспортной и социальной инфраструктуры». В результате были выбраны 235 земельных участков.

Дальнейший выбор земельного участка был произведен с учетом, наличия или возможность подключения к инженерным коммуникациям (водоснабжения, водоотведения, газоснабжения, теплоснабжения) и располагающийся на благоприятных грунтах. Таким образом, 148 участков имеют доступ к водоснабжению, 110 участков имеют доступ к водоотведению, 60 участков имеют доступ к теплоснабжению и 182 участка имеют доступ к газоснабжению.

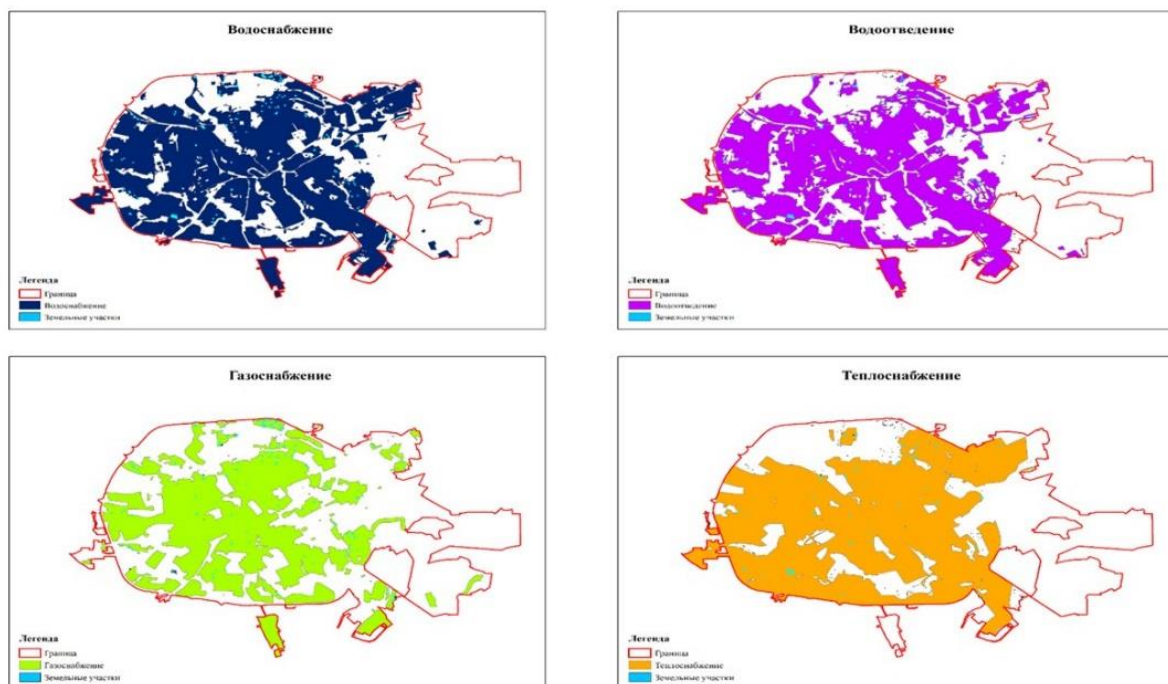


Рисунок 9 - Земельные участки с доступом к инженерным коммуникациям

В общей сложности, 41 земельный участок имеет доступ или возможность подключения ко всем инженерным коммуникациям. Из них были выбраны те, которые располагаются на благоприятных грунтах для строительства (27 участков).

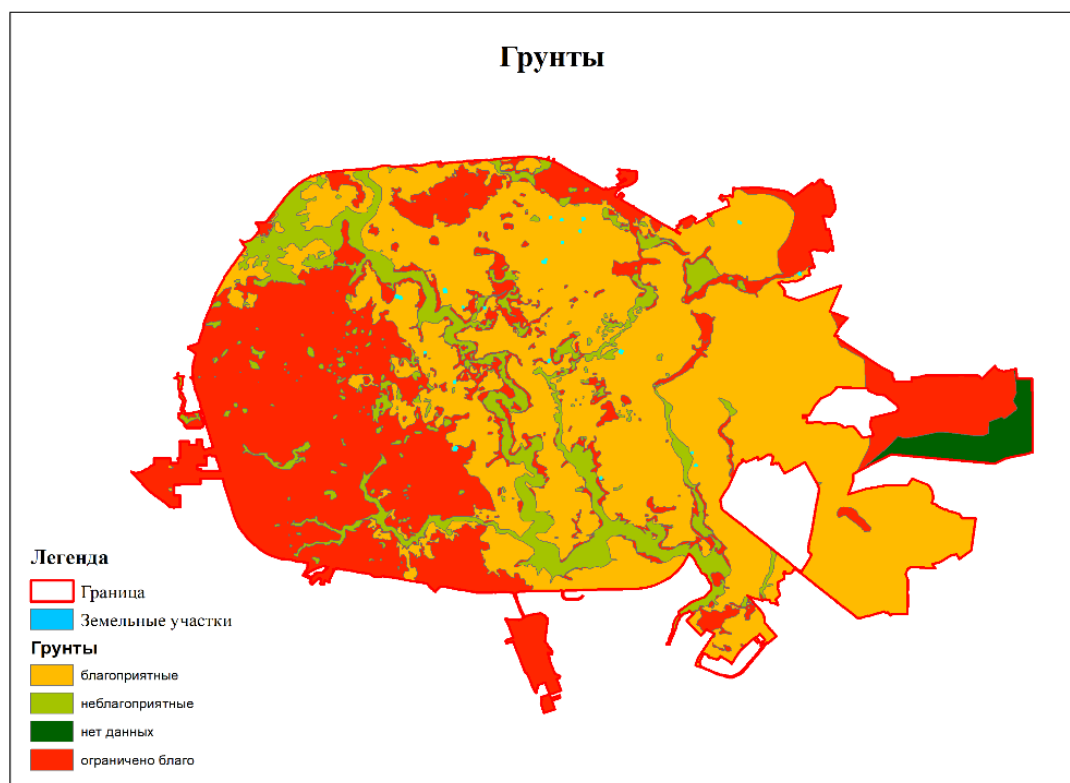


Рисунок 10 - Земельные участки на благоприятных грунтах

Таким образом, для привязки существующего проекта каркасного дома с прилегающей территорией, из 27 земельных участков был выбран земельный участок располагающийся на ул. Тяпинского 31 в г. Минске.



Рисунок 11 - Результат геопривязки границы земельного участка проекта каркасного дома с прилегающей территории

Для геопривязки существующего проекта каркасного дома с прилегающей территорией и земельного участка в среду AutoCAD 3D Map, была использована функция эластичное преобразование. В результате преобразования была произведена геопривязка границы земельного участка и готового проекта каркасного дома с прилегающей территорией.

Заключение

Использование программного пакета ArchiCad позволяет быстро погрузиться в мир компьютерного проектирования и дизайна. Без компьютерного проектирования в настоящее время немыслима практика планирования объектов в строительстве и инвентаризации недвижимости.

Программный пакет ArchiCAD доступен в освоении. С помощью данного программного продукта легко спроектировать каркасный дом и выполнить все соответствующие расчёты для дальнейшего строительства. Каркасный дом — это конструкция, которая быстро возводится. В данной конструкции все несущие элементы связаны между собой. Каркасное домостроение - основной тип малоэтажного строительства в Скандинавии, Финляндии, Германии, США и Японии. Технологии каркасного строительства широко используются в градостроительстве на территории Республики Беларусь. По этой технологии возводятся не только частные дома, но и большие multifunctional здания.

В данной работе представлен проект каркасного двухэтажного дома. Проект дома выполнен с помощью программного пакета ArchiCAD. Использование данного программного пакета позволило выполнить проектирование каркасного дома: выбраны размеры, материалы, вид и уклон кровли, расположение оконных и дверных проемов. Так же использование программного пакета ArchiCAD позволило спроектировать объемную модель каркасного дома, сделать чертежи для

дальнейшего строительства дома (чертежи этажей, фундамента, крыши, перекрытий, фасадов).

В работе так же представлено взаимодействие ArchiCAD с другим программным продуктом AutoCAD. Рассмотрен процесс интеграции проекта, созданного с помощью программного продукта ArchiCAD в программный продукт AutoCAD. Рассмотрены трудности интеграции, а также положительные моменты использования данного процесса.

Использование процесса интеграции двух программных продуктов дает возможность повсеместно развивать технологии информационного моделирования зданий. Дает возможность коллективной работы, совместной работы всех организаций (участник процесса проектирования, строительства и эксплуатации), которые иногда находятся в разных городах или странах.

Параллельно с данной работой был произведён сбор информации о земельных участках Республики Беларусь, предназначенных для размещения объектов усадебной застройки (строительства и обслуживания жилого дома) с объектами обслуживания в городе Минске. Был произведен выбор земельного участка с учетом, наличия или возможности подключения к инженерным коммуникациям (водоснабжения, водоотведения, газоснабжения, теплоснабжения) и типов грунтов. В результате был выбран участок ул. Тяпинского 31 в г. Минске, который удовлетворял всем критериям выбора.

В результате была создана информационная модель здания. Данная информационная модель позволяет разместить на ликвидных пустующих земельных участках, с хорошо развитой инфраструктурой, объекты недвижимости с готовыми строительными чертежами и планировками, элементами декора, макетом благоустройства прилегающей территории. Такой подход помогает в реализации земельных участков, повышая их привлекательность. Покупателю предлагается взглянуть на объект «собственными глазами» и оценить его достоинства.

Таким образом, созданная информационная модель здания с подобранными пустующими земельными участками с развитой инфраструктурой в г. Минске позволяет повысить инвестиционную привлекательность территорий.

Список использованных источников

1. Roumyeh Mohamad Louay, Badenko V.L. Integrating BIM and GIS to move towards CIM // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: материалы IV Междунар. научно-практ. конф. / под общ. ред. А.А.Семенова. – Санкт-Петербургский гос. арх.-строит. ун-т. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2021. – С.14–26.
2. Шавров С.А., Иванов А. А. Реинжиниринг технологий земельного администрирования на основе архитектурно-строительных информационных моделей зданий BIM // Труды БГТУ. – №7. – 2015. – С. 168–171.
3. Использование системы ArchiCAD в архитектурном проектировании: метод. указ. / сост.: Т. Ф. Ельчищева, И. В. Матвеева. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 32 с. <http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2004/matveeva.pdf>
4. Тыцкий А.Г. Методические указания по выполнению практических заданий по дисциплине «Компьютерные технологии в проектировании. ARCHICAD 16 / А.Г.Тыцкий. – М.: МИИГАиК, 2016. – 89 с. // <http://www.migaik.ru/upload/iblock/1a3/1a3f6f0f27ef8ae7d400f2d3a07cdbab.pdf>
5. Шумилов К. А., Козлова Е. М. ArchiCAD 17. Начальный курс: / учебное пособие / К.А.Шумилов; СПбГАСУ. – СПб., 2015 // <https://studfiles.net/preview/5854325/>

6. Компьютерные технологии в архитектурном проектировании. Базовый курс ArchiCAD // http://marhi.ru/sveden/files/Metod_posobie_modelirovanie_architecture_form_v_programme_ArchiCAD.pdf
7. ArchiCAD. Методические указания по автоматизации проектирования/ Сост. Э.Р. Мухаметгареев. Казань: КГАСУ, 2012.– 78 с. // https://www.kgasu.ru/upload/iblock/d21/mu_arhicad.pdf
8. Методичка ArchiCAD Изд. Учебное пособие Санкт-Петербург 2015 // <http://fizich.ru/uchebnoe-posobie-sankt-peterburg-2015-udk-004-92-378-075-8/index15.html#pages>
9. Главатских, Л.Ю. Трехмерное моделирование в среде ArchiCAD: учебно-практическое пособие по дисциплине «Применение ЭВМ в архитектурном проектировании» / Волгогр. гос. арх.-строит. ун-т. Волгоград: ВолГАСУ, 2010. 148 с. // <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01007560294>
10. Использование САПР при проведении работ по оценке стоимости объектов недвижимости // http://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_12_cad_and_buliding_estimate_cost.html //
11. Михайлов С.С., Чиж Д.А. Применение ГИС- и BIM-технологий для повышения инвестиционной привлекательности земельных участков // ГИС-технологии в науках о Земле [Электронный ресурс]: материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 17 нояб. 2021 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: Н. В. Жуковская (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2021. – С.50-55.
12. Чиж Д.А., Михайлов С.С. Применение геоинформационных технологий для обновления пространственного слоя сетей автозаправочных станций на публичной кадастровой карте Республики Беларусь // Сучасний науковий потенціал: матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (24 вересня 2021 року): збірник тез. – Бердянськ : БДПУ, 2021. – С. 26–28.
13. Михайлов С.С. Интеграция ГИС и CAD-технологий // Информационные технологии: теория, опыт, проблемы, перспективы: материалы VI Республиканской научно-практической конференции студентов, магистрантов и аспирантов / Н. В. Великоборец (гл. ред.) [и др.]. – Горки: БГСХА, 2021. – С.122–126.
14. Чиж Д.А., Михайлов С.С. Применение технологий ArchiCAD для создания интерактивного 5D-паспорта объекта недвижимости // Світова наука: проблеми, перспективи, інновації: матеріали II Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (29 жовтня 2021 року) : збірник тез // За заг. ред. доц. С.В. Онищенко; Берд. держ. пед. ун-т, каф. проф. освіти, труд. навч. та технологій. – Бердянськ: БДПУ, 2021. – С.22-24.
15. Чиж Д.А., Михайлов С.С., Полухович В.В. Из опыта применения геоинформационных технологий для создания трехмерных моделей зданий // Priority directions of development of science and education Materials of the III International research and practical internet conference (December, 24, 2021) : collection of abstracts // for the general ed. Ph.D. Sergii Onyshchenko. – Zdar nad Sazavou: "DEL a.s.", 2021. – С. 33–35.
16. Михайлов С. Тенденции изменения площадей земель граждан в Республике Беларусь // Рыночная экономика: сегодня и завтра: тезисы XI Международной научной студенческой конференции (Минск, 17-18 марта 2022 г.) / редкол.: Г. И. Гануш [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2022. – С.178–180.
17. Публичная кадастровая карта Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://map.nca.by>.
18. Единый реестр административно-территориальных и территориальных единиц Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ate.nca.by>.

References

1. Roumyeh Mohamad Louay, Badenko V.L. Integrating BIM and GIS to move towards CIM // BIM-modeling in the problems of construction and architecture: Proceedings of the IV Intern. scientific and practical. conf. / under total ed. A.A. Semenova. - St. Petersburg State. arch.-build. un-t. - St. Petersburg: SPbGASU, 2021. - P.14–26.
2. Shavrov S.A., Ivanov A.A. Reengineering of land administration technologies based on architectural and construction information models of BIM buildings // Proceedings of BSTU. - No. 7. - 2015. - S. 168-171.

3. Using the ArchiCAD system in architectural design: method. decree. / comp.: T. F. Elchishcheva, I. V. Matveeva. - Tambov: Tambov Publishing House. state tech. un-ta, 2004. - 32 p. <http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2004/matveeva.pdf>
4. Tytsky A.G. Guidelines for the implementation of practical tasks in the discipline "Computer technology in design. ARCHICAD 16 / A.G. Tytsky. – M.: MIIGAik, 2016. – 89 p. // <http://www.miigaik.ru/upload/iblock/1a3/1a3f6f0f27ef8ae7d400f2d3a07cdbab.pdf>
5. Shumilov K. A., Kozlova E. M. ArchiCAD 17. Initial course: / study guide / K. A. Shumilov; SPbGASU. - St. Petersburg, 2015 // <https://studfiles.net/preview/5854325/>
6. Computer technologies in architectural design. ArchiCAD basic course // http://marhi.ru/sveden/files/Metod_posobie_modelirovanie_architecture_form_v_programme_ArchiCAD.pdf
7. ArchiCAD. Guidelines for design automation / Comp. E.R. Mukhametgareev. Kazan: KGASU, 2012.– 78 p. // https://www.kgasu.ru/upload/iblock/d21/mu_arhicad.pdf
8. Manual ArchiCAD Ed. Textbook St. Petersburg 2015 // <http://fizich.ru/uchebnoe-posobie-sankt-peterburg-2015-udk-004-92-378-075-8/index15.html#pages>
9. Glavatskikh, L.Yu. Three-dimensional modeling in the ArchiCAD environment: an educational and practical guide for the discipline "The use of computers in architectural design" / Volgogr. state arch.-builds. un-t. Volgograd: VolgGASU, 2010. 148 p. // <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01007560294>
10. The use of CAD when carrying out work on the assessment of the value of real estate // http://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_12_cad_and_buliding_estimate_cost.html //
11. Mikhailov S.S., Chizh D.A. Application of GIS- and BIM-technologies to increase the investment attractiveness of land plots // GIS-technologies in the Earth sciences [Electronic resource]: materials of the rep. scientific-practical. seminar for students and young scientists, Minsk, 17 November. 2021 / Belarus. state un-t; editorial board: N. V. Zhukovskaya (editor-in-chief) [and others]. - Minsk: BSU, 2021. - P.50-55.
12. Chizh D.A., Mikhailov S.S. The use of geoinformation technologies to update the spatial layer of networks of gas stations on the public cadastral map of the Republic of Belarus // Current scientific potential: materials of the II International Scientific and Practical Internet Conference (September 24, 2021): collection of abstracts. - Berdyansk: BDPU, 2021. - S. 26–28.
13. Mikhailov S.S. Integration of GIS and CAD-technologies // Information technologies: theory, experience, problems, prospects: materials of the VI Republican scientific-practical conference of students, undergraduates and graduate students / N. V. Velikoborets (editor-in-chief) [and others]. - Gorki: BSHA, 2021. – P.122–126.
14. Chizh D.A., Mikhailov S.S. Application of ArchiCAD technologies to create an interactive 5D-passport of a real estate object // World Science: Problems, Prospects, Innovations: Materials of the II International Scientific and Practical Internet Conference (July 29, 2021): abstract abstracts // Zag. ed. Assoc. S.V. Onishchenko; Byrd. holding ped. un-t, department prof. enlighten, work. navch. and technology. - Berdyansk: BDPU, 2021. - P.22-24.
15. Chizh D.A., Mikhailov S.S., Polyukhov V.V. From the experience of using geoinformation technologies to create three-dimensional models of buildings // Priority directions of development of science and education Materials of the III International research and practical internet conference (December, 24, 2021) : collection of abstracts // for the general ed. Ph.D. Sergii Onyshchenko. - Zdar nad Sazavou: "DEL a.s.", 2021. - P. 33–35.
16. Mikhailov S. Trends in changes in the land area of citizens in the Republic of Belarus // Market economy: today and tomorrow: abstracts of the XI International scientific student conference (Minsk, March 17-18, 2022) / editorial board: G. I. Ganush [and etc.]. – Minsk: BGATU, 2022. – P.178–180.
17. Public cadastral map of the Republic of Belarus [Electronic resource]. Access mode: <https://map.nca.by>.
18. Unified register of administrative-territorial and territorial units of the Republic of Belarus [Electronic resource]. Access mode: <http://ate.nca.by>.

УЧЁТ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЛОМАННОГО ОЧЕРТАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕЗУ

Н.В. Матвеев¹, П.В. Кривицкий², В.Н. Малиновский³

¹ *Магистр технических наук, старший научный сотрудник отраслевой лаборатории «Научно-исследовательский центр инноваций в строительстве» Брестского государственного технического университета, Брест, Беларусь, e-mail: nikifarych@yandex.ru*

² *К.т.н., доцент, заведующий отраслевой лабораторией «Научно-исследовательский центр инноваций в строительстве» Брестского государственного технического университета, Брест, Беларусь, e-mail: krivitskiyp@mail.ru*

³ *К.т.н., доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции» Брестского государственного технического университета, Брест, Беларусь*

Реферат

Конструктивное решение балок ломанного очертания имеет ряд преимуществ, связанных с особенностями статической работы подобных элементов. В наклонной части балок ломанного очертания возникает продольное сжимающее усилие, которое повышает трещиностойкость наклонных сечений и сопротивление срезу. Для оценки величины сжимающего усилия и степени его влияния на напряженно-деформированное состояние приопорной зоны балок выполнены экспериментальные исследования. Проведены испытания балок прямолинейного очертания, предварительно напряженных канатной арматурой, часть которой отгибалась вблизи опоры, и балок ломаного очертания с прямолинейно расположенной напрягаемой арматурой. Создание осевых сжимающих усилий в приопорной зоне благодаря изменению очертания продольной оси балки позволяет снизить величину предварительного обжатия, создаваемого напрягаемой арматурой, и избежать его деструктивного влияния на контактный слой между бетоном и арматурой при сохранении требуемых трещиностойкости и сопротивления срезу.

Ключевые слова: предварительно напряженные железобетонные балки, напряженно-деформированное состояние, сопротивление срезу, трещиностойкость, отгиб, ломанное очертание, сцепление, анкеровка.

CONSIDERATION OF DESIGN FEATURES OF CURVED ELEMENTS IN DETERMINING SHEAR RESISTANCE

N. V. Matweenko, P. V. Krivitskiy, V. N. Malinovskiy

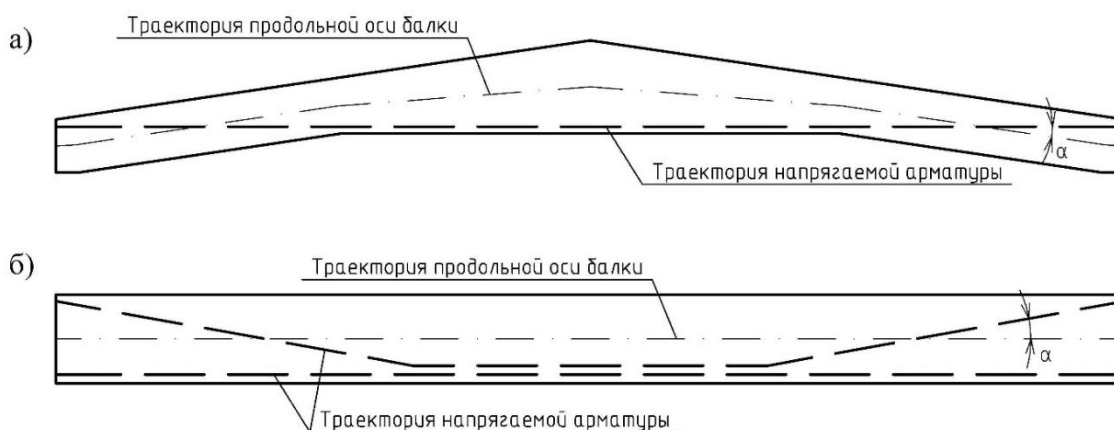
Abstract

The constructive solution of curved beams has some excellence associated with the features of the static scheme of such elements. In the inclined part of the beams of a

curved elements, a longitudinal compressive action, which increases the crack resistance of the inclined sections and the shear resistance. To assess the magnitude of the compressive action and the degree of its influence on the stress-strain state of the support zone of the beams, experimental studies were carried out. Tests were carried out on beams of a rectilinear shape, prestressed with tendons, part of which was bent-up near the support, and curved beams with a rectilinearly located prestressing reinforcement. The creation of axial compressive action in the support zone due to a change in the shape of the longitudinal axis of the beam makes it possible to reduce the amount of precompression created by prestressing reinforcement and avoid its destructive effect on the contact layer between concrete and reinforce with conservation the required crack resistance and shear resistance.

Keywords: prestressed concrete beam, stress-strain state, shear resistance, fracture strength, bend, broken configuration, adhesion, anchoring.

Введение. Как известно, применение балок ломанного очертания (рисунок 1, а) позволяет при прямолинейной напрягаемой арматуре сохранить положительные качества балок с отогнутой арматурой (рисунок 1, б) [1].



- а) балка ломанного очертания с прямолинейной арматурой;
 б) балка прямолинейного очертания с отогнутой арматурой

Рисунок 1 – Конструктивное решение предварительно напряженных балок

Результаты экспериментальных исследований [2] подтверждают, что напряженно-деформированное состояние балок ломанного очертания в зоне среза в полной мере соответствует особенностям работы прямолинейных балок с отгибом части продольной арматуры. Однако в балках с ломанной нижней гранью в связи с особенностями конструктивного решения у опоры вся предварительно напряженная арматура переводится в верхнюю зону сечения, а сопротивление изгибу на данном участке обеспечивается ненапрягаемой арматурой. Таким образом, трещиностойкость нормальных сечений в приопорной зоне в подобных балках оказывается ниже по сравнению с балками прямолинейного очертания. В следствие этого может произойти формирование наклонных трещин первой группы, начинающихся с нижней растянутой зоны сечения, и, как следствие, разрушение по одной из них. Кроме этого перевод всей напрягаемой арматуры в

верхнюю зону сечения приводит к тому, что еще до приложения нагрузки возникают растягивающие усилия в зонах, подверженных растяжению на стадии эксплуатации. Это приводит к образованию нормальных трещин на более ранних этапах загрузки конструкции.

Данные негативные последствия могут быть компенсированы за счет продольного сжимающего усилия, возникающего в наклонной части балки от действия опорной реакции (рисунок 2). Благодаря принятому конструктивному решению балок опорная реакция делится на две составляющие: поперечную силу которая оказывается меньше, чем в балках прямолинейного очертания, и продольную, которая наряду с напрягаемой арматурой создает обжатие бетона.

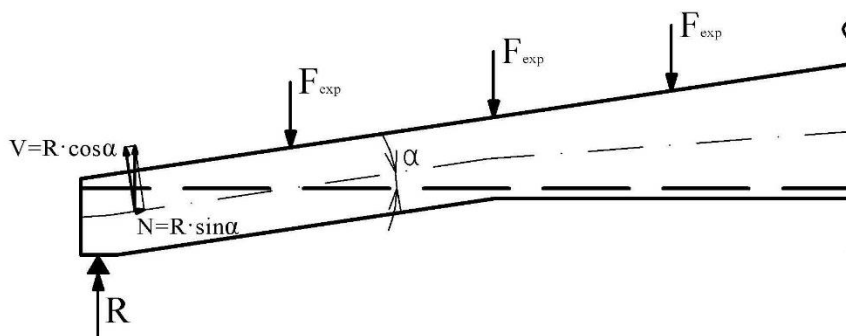
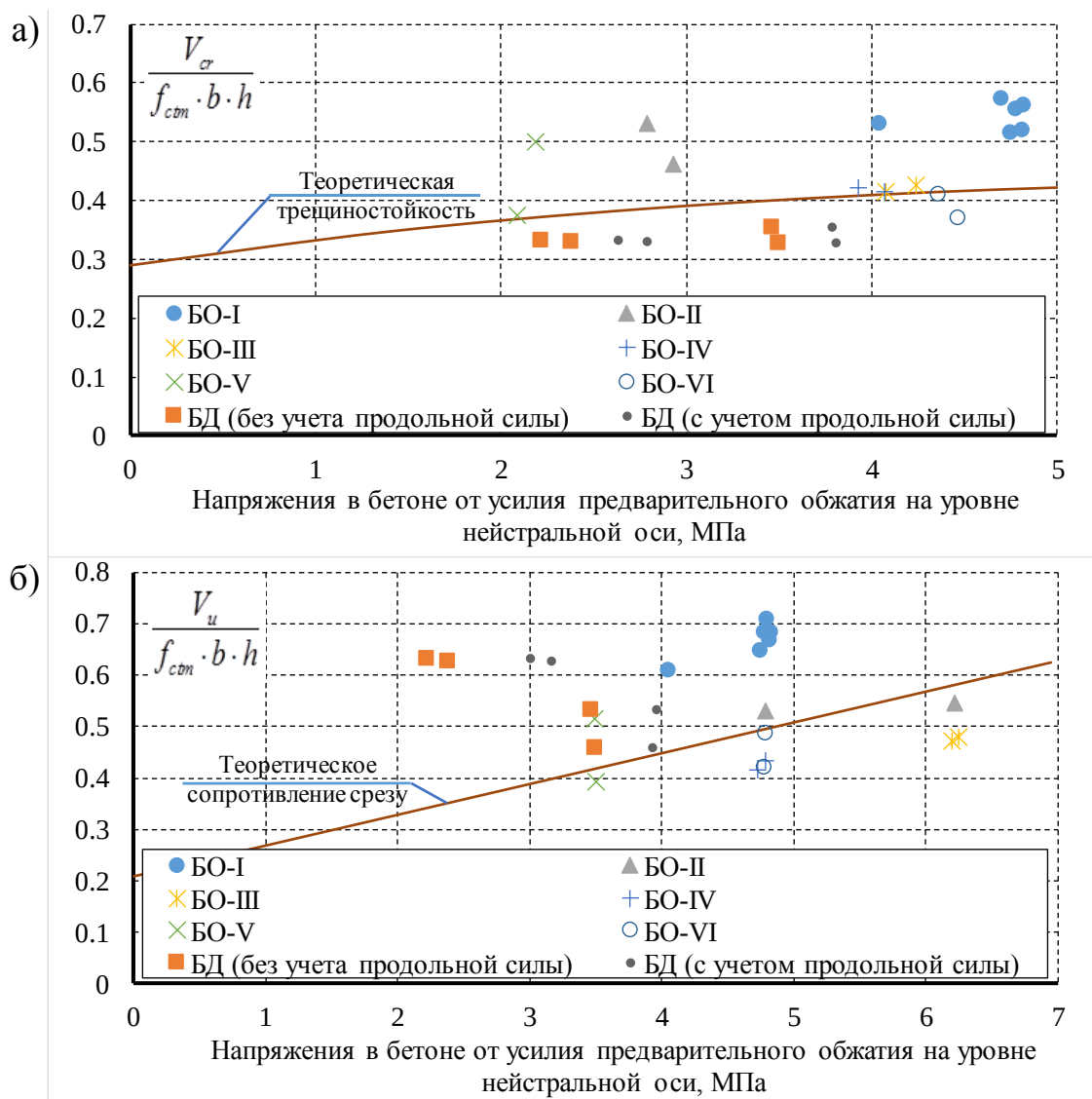


Рисунок 2 – Схема внутренних усилий, действующих в наклонной части балки ломанного очертания

Величина эффекта зависит от конструктивных параметров балки: угла наклона верхней и нижней грани, высоты сечения на опоре и в пролете, схемы нагружения, а также меняется в зависимости от величины приложенной нагрузки.

Трещиностойкость наклонных сечений и сопротивление опытных образцов. С целью оценки степени влияния продольного сжимающего усилия на напряженно-деформированное состояние приопорной зоны выполнен сравнительный анализ сопротивления образованию наклонных трещин и срезу предварительно напряженных балок двух типов: ломанного очертания и с параллельными поясами с отгибом у опоры части продольной напрягаемой арматуры [2].

По результатам экспериментальных исследований обоих типов балок отмечено, что сопротивление образованию наклонных трещин и срезу увеличивается с повышением степени обжатия бетона (рисунок 3). При этом изменение сопротивления в зависимости от величины продольного усилия имеет непропорциональную зависимость, что соответствует общим принципам работы изгибаемых конструкций, описанным А. С. Залесовым и Ю. А. Климовым [3]. Сопротивление срезу балок с параллельными поясами с достаточной точностью описывается кривой, полученной по результатам теоретических расчетов по известным зависимостям [4]. В случае, если при определении сопротивления срезу балок ломаного очертания учитывать только величину продольного сжимающего усилия, создаваемого напрягаемой арматурой, то прогнозируемое значение оказывается значительно ниже полученного экспериментально (на 40..45%). При учете продольной силы, возникающей от действия опорной реакции, разница в величинах теоретического и экспериментального сопротивления составляет не более 27%.



а) – сопротивление балок образованию наклонных трещин;

б) – сопротивление балок срезу

Рисунок 3 – Зависимость сопротивления образованию наклонных трещин (V_{cr}) и срезу (V_u) элементов с отогнутой напрягаемой арматурой и ломанного очертания

На начальных этапах загрузки (в том числе в момент образования наклонных трещин) продольная сила составляла не более 10..15% от усилия предварительного обжатия и не оказывала существенного влияния на трещиностойкость. С ростом нагрузки усилие сжатия возрастало и препятствовало раскрытию нормальных и наклонных трещин. В момент разрушения сжимающая сила в пропорной отдельных достигала до 33% от усилия предварительного обжатия, что приводит к значительному увеличению сопротивления срезу (рисунок 3). Особенно явно данный эффект выражен в балках, у которых уровень предварительного обжатия бетона был ниже.

Следует также отметить, что из 4-ех испытанных балок ломанного очертания только две разрушились по наклонной трещине у опоры. Таким образом, фактическое сопротивление срезу балок выше указанного на рисунке 3, б. Следует также отметить, что разрушение балок прямолинейного и ломаного очертания в ряде случаев сопровождалось втягиванием каната по торцам балки, что свидетельствует о разрушении зоны контакта арматуры с бетоном в зоне анкеровки.

В предварительно напряженных конструкциях анкеровка напрягаемой арматуры тесно связана с длиной зоны передачи усилия обжатия бетона и зависит от надежности сцепления арматуры с бетоном, это является основным условием работы железобетона как комплексного строительного материала. При этом величины и качество данных факторов оказывают определяющее влияние на морфологию трещин (нормальных и наклонных) и как следствие – на сопротивление срезу.

Не вызывает сомнения, что величина предельного напряжения сцепления арматуры с бетоном зависит от деструктивных процессов, происходящих в бетоне, в том числе и в бетоне контактного слоя. Изменение структуры бетона, предшествующее разрушению материала, характеризуется тремя этапами: уплотнение, по мере появления микроразрушений разуплотнение и собственно разрушение в результате объединения микротрещин в магистральные трещины. Результаты опытов, проведенных по установлению влияния степени кратковременного обжатия бетона на его сцепление с арматурой [5], показывают, что величина сил сцепления функционально зависит от деструктивных процессов, происходящих в бетоне при силовом воздействии. Относительно небольшой уровень обжатия бетона (до $0,2f_{cm}$) способствует уплотнению структуры материала, а это приводит к увеличению сцепления. Повышение уровня предварительного обжатия ($0,2 \div 0,7f_{cm}$) вызывает снижение сцепления. Основной причиной отмеченного обстоятельства является нарастающее развитие деструктивных процессов в большей части объема бетона. Дальнейшее увеличение уровня предварительного обжатия (до $0,95f_{cm}$) связано с резким падением величины сил сцепления. Это объясняется тем, что при указанных напряжениях микротрещины объединяются в магистральные трещины, и наиболее вероятное направление одной из них – по контакту арматуры с бетоном, что приводит к катастрофическому снижению сцепления и разрыву бетона от расклинивания [5].

Таким образом, конструктивное решение балок ломаного очертания позволяет уменьшить величину предварительного обжатия бетона, создаваемого напрягаемой арматурой, что благоприятно влияет на характеристики сцепления арматуры с бетоном. Дополнительное сжимающее усилие, возникающее в наклонной части балки от внешнего загрузения позволяет повысить трещиностойкость наклонных сечений и сопротивление срезу железобетонных элементов и при этом избежать деструктивного влияния на контактный слой вследствие предварительного напряжения арматуры.

Выводы.

1. Благодаря особенностям конструктивного решения в наклонном участке балок ломаного очертания от действия опорной реакции возникает дополнительная продольная сжимающая сила, которая благоприятно сказывается на трещиностойкости и сопротивлении срезу элемента.
2. Величина продольной сжимающей силы зависит от конструктивных параметров балки (угла наклона верхней и нижней грани, высоты сечения на опоре и в пролете), а также возрастает пропорционально увеличению внешней нагрузки.
3. Наиболее выражено влияние дополнительного сжимающего усилия на напряженно-деформированное состояние приопорной зоны в балках с невысоким уровнем предварительного обжатия бетона ($0,1 \cdot f_{cm}$) и при нагрузках близких

к разрушающим. Увеличение степени обжатия бетона благодаря конструктивному решению балок ломанного очертания в момент разрушения составляет до 33%.

4. Создание преднапряжения в арматуре оказывает влияние на характеристиках контактного слоя бетона и арматуры: при величине предварительного обжатия бетона до $0.2f_{cm}$ сцепление увеличивается, при величине от $0.2f_{cm}$ до $0.7f_{cm}$ предельные напряжения сцепления снижаются, а увеличение до $0.95f_{cm}$ приводит к резкому падению сил сцепления.

5. Создание осевых сжимающих усилий в приопорной зоне благодаря изменению очертания продольной оси балки позволяет снизить величину предварительного обжатия, создаваемого напрягаемой арматурой, и избежать его деструктивного влияния на контактный слой при сохранении требуемых трещиностойкости и сопротивления срезу.

Список цитированных источников

1. Малиновский, В. Н. Усовершенствованный вариант конструктивного решения железобетонных стропильных балок / В. Н. Малиновский, П. В. Кривицкий, Н. В. Матвеенко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2013. – № 1 (79) : Строительство и архитектура. – С. 128–131.

2. Матвеенко, Н. В. Экспериментальные исследования сопротивления изгибу с поперечной силой преднапряженных железобетонных балок прямолинейного и ломаного очертаний / Н. В. Матвеенко, П. В. Кривицкий // Вестник Полоцкого государственного университета.. – 2021. – №8 : Серия F. – С. 87–93.

3. Залесов, А.С. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил / А. С. Залесов, Ю. А. Климов. – К. : Будивэльник, 1989. – 104 с.

4. Бетонные и железобетонные конструкции : СП 5.03.01-2020. – Введ. 16.11.2020. – Минск : М-во архит. и строит. РБ, 2020. – 244 с.

5. Рочняк, О. А. Влияние степени кратковременного обжатия бетона на его сцепления с арматурой / О. А. Рочняк, В. Н. Малиновский // IX конференция молодых ученых и специалистов Прибалтики и Белоруссии по проблемам строительных материалов и конструкций : тез. докл., г. Брест, 21-25 ноября 1977 г. / Брестский политехн. ин-т ; редкол. : Н. П. Блещик (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 1977. – С. 36–38.

References

1. Malinovskij, V. N. Usovershenstvovannyj variant konstruktivnogo resheniya zhelezobetonnyh stropil'nyh balok / V. N. Malinovskij, P. V. Krivickij, N. V. Matveenko // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2013. – № 1 (79) : Stroitel'stvo i arhitektura. – S. 128–131.

2. Matveenko, N. V. Eksperimental'nye issledovaniya soprotivleniya izgibu s poperechnoj siloj prednapryazhennyh zhelezobetonnyh balok pryamolinejnogo i lomanogo ochertanij / N. V. Matveenko, P. V. Krivickij // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta.. – 2021. – №8 : Seriya F. – S. 87–93.

3. Zalesov, A.S. Prochnost' zhelezobetonnyh konstrukcij pri dejstvii poperechnyh sil / A. S. Zalesov, YU. A. Klimov. – K. : Budivel'nik, 1989. – 104 s.

4. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii : SP 5.03.01-2020. – Vved. 16.11.2020. – Minsk : M-vo arhit. i stroit. RB, 2020. – 244 s.

5. Rochnyak, O. A. Vliyanie stepeni kratkovremennogo obzhatiya betona na ego scephleniya s armaturnoj / O. A. Rochnyak, V. N. Malinovskij // IX konferenciya molodyh uchenyh i specialistov Pribaltiki i Belorussii po problemam stroitel'nyh materialov i konstrukcij : tez. dokl., g. Brest, 21-25 noyabrya 1977 g. / Brestskij politekhn. in-t ; redkol. : N. P. Bleshchik (otv. red.) [i dr.]. – Minsk, 1977. – S. 36–38.

К ВОПРОСУ О РАЗМЕЩЕНИИ ДИАФРАГМ ЖЕСТКОСТИ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАРКАСАХ ПО СЕРИИ ИИ-04

Н. Н. Шалобыта¹, А. Б. Шурин², Т. П. Шалобыта³

¹К. т. н., доцент, проектор по научной работе УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : nnshalobyta@mail.ru

²К. т. н., доцент, заведующий кафедрой «Строительные конструкции» УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : shuryn@mail.ru

³К. т. н., доцент, доцент кафедры «Технология бетона и строительных материалов» УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : nnshalobyta@mail.ru

Реферат

В статье приведены результаты модального анализа административного здания в городе Бресте со сборным железобетонным каркасом по серии ИИ-04 на предмет перемещения или демонтажа диафрагм жёсткости, установленных в продольном направлении.

Ключевые слова: железобетонный каркас, диафрагмы жесткости, модальный анализ, конечно-элементная модель, формы колебаний

ON THE QUESTION OF THE PLACEMENT OF STIFFENING DIAPHRAGMS IN REINFORCED CONCRETE FRAMES ACCORDING TO THE II-04 SERIES

N. N. Shalobyta, A. B. Shuryn, T. P. Shalobyta

Abstract

The article presents the results of a modal analysis of an administrative building in the city of Brest with a precast reinforced concrete frame according to the II-04 series for moving or dismantling stiffening diaphragms installed in the longitudinal direction.

Keywords: reinforced concrete frame, stiffness diaphragms, modal analysis, finite element model, oscillation forms

Введение

В последнее десятилетие в Республике Беларусь интенсивно выполняется реконструкция построенных в 70-х и 80-х годах прошлого столетия общественных зданий. Большинство из них выполнено в наиболее индустриальном варианте –

в сборном железобетонном каркасе с применением типовых решений по разработанной еще с середины 60-х годов серии ИИ-04 [1, 2]. Согласно данной серии каркас здания выполняется по связевой схеме с шарнирными стыками ригелей и колонн с ограниченно воспринимаемым опорным изгибающим моментом. Несущий каркас по данной серии выполняется из сборных железобетонных элементов и состоит из колонн, ригелей и вертикальных диафрагм жёсткости. В поперечном направлении каркас представлен многоэтажными двух, трех и четырех пролетными рамами. Величина пролета и шаг рам в продольном и поперечном направлении принимается как правило 6.0 м. Поперечные рамы в продольном направлении объединены жесткими дисками перекрытий (покрытия), диафрагмами жесткости и стеновыми панелями, что в совокупности с поперечными рамами обеспечивает пространственную жесткость каркаса.

Устойчивость каркаса в плоскости и из плоскости поперечных рам обеспечивается сборными диафрагмами жёсткости, установленными во взаимно перпендикулярных плоскостях. Согласно серии ИИ-04-6 [2] сборные железобетонные диафрагмы жёсткости имеют толщину 120 мм и могут применяться с проёмами и без. Диафрагмы жесткости применяются двух типов: с полками для опирания плит перекрытий и устанавливаемые в плоскости поперечных рам, и бесполочные – в плоскости перпендикулярной к рамам. Диафрагмы, как правило, устанавливаются на всю высоту здания в пролётах между колоннами. В плане центр диафрагм совпадает с разбивочными осями. Между собой и с колоннами панели диафрагм соединяются сварными соединениями в местах расположения закладных деталей с замоноличиванием стыков бетоном.

При проектировании каркасов по серии ИИ-04 независимо от этажности исходя из требований п.2.4 [1] «в плоскости основных рам каркаса горизонтальные нагрузки воспринимаются рамами и рамно-связевым блоком. Из плоскости основных рам каркаса все горизонтальные усилия воспринимаются совместной работой колонн и диафрагм жесткости». Согласно п. 5.8 [1] «в тех случаях, когда фактические опорные моменты ригелей превышают показанные в приложении на листе №19 [1], рекомендуется постановка вертикальных диафрагм жесткости, для восприятия ветровых нагрузок. Подбор и расчет диафрагм жесткости для зданий до 4-х этажей с подвалом производится в соответствии с рекомендациями, приведенными на листах 31-32 [2].

В настоящее время значительное количество зданий построенных с применением конструктивного решения каркаса по серии ИИ-04 реконструируются, в том числе с изменением объемно-планировочные пространства. В большинстве случаев для зданий малой этажности (с количеством этажей до 3-х), построенных по приведенной выше серии, производят демонтаж железобетонных панелей диафрагм, расположенных в плоскости поперечных рам. Так же, согласно предварительного анализа установлено, что в связи с введением в Республике Беларусь новых технических нормативно-правовых актов в области строительства (СН 2.01.01-2019, СН 2.01.02-2019, СП 5.03.01-2020, СТБ EN 206) изменилась величина усилий в элементах конструкций данной серии, следовательно, необходим перерасчет пространственной жесткости здания и уточнение схем размещения диафрагм.

Модальный анализ. Общие положения

Динамические нагрузки на сооружение характеризуются настолько быстрым изменением во времени их величины, направления или места приложения, что вызывают колебания сооружения, которые необходимо учитывать при его расчёте. Колебательный характер имеют не только перемещения точек сооружения, но и внутренние усилия и напряжения в его элементах. Определение ожидаемых амплитуд перемещений, внутренних усилий и напряжений в сооружении при его колебаниях под действием динамической нагрузки, т. е. при вынужденных колебаниях и сравнение их с допустимыми значениями составляют основное содержание динамического расчёта сооружения. Допустимые значения амплитуд внутренних усилий обусловлены требованиями прочности и долговечности строительных конструкций, а значения амплитуд скоростей и ускорений колебаний зданий и сооружений, в которых находятся люди или помещение производства с точной технологией, — требованиями безвредного влияния колебаний на здоровье людей и на качество выпускаемой продукции.

В упрощенном варианте при динамических расчетах каркасных зданий для анализа поперечных и продольных колебаний каркаса можно рассматривать плоскую раму. Вследствие того, что масса междуэтажных перекрытий и находящегося на них оборудования значительно больше масс колонн, при расчете учитываются только инерционные силы, возникающие при перемещениях перекрытий. При этом колонны рассматриваются как безынерционные стержни, и их масса присоединяется к массе перекрытий: половина массы присоединяется к массе вышележащего, другая половина — к массе нижележащего перекрытия. Таким образом, рама рассматривается как система с конечным числом степеней свободы, равным числу этажей здания. Но данные расчётные схемы не отражают действительную пространственную жесткость зданий. Современные программные комплексы, такие как ПК ЛИРА, SUP, SCAD Office позволяют проводить модальный анализ пространственных конструкций.

Для зданий, прямоугольных в плане, с симметричным расположением масс и жесткостей, 1-я или 2-я форма все равно могут оказаться крутильными. Поэтому диафрагмы жесткости рекомендуется располагать по периферии, как можно ближе к торцам с формированием ядер жесткости в районе лестничных клеток и лифтовых шахт. Проведенные авторами практические исследования реальных зданий с разработанными конечно-элементными моделями (КЭМ) позволили установить, что кручение в таком случае в 1-й и 2-й формах будет отсутствовать [4].

Чаще всего крутильные формы возникают именно из-за несимметричного распределения массы здания относительно центра жесткости. Устройство мощных замкнутых ядер жесткости в здании существенно снижает периоды собственных колебаний, что, в свою очередь, позволяет уменьшить количество форм, учитываемых в расчете. Но неграмотно расположенные ядра жесткости могут привести к крутильным формам.

Первые формы всегда направлены в сторону наименьшей жесткости. Например, в рамном каркасе с четкой сеткой колонн, первая форма всегда направлена в поперечном направлении, вторая в продольном. Как известно, кроме изгибных

деформаций, сдвиговых, растяжения-сжатия, есть жесткость на кручение. Поэтому если несущий "ствол" здания слабо сопротивляется кручению, 1-я и (или) 2-я форма будут крутильными, т.е., 1-я форма колебаний будет определяющей и деформации от неё очень существенны. Вторая и третья форма колебаний с наличием модальных масс будут поступательными.

Отсюда можно сделать вывод, что при анализе форм колебаний, необходимо определить для какого из направлений динамического воздействия какая форма колебаний будет определяющей, т.е. посмотреть наличие модальных масс для данного направления и данной формы колебаний.

Первая и вторая формы колебаний – формы, у которых наибольшие периоды (T) колебаний, соответственно наибольшая гибкость, и соответственно те два направления, по которым расположены наименьшая суммарная жесткость.

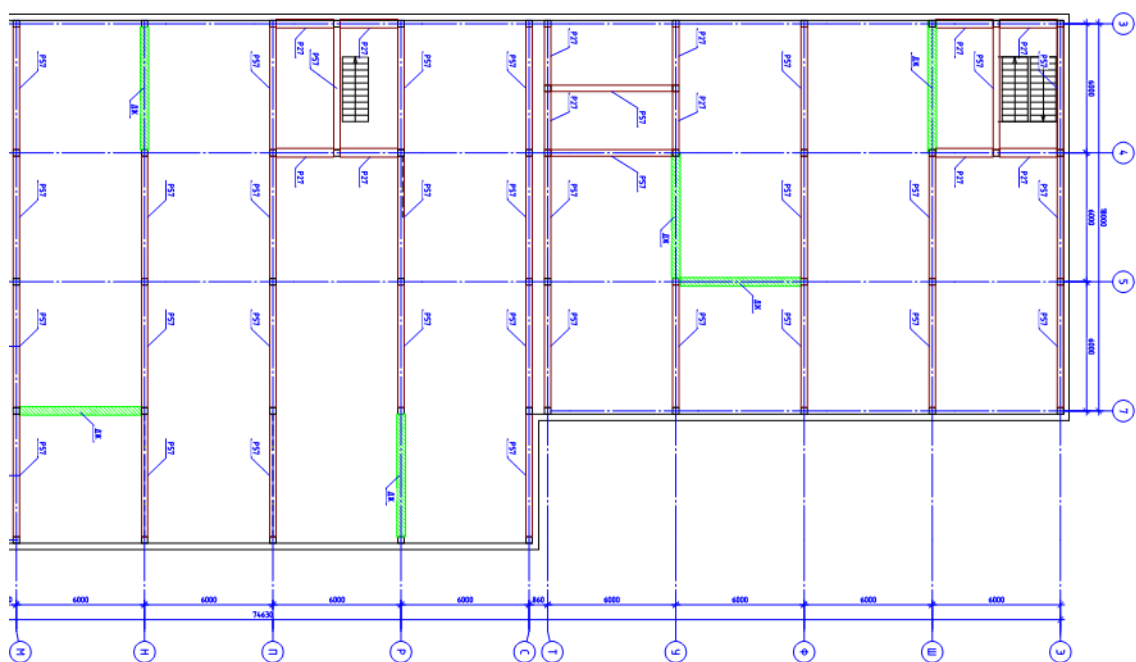
Таким образом, если для запроектированного здания по 1-й форме происходит чистое кручение (не путать с неравномерным поступательными колебаниями, при которых создается эффект "как бы закручивания"), это значит, что жесткость здания на кручение ниже, чем жесткость по основным 2-м направлениям.

В работе [4] было установлено, что для здания прямоугольной формы поперечного сечения с отношением сторон $h / d \leq 2$ наиболее рациональной формой расположения диафрагм жесткости является схема, при которой диафрагмы жесткости разнесены на наибольшее расстояние от центра тяжести здания. При этом уголкового типа диафрагм жесткости принят как наиболее оптимальный, что соответствует конструктивной схеме здания с наружным и внутренним стволами жесткости. Это можно объяснить тем, что при данном типе момент инерции всего здания самый высокий.

В работе [5] было установлено, что на первую форму колебаний оказывает влияние конструкция и расположение в плане ядра жесткости здания. Ядро жесткости должно быть замкнутым и расположено симметрично относительно центральной оси здания или ближе к его центру. На вторую форму колебаний оказывает влияние расположения диафрагм жесткости. Однако, все указанные мероприятия, как правило применяются при проектировании новых зданий с монолитным железобетонным каркасом. Для зданий в сборном варианте по серии ИИ-04 ядро жесткости (блок лестничной клетки) располагается далеко не в центре тяжести здания, а панели диафрагм жесткости не разнесены на максимальное расстояние друг от друга.

Поверочные расчеты в соответствии с требованиями [6]

С целью оценки пространственной жесткости каркаса серии ИИ-04 на действие нагрузок в соответствии с требованиями [8, 9, 10] рассмотрим в качестве примера административное здание малой этажности, состоящее из двух температурно-деформационных блоков (рисунок 1, 2).



P57 – железобетонный ригель (длина в мм); ДЖ – диафрагма жесткости
Рисунок 1 – Схема расположения железобетонных элементов каркаса здания

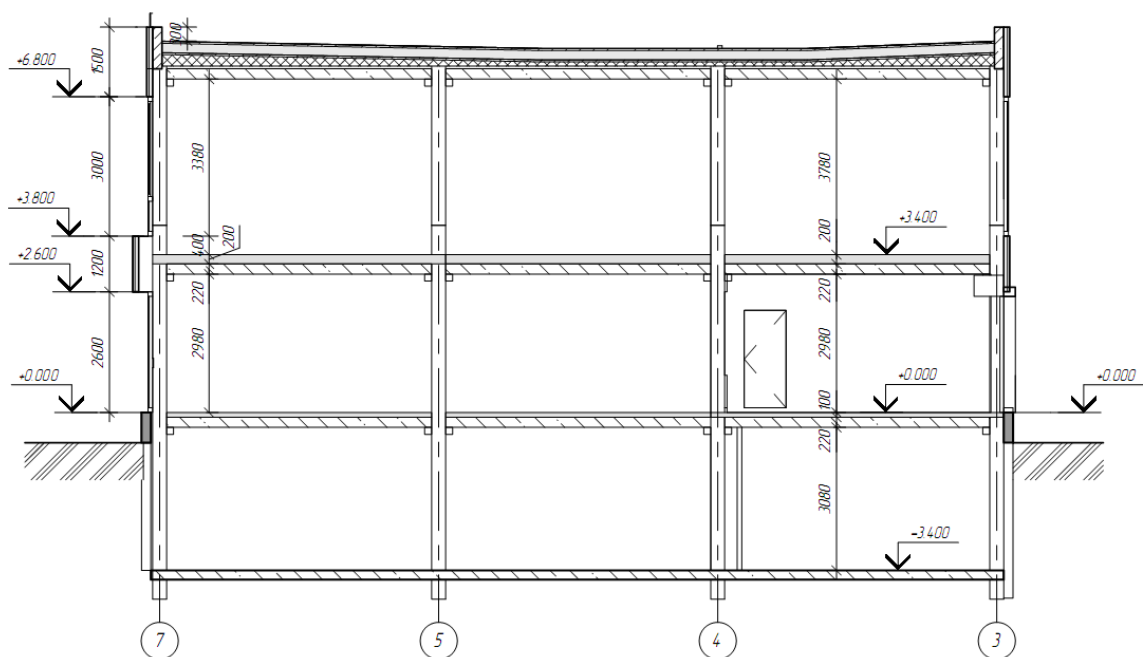


Рисунок 2 – Поперечный разрез здания (1-1)

В осях М-С / 3-9 каркас здания в поперечном направлении представлен четырехпролетными рамами с пролетом 6.0 м, в осях Т-Ц / 3-7 – трехпролетными, так же с величиной пролета равного 6.0 м. Шаг поперечных рам для обоих блоков составляет 6.0 м. Поперечные рамы в продольном направлении объединены жесткими дисками перекрытий и покрытия, диафрагмами жесткости и стеновыми панелями. В соответствии с п. 6.1 [1] жесткость каркаса обеспечивается в горизонтальной плоскости – работой перекрытий, как горизонтальных диафрагм жесткости, в вертикальной плоскости – работой рам и вертикальных диафрагм. Выбор решений по обеспечению жесткости каркаса производится в зависимости

от величины вертикальной и ветровой нагрузок, высоты этажей, количества этажей и количества пролетов в здании. Жесткость зданий в плоскости, перпендикулярной к основным рамам каркаса, обеспечиваются постановкой вертикальных диафрагм жесткости в соответствии с рекомендациями, приведенными в приложении на листах № 15, 16 [1]. Во всех случаях вертикальные диафрагмы жесткости должны доводиться до фундамента и соединяться с ним анкерными связями (п. 6.5 [1]).

Типовой каркас здания серии ИИ-04 разработан на основании действующего на момент ее утверждения СНиП II-A.11-62 «Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования» [6], в соответствии с которыми для г. Бреста имеет место I-й ветровой район с величиной нормативной ветровой нагрузки 27 кг/м^2 (0.27 кПа). Тогда в соответствии с таблицей 8 (лист 30 [2]) при высоте здания $H=8.3 \text{ м}$ и длине блоков 24 м максимальный момент от ветровой нагрузки, действующий на отметке поверхности земли составит $M_{\text{ветр}} = 34.84 \text{ т}\cdot\text{м}$ ($348,4 \text{ кН}\cdot\text{м}$), поперечная сила на том же уровне $Q = 8.72 \text{ т}$ ($87,2 \text{ кН}$). Тогда предельный изгибающий момент, воспринимаемый одной диафрагмой таблицы 9 [7] типа диафрагмы D1 составит $[M] = 220 \text{ т}\cdot\text{м}$ ($2200 \text{ кН}\cdot\text{м}$).

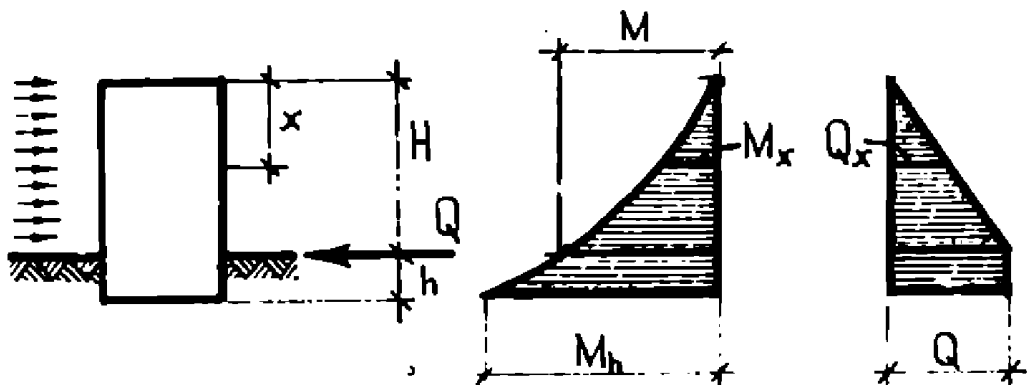


Рисунок 3 – Схема к определению усилий в характерных сечениях здания от ветровой нагрузки согласно [6]

При размерах блоков здания в осях 3-9/М-С и 3-7/Т-Ц соответственно $24 \times 24 \text{ м}$ и $24 \times 18 \text{ м}$ и высотой подвального этажа 3.4 м ветровой момент в уровне заделки в фундамент равен $M_{\text{ветр}} = 64.5 \text{ т}\cdot\text{м}$ ($645,0 \text{ кН}\cdot\text{м}$). Тогда для блоков в осях 3-9/М-С и 3-7/ Т-Ц поперек здания количество диафрагм жесткости будет равно

$$m = \frac{M_{\text{ветр}}}{[M]} = \frac{64.5}{220} = 0.3 < 1.$$

Вдоль здания в осях 3-9/М-С и 3-7/ Т-Ц несущая способность диафрагмы D1 согласно таблиц 9 и 10 (лист 32, [3]) при глубине (длине) обоих блоков равной 24 м составит

$$[M] = 220 \cdot 0.94 = 206.8 \text{ т}\cdot\text{м}.$$

Вдоль здания для блока в осях 3-9/М-С ветровой момент в уровне заделки в фундамент равен $M_{\text{ветр}}^* = \frac{B}{L} \cdot M_{\text{ветр}} = \frac{24}{60} \cdot (87.1 + 21.8 \cdot 3,4) = 64.5 \text{ т}\cdot\text{м}$.

Вдоль здания для блока в осях 3-7/ Т-Ц ветровой момент в уровне заделки в фундамент равен $M_{\text{ветр}}^* = \frac{B}{L} \cdot M_{\text{ветр}} = \frac{18}{60} \cdot (87.1 + 21.8 \cdot 3,4) = 48.4 \text{ т}\cdot\text{м}$.

Вдоль здания для блоков в осях 3-9/М-С и 3-7/ Т-Ц количество диафрагм жесткости будет равно:

$$m = \frac{M_{\text{вент}}^*}{[M]} = \frac{64.5}{206.8} = 0.31 < 1;$$

$$m = \frac{M_{\text{вент}}^*}{[M]} = \frac{48.4}{206.8} = 0.23 < 1.$$

На основании выполненных расчетов, согласно действующим на момент проектирования норм [6], жесткость блоков здания в осях 3-9/М-С и 3-7/ Т-Ц в поперечном и продольном направлениях может быть обеспечена без постановки поперечных и продольных диафрагм жесткости. Допускается установка для каждого блока не более одной диафрагмы жесткости в продольном и поперечном направлениях.

Произведем проверку количества диафрагм жесткости в поперечном направлении здания в случае использования в качестве последней стены лестничного блока (тип D3) в соответствии с таблицей 9 (лист 32, [3]).

Для типа диафрагмы D3 несущая способность $[M] = 165$ т·м.

Тогда для блоков в осях 3-9/М-С и 3-7/ Т-Ц поперек здания количество диафрагм жесткости будет равно $m = \frac{M_{\text{вент}}}{[M]} = \frac{64.5}{165} = 0.4 < 1$.

Согласно действующих на момент проектирования нормам [6] жесткость блоков здания в осях 3-9/М-С и 3-7/ Т-Ц в поперечном направлении может быть обеспечена за счет работы поперечной стены лестничного блока в качестве диафрагмы жесткости.

Поверочные расчеты в соответствии с требованиями [7...10]

В соответствии с [9] для г. Бреста снеговой район – 1б, а в соответствии с [10], базовая скорость ветра $v_{b,0}$ принимается равной 21 м/с. Пиковое значение скоростного напора ветра на отметке 8.3 м – $q_p(8,3) = 0,446$ кПа, что значительно выше величины нормативного значения ветровой нагрузки принимаемой для серии ИИ-04 согласно [6].

Общий вид разработанной авторами конечно-элементной модели (КЭМ) в ПК «Лира-САПР» блока здания в осях 3-9/М-С представлен на рисунке 4.

При разработке конечно-элементной модели вводились следующие предположения:

- в расчетную модель каркаса вводим только несущие конструктивные элементы, считаем, что поэтажно опертые наружные стены, а также перегородки не участвуют в работе каркаса, и лишь создают дополнительные нагрузки на плиты перекрытий;

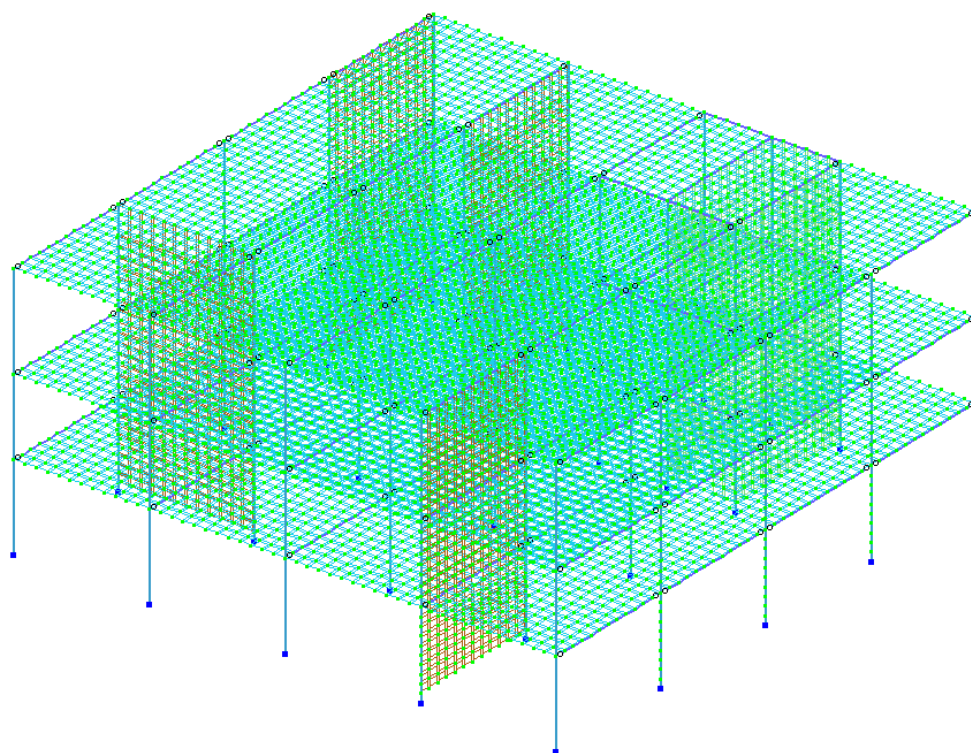
- плоские плиты перекрытий и покрытия, диафрагмы жесткости, а также несущие стены в местах опирания лестничных клеток моделируем элементами плоской оболочки, имеющими все шесть степеней свободы в узле;

- колонны представляем универсальными стержневыми конечными элементами, с жестким их сопряжением с фундаментами;

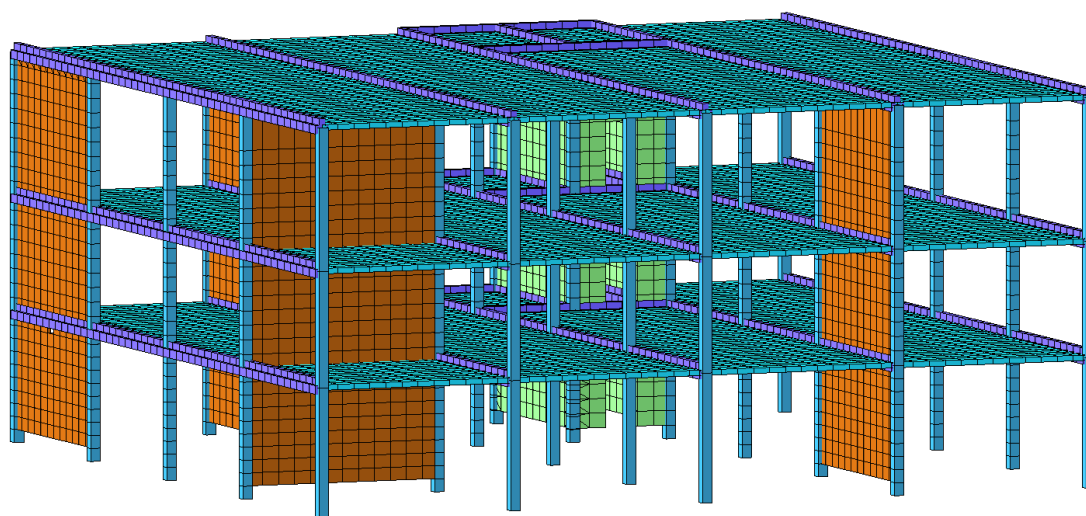
- сопряжение ригелей с колоннами принято шарнирным;

- при определении усилий в элементах каркаса здания эффектами физической и геометрической нелинейности пренебрегаем;
- ветровую нагрузку прикладываем в виде линейной равномерно-распределенной к колоннам.

Расчетные сочетания нагрузок выполнены в соответствии с требованиями СН 2.01.01-2019 [7]. Результаты модального анализа для блоков здания в осях 3-9/М-С и 3-7/ Т-Ц при наличии проектных (исходных) диафрагм жесткости и отсутствии продольных представлены в таблицах 1-4. Геометрические характеристики для центров тяжести и центров жесткости (CR-CWL) блока здания в осях 3-9/М-С приведены на рисунке 5.



а)



б)

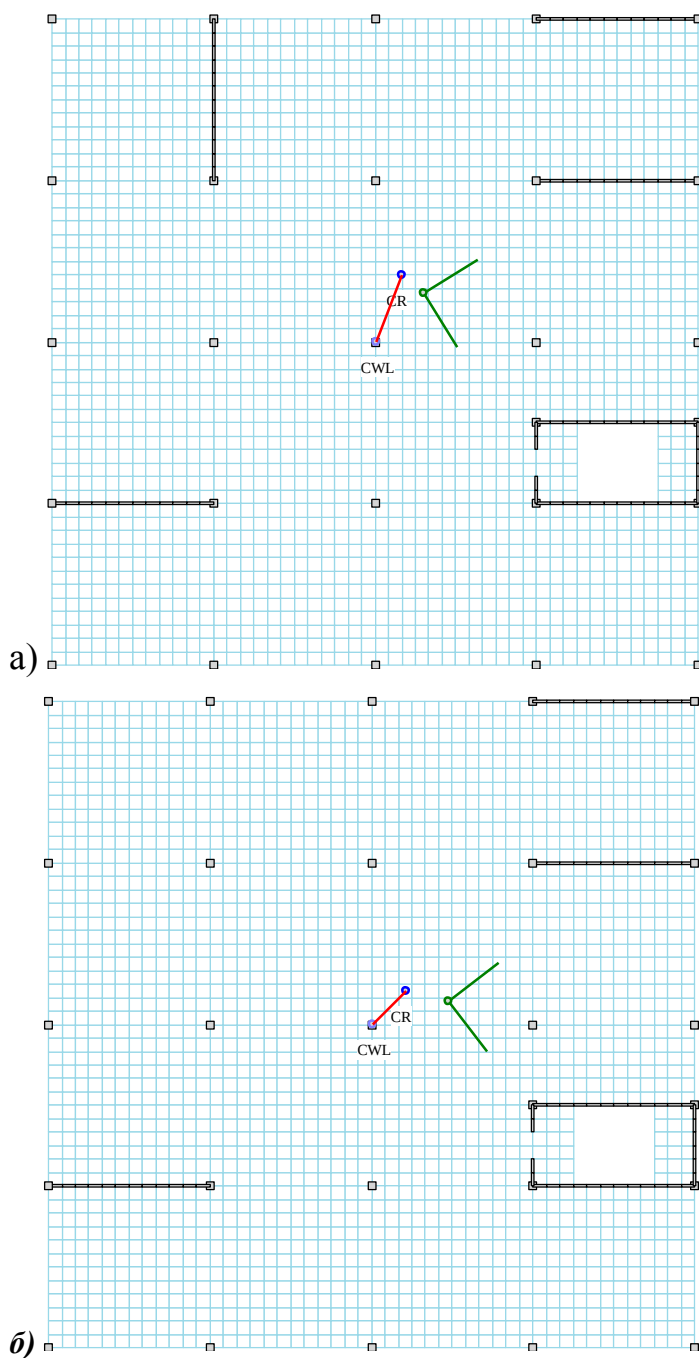
Рисунок 4 – Исходная конечно-элементная модель блока здания в осях 3-9/М-С

Таблица 1 – Значения периодов колебаний системы для блока в осях 3-9/М-С с учетом проектных (исходных) диафрагм жесткости

ЗАГР.	№ п/п	Собств. знач.	Рад/с.	Гц.	Периоды	Кэф. распр.	Масса	Сумма масс
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4 - (мод. 100)								
4	1	0.075	13.245	2.109	0.474	1.457	29.342	29.342
4	2	0.053	19.030	3.030	0.330	0.606	2.736	32.078
4	3	0.045	22.469	3.578	0.279	-1.766	26.010	58.089
4	4	0.033	30.149	4.801	0.208	0.494	0.291	58.380
4	5	0.031	31.850	5.072	0.197	-0.341	0.093	58.474
4	6	0.031	32.761	5.217	0.192	0.501	0.406	58.879
4	7	0.030	33.329	5.307	0.188	-0.438	0.153	59.032
4	8	0.030	33.730	5.371	0.186	1.694	2.494	61.526
4	9	0.029	34.174	5.442	0.184	-0.416	0.369	61.895
4	10	0.029	34.449	5.485	0.182	0.485	0.344	62.239
4	11	0.029	34.662	5.519	0.181	0.725	0.965	63.205

Таблица 2 – Значения периодов колебаний системы для блока в осях 3-9/М-С при отсутствии продольных диафрагм жесткости

ЗАГР.	№ п/п	Собств. знач.	Рад/с.	Гц.	Периоды	Кэф. распр.	Масса	Сумма масс
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4 - (мод. 100)								
4	1	0.130	7.687	1.224	0.817	1.520	26.212	26.212
4	2	0.055	18.273	2.910	0.344	0.937	7.183	33.395
4	3	0.045	22.464	3.577	0.280	-1.466	18.787	52.182
4	4	0.043	23.164	3.689	0.271	0.832	9.025	61.207
4	5	0.034	29.148	4.641	0.215	0.126	0.022	61.229
4	6	0.033	30.641	4.879	0.205	1.086	1.565	62.794
4	7	0.032	31.710	5.049	0.198	0.036	0.002	62.796
4	8	0.031	32.274	5.139	0.195	-1.285	1.322	64.118
4	9	0.031	32.598	5.191	0.193	-0.981	0.992	65.109
4	10	0.030	32.946	5.246	0.191	0.369	0.246	65.356
4	11	0.030	33.231	5.292	0.189	1.316	2.308	67.664



Переменная	Значение
X cw (сечение), м	24.22
Y cw (сечение), м	17.57
X cr (сечение), м	23.43
Y cr (сечение), м	18.25
X cwl (нагрузка), м	22.47
Y cwl (нагрузка), м	15.78
расстояние CR-CWL, м	2.65
суммарная нагрузка, кН	3713.90
I max, м4	242756
I min, м4	57767
угол, град	-58.49
координата Z, м	6.80

Переменная	Значение
X cw (сечение), м	25.26
Y cw (сечение), м	16.61
X cr (сечение), м	23.71
Y cr (сечение), м	17.03
X cwl (нагрузка), м	22.47
Y cwl (нагрузка), м	15.78
расстояние CR-CWL, м	1.76
суммарная нагрузка, кН	3713.90
I max, м4	204517
I min, м4	55565
угол, град	-52.21
координата Z, м	6.80

а) – при наличии продольных диафрагм жесткости;
б) – при отсутствии продольных диафрагм жесткости
Рисунок 5 – Геометрические характеристики для центров тяжести и центров жесткости (CR-CWL) блока здания в осях 3-9/М-С

Таблица 3 – Значения периодов колебаний системы для блока в осях 3-7/ Т-Ц с учетом проектных (исходных) диафрагм жесткости

ЗАГР.	№ п/п	Собств. знач.	Рад/с.	Гц.	Периоды	Коэф. распр.	Масса	Сумма масс
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 - (мод. 100)								
2	1	0.066	15.074	2.400	0.417	0.949	10.050	10.050
2	2	0.052	19.399	3.089	0.324	2.072	33.194	43.245
2	3	0.038	26.234	4.177	0.239	1.559	15.618	58.863
2	4	0.033	30.695	4.888	0.205	0.611	0.304	59.167
2	5	0.032	31.110	4.954	0.202	-1.806	1.668	60.835
2	6	0.031	32.680	5.204	0.192	-1.878	1.513	62.348
2	7	0.030	32.965	5.249	0.191	-0.630	0.284	62.632
2	8	0.030	33.214	5.289	0.189	1.233	1.754	64.386
2	9	0.030	33.615	5.353	0.187	0.801	0.744	65.131
2	10	0.030	33.886	5.396	0.185	-2.639	6.595	71.725
2	11	0.029	34.149	5.438	0.184	-0.317	0.144	71.870
2	12	0.029	34.367	5.472	0.183	-0.246	0.079	71.949
2	13	0.029	34.609	5.511	0.181	1.048	0.527	72.475

Таблица 4 – Значения периодов колебаний системы для блока в осях 3-7/ Т-Ц при отсутствии продольных диафрагм жесткости

ЗАГР.	№ п/п	Собств. знач.	Рад/с.	Гц.	Периоды	Коэф. распр.	Масса	Сумма масс
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2 - (мод. 100)								
2	1	0.114	8.770	1.397	0.716	1.619	31.870	31.870
2	2	0.059	16.912	2.693	0.371	1.060	6.681	38.552
2	3	0.039	25.849	4.116	0.243	0.703	5.354	43.906
2	4	0.037	26.849	4.275	0.234	1.116	19.137	63.043
2	5	0.034	29.284	4.663	0.214	0.283	0.167	63.209
2	6	0.032	30.926	4.925	0.203	-1.061	0.683	63.893
2	7	0.031	31.995	5.095	0.196	0.049	0.003	63.896
2	8	0.031	32.041	5.102	0.196	-0.246	0.073	63.969
2	9	0.031	32.578	5.188	0.193	1.376	1.727	65.696
2	10	0.030	33.185	5.284	0.189	0.937	1.116	66.812
2	11	0.030	33.340	5.309	0.188	1.237	4.136	70.948

Анализ выполненных расчетов

Предельные величины частоты колебаний для многоэтажных зданий приняты согласно ISO 48666: 1990/1:1994:

$$[f_1]=46/H=46/8.3=5.54; [f_2]=58/H=6.98; [f_3]=(72-77)/H=8.67.$$

где H – высота здания.

Анализ данных таблиц 1 и 2, 3 и 4 показал, что предельные величины частот колебаний для 1-й, 2-й и 3-й форм в обоих блоках здания не превышают установленные нормативные требования.

На основании выполненных расчетов установлено, что жесткость блоков здания в осях 3-9/М-С и 3-7/ Т-Ц в поперечном и продольном направлении может быть обеспечена за счет работы каркаса с существующими поперечными диафрагмами жесткости, продольных и поперечных стен блока лестничной кладки.

Заключение

В настоящее время при реконструкции зданий и сооружений в Республике Беларусь необходимо использовать новые технические нормативно-правовые акты (ТНПА) в области строительства. При этом наиболее чувствительными изменениями в ТНПА явились подходы к определению характеристических и расчетных значений нагрузок и воздействий действующих на конструкции. Как показали расчеты для зданий, выполненных из сборного железобетона применительно к типовой серии ИИ-04 для зданий с количеством этажей до 3-х их пространственная жесткость обеспечивается существующими схемами размещения диафрагм и ядер жесткости и удаление из схемы одной из диафрагм, расположенной в плоскости перпендикулярной рамам, позволяет исключить недопустимые перемещения каркаса. Однако, изменение величин перемещений свидетельствует о необходимости полного пересмотра типовой серии с точки зрения подходов обеспечения пространственной жесткости каркаса.

Список цитированных источников

1. Серия ИИ-04-0. Указания по применению изделий. Выпуск 1. Указания по применению изделий для зданий в 1-4 этажа. Рабочие чертежи. – ЦИТП. Москва. – 1966.
2. Серия ИИ-04-0. Указания по применению изделий. Выпуск 6. Указания по применению изделий связевого каркаса с сеткой колонн 6х6; 6х4.5 и 6х3 м. Рабочие чертежи – ЦНИИЭП. Москва. – 1973.
3. Серия ИИ-04-6. Сборные элементы зданий каркасной конструкции. Серия ИИ-04-6. Диафрагмы жесткости. Выпуск 1. Железобетонные диафрагмы толщиной 120 мм. – ЦИТП. Москва. – 1966.
4. Шурин, А.Б. Оценка влияния диафрагм различной жесткости на пространственную работу каркаса многоэтажных зданий / А.Б. Шурин, Н.Н. Шалобыта, Е.В. Люкевич // Дефекты зданий и сооружений. Усиление строительных конструкций : Сборник научных статей XXI научно-методической конференции ВИТУ (16 марта 2017 года) : Санкт-Петербург / ВИТУ / под общ. ред. к.т.н., доцента Д.В. Курлапова. – СПб., 2017. – С. 274–279.
5. Вычегжанин, Е.В. Способы исключения крутильных колебаний по основным формам при проектировании многоэтажных монолитных зданий / Е.В. Вычегжанин, А. Н. Сычков // Перспективы развития строительного комплекса : Материалы XIII Международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов (АГАСУ, 2019). – Астрахань, 2019. – С.175–178.
6. СНиП II-A.11-62. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. Москва. – 1962.
7. СН 2.01.01-2019. Основы проектирования строительных конструкций / Введ. 16.12.2019. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 83 с.
8. СН 2.01.02-2019. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Объемный вес, собственный вес, функциональные нагрузки / Введ. 16.12.2019. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 33 с.
9. СН 2.01.04-2019. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки / Введ. 16.12.2019. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 36 с.

10. СН 2.01.05-2019. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия / Введ. 16.12.2019. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2020. – 119 с.

References

1. Seriya II-04-0. Ukazaniya po primeneniyu izdelij. Vypusk 1. Ukazaniya po primeneniyu izdelij dlya zdaniy v 1-4 etazha. Rabochie chertezhi. – СІТР. Moskva. – 1966.
2. Seriya II-04-0. Ukazaniya po primeneniyu izdelij. Vypusk 6. Ukazaniya po primeneniyu izdelij svyazevogo karkasa s setkoj kolonn 6h6; 6h4.5 i 6h3 m. Rabochie chertezhi – СНИИП. Moskva. – 1973.
3. Seriya II-04-6. Sbornye elementy zdaniy karkasnoj konstrukcii. Seriya II-04-6. Diafragmy zhestkosti. Vypusk 1. ZHelezobetonnye diafragmy tolshchinoj 120 mm. – СІТР. Moskva. – 1966.
4. Shurn, A.B. Ocenka vliyaniya diafragm razlichnoj zhestkosti na prostranstvennuyu rabotu karkasa mnogoetazhnyh zdaniy / A.B. SHurin, N.N. SHalobyta, E.V. Lyukevich // Defekty zdaniy i sooruzhenij. Usilenie stroitel'nyh konstrukcij : Sbornik nauchnyh statej XXI nauchno-metodicheskoy konferencii VITU (16 marta 2017 goda) : Sankt-Peterburg / VITU / pod obshch. red. k.t.n., docenta D.V. Kurlapova. – SPb., 2017. – S. 274–279.
5. Vychegzhanin, E.V. Sposoby isklyucheniya krutil'nyh kolebanij po osnovnym formam pri proektirovanii mnogoetazhnyh monolitnyh zdaniy / E.V. Vychegzhanin, A. N. Sychkov // Perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa : Materialy XIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, molodyh uchenykh i studentov (AGASU, 2019). – Astrahan', 2019. – S.175–178.
6. SNIP II-A.11-62. Nagruzki i vozdejstviya. Normy proektirovaniya. Moskva. – 1962.
7. SN 2.01.01-2019. Osnovy proektirovaniya stroitel'nyh konstrukcij / Vved. 16.12.2019. – Minsk: Ministerstvo arhitektury i stroitel'stva Respubliki Belarus', 2020. – 83 s.
8. SN 2.01.02-2019. Vozdejstviya na konstrukcii. Obshchie vozdejstviya. Ob"emnyj ves, sobstvennyj ves, funkcional'nye nagruzki / Vved. 16.12.2019. – Minsk: Ministerstvo arhitektury i stroitel'stva Respubliki Belarus', 2020. – 33 s.
9. SN 2.01.04-2019. Vozdejstviya na konstrukcii. Obshchie vozdejstviya. Snegovye nagruzki / Vved. 16.12.2019. – Minsk: Ministerstvo arhitektury i stroitel'stva Respubliki Belarus', 2020. – 36 s.
10. SN 2.01.05-2019. Vozdejstviya na konstrukcii. Obshchie vozdejstviya. Vetrovye vozdejstviya / Vved. 16.12.2019. – Minsk: Ministerstvo arhitektury i stroitel'stva Respubliki Belarus', 2020. – 119 s.

УДК 624.012

ЖИВУЧЕСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ СИСТЕМ С ПЛОСКИМИ ДИСКАМИ ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ ОТКАЗЕ КЛЮЧЕВОГО ЭЛЕМЕНТА

А. А. Лизогуб¹

¹ М.т.н., мл. научн. сотр. ОЛ НИЦИС, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, p_332_14lizogub@mail.ru

Реферат

Живучесть конструктивных систем из железобетона на сегодняшний день является одним из актуальнейших вопросов в мировой практике проектирования, который требует проведения теоретических и экспериментальных исследований, разработки новых и усовершенствования существующих расчетных подходов.

В статье рассмотрен подход для определения нелинейной реакции «нагрузка-перемещение» железобетонной конструктивной системы с плоскими дисками перекрытия при отказе центральной колонны. Описаны основные принципы макро-моделирования поврежденных систем из железобетона. Представленные теоретические зависимости основаны на положениях энергетического баланса поврежденной системы и позволяют учесть такие характерные механизмы сопротивления прогрессирующему обрушению, как изгиб, срез при продавливании и эффект растянутой мембраны.

Ключевые слова: живучесть, железобетон, плоское перекрытие, отказ, ключевой элемент, поврежденная система.

ROBUSTNESS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURAL SYSTEMS WITH FLAT SLABS WHEN A KEY ELEMENT FAILED

A. A. Lizahub

Abstract

The robustness of reinforced concrete structural systems today is one of the most pressing issues in world design practice, which requires theoretical and experimental research, the development of new and improvement of existing calculation approaches.

The article considers an approach for determining the non-linear load-displacement reaction of a reinforced concrete structural system with flat slab in case of failure of the central column. The main principles of macro-modeling of damaged reinforced concrete systems are described. The presented theoretical dependences are based on the provisions of the energy balance of the damaged system and make it possible to take into account such characteristic mechanisms of resistance to progressive collapse as bending, punching, and tensile membrane action.

Keywords: robustness, reinforced concrete, flat slab, failure, key element, damaged system.

Введение

Наиболее опасным локальным повреждением для железобетонной конструктивной системы с плоскими плитами перекрытий является отказ вертикальных несущих конструктивных элементов, например, колонны или участка стены [1, 2]. В практике проектирования такие элементы принято называть ключевыми. Локальный отказ ключевого элемента приводит к перераспределению эффектов воздействий от гравитационных нагрузок (постоянных и длительной составляющей переменных нагрузок) на глобальном уровне. При этом диски перекрытий обеспечивают альтернативные пути передачи нагрузок на соседние колонны и пролеты. Если элементы системы способны сопротивляться дополнительным нагрузкам и эффективно перераспределять усилия на соседние вертикальные несущие элементы, то процесс нарастания обрушения прекращается, а поврежденная система становится стабильной. В обратном случае происходит их разрушение

(отказ), которое распространяется на соседние элементы, до тех пор, пока не будет обеспечено сопротивление или не произойдет полное обрушение всего здания.

Существующие прямые методы оценки живучести (метод альтернативных траекторий нагрузок, метод проектирования ключевого элемента) позволяют количественно оценить живучесть конструктивной системы. Считается, что более перспективным является метод альтернативных траекторий нагрузок, который предполагает внезапное удаление ключевого элемента из системы и дальнейшую проверку сопротивления поврежденной системы (в специальной литературе часто встречается термин «модифицированной системы»).

Одним из критериев количественной оценки живучести является предельное динамическое сопротивление поврежденной (модифицированной) системы на первом полупериоде колебаний. В соответствии с энергетическим подходом для его определения необходимо иметь полную нелинейную квазистатическую реакцию конструктивной системы с удаленным ключевым элементом [2, 3].

Квазистатическая реакция может быть получена как с помощью нелинейного статического анализа, так и путем вычисления её параметрических точек по представленному подходу.

1 Плоские плиты перекрытия при внезапном отказе ключевого элемента

Проанализировав существующие экспериментальные исследования ряда авторов [4-13] можно выделить общий характер поведения плоского перекрытия после удаления центральной опоры, который хорошо отражает зависимость «равномерно распределенная нагрузка-прогибы в центральном узле» (рисунок 1). Стоит отметить, что диаграммы деформирования для нагружения с контролем перемещений (жесткий режим) и с контролем нагрузки (мягкий режим) будут отличаться, однако, согласно закону сохранения энергии, энергия деформирования системы (площадь под кривой «нагрузка-перемещение») будет одинаковой для обоих случаев.

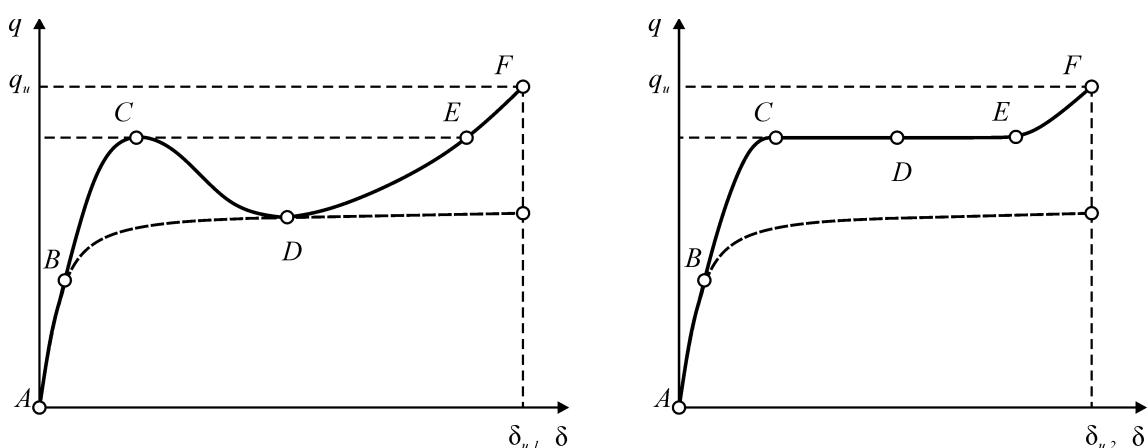


Рисунок 1 – Квазистатическая реакция «нагрузка-перемещение» для плоской плиты при удалении центральной опоры: а) случай нагружения с контролем перемещений; б) случай с контролем нагрузки

По мере увеличения прогибов при жестком режиме нагружения равномерно распределенной нагрузкой (рисунок 1а) в работе плиты можно выделить

несколько характерных стадий, которым соответствуют характерные механизмы сопротивления.

Вначале при увеличении нагрузки прогиб увеличивается почти линейно (от точки А до С). В элементе образуются и развиваются линии текучести до тех пор, пока не будет достигнуто максимальное сопротивление (точка С). Начальный участок А-С диаграммы «нагрузка-перемещение» называется упругой или упруго-пластичной стадией. Некоторые исследователи также называют данный этап стадией сжатой мембраны, поскольку в плоскости плиты при малых прогибах и ограничении продольных деформаций возникают сжимающие усилия. Взаимодействие изгибающих моментов и сжимающих продольных усилий приводит к увеличению сопротивления плиты изгибу и позволяет достичь первой пиковой нагрузки q в точке С, которая будет выше чем нагрузка, соответствующая текучести (точка В), полученная по теории предельного равновесия. Прогиб в точке С для плит, защемленных по контуру примерно равен $(0.5..1.0)h$, где h – толщина плиты.

В точке С плита полностью разделена на блоки линиями текучести и начинает работать как механизм. Сопротивление плиты падает из-за уменьшения сжимающих мембранных усилий до тех пор, пока не произойдет полное разрушение бетона в области линий текучести по всей высоте сечения в точке D.

Интервал от С до D называется переходным (промежуточным). По мере снижения сопротивления (уменьшения нагрузки при увеличении прогибов) и приближения к точке D сжимающие мембранные усилия в центральной части плиты уменьшаются и переходят в растягивающие.

Справа от точки D развивается эффект растянутой мембраны. Происходит разрушение бетона в центральной области плиты по всей высоте сечения. Нагрузку воспринимает растянутая арматура (и/или связи). Разрушение плиты происходит в точке E и связано с разрушением растянутой арматуры (и/или связей).

В плитах, в которых предусмотрены дополнительные связи для восприятия мембранных эффектов величина нагрузки в точке D может превышать нагрузку в точке С.

В случае мягкого режима нагружения (рисунок 1б) нагрузка из точки С сразу попадает в точку E, соответствующую мембранному механизму сопротивления. Это сопровождается внезапным приращением прогибов и как следствие наличием динамических инерционных эффектов.

2 Подход к моделированию поврежденной конструктивной системы. Принципы макро моделирования

На ряду с методами, основанными на континуальном моделировании, распространенными методами моделирования поврежденных (модифицированных) конструктивных систем при проверках живучести являются методы основанные на принципах макро моделирования. В соответствии с последними упругое поведение системы определено работой линейно-упругих стержней и пластин, а нелинейное поведение полностью зависит от поведения точечных пластических элементов (пластических шарниров), врезаемых в элементы конструктивной системы по принятым правилам в определенных характерных сечениях. По существу, имеет место моделирование дискретно-континуальной системы.

Нелинейные пластические шарниры в расчетной схеме отражают локальные зоны развития пластических углов поворота и пластических деформаций реальной конструктивной системы. Места их «врезки» в расчетную схему должны быть определены *a priori* на основании качественного понимания предполагаемой формы разрушения конструктивной системы или на основе предварительного анализа, выполняемого, например, с применением пластического расчёта, опираясь на положения метода предельного равновесия.

Точечные пластические шарниры описываются определенными нелинейными зависимостями и могут моделировать изгиб, срез и осевое растяжение (мембранные эффекты). На рисунке 2 представлен общий вид идеализированных диаграмм «момент-угол поворота» (« $M-\theta$ »), «поперечная сила-угол поворота» (« $V-\psi$ ») и «продольные усилия-продольные перемещения» (« $N-w$ ») для описания изгиба, среза и мембранных эффектов, соответственно.

Для упрощения расчетов и уменьшения количества пластических шарниров в расчетной схеме при моделировании пластического изгиба и среза возможно использование одного типа шарниров. При этом в расчетах для описания шарниров необходимо использовать диаграмму « $M-\theta$ » (рисунок 2а) с ограничением величины предельного угла поворота из учета среза (рисунок 2б).

Диаграмму « $N-w$ » (рисунок 2в) следует определять из учета сопротивления связей растяжению с учетом закона сцепления связевого элемента по контакту с окружающим бетоном [19].

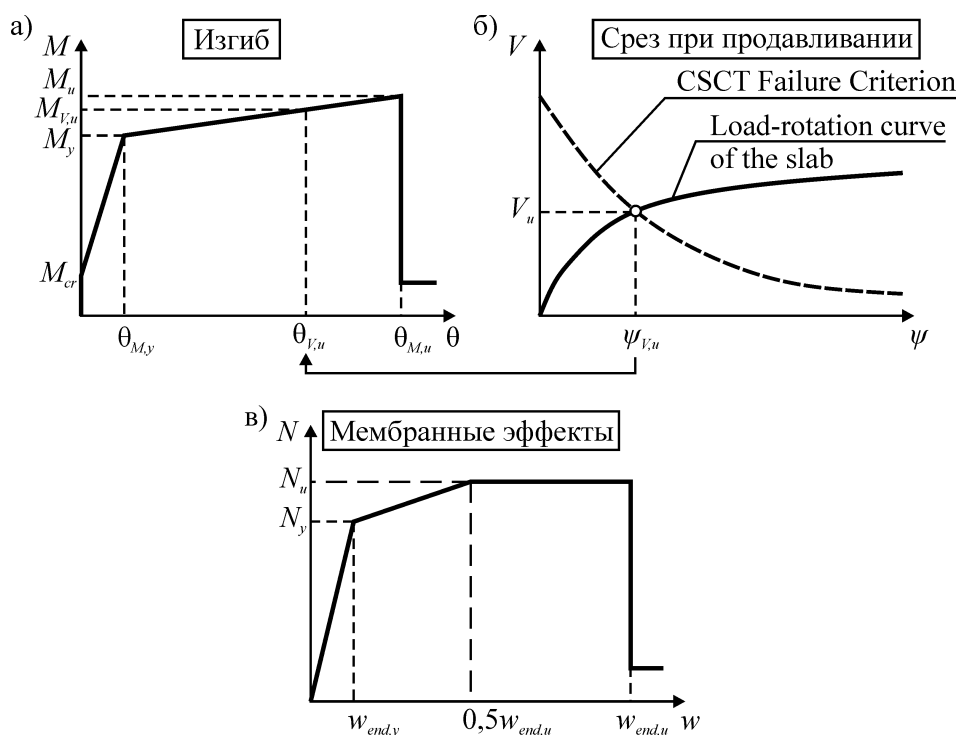


Рисунок 2 – Общий вид идеализированных диаграмм « $M-\theta$ » (а), « $V-\theta$ » (б) и « $N-w$ » (в)

Данный подход применим как для расчета с помощью конечно-элементных программных комплексов, декларирующих возможность врезки пластических шарниров в расчетную схему, так и для упрощенных аналитических способов расчета.

3 Некоторые теоретические зависимости для определения параметрических точек квазистатической диаграммы « q - δ »

Стадия упругой работы плоского перекрытия

Для плиты, работающей в упругой стадии, соответствующее нагрузке q значение прогиба δ может быть достаточно точно получено из решения уравнений Лагранжа для тонких пластин. Решение уравнения Лагранжа довольно громоздко и приводит к большим системам уравнений. Как классическая задача, решения уравнений Лагранжа для наиболее распространенных случаев граничных условий и геометрии плиты разными авторами сведены в таблицы, например [14].

Зависимость прогиба от нагрузки может быть представлена в следующем вид:

$$\delta = \alpha_1 \frac{q \cdot l^4}{D} \quad (1)$$

где α_1 – коэффициент для определения вертикальных перемещений в центре плиты ($x = 0, y = 0$) для свободно опертых по контуру квадратных плит $\alpha_1 = 0,00406$, для защемленных по контуру квадратных плит $\alpha_1 = 0,00126$; D – изгибная (цилиндрическая) жесткость плиты без трещин.

$$D = \frac{E_{cm} \cdot h^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (2)$$

где E_{cm} – средний модуль упругости бетона; h – толщина плиты; ν – коэффициент Пуассона.

Величина вертикального прогиба, соответствующего началу текучести арматуры плиты перекрытия (нагрузка q_y) может быть определена с помощью формулы:

$$\delta_y = \alpha_1 \frac{q_y \cdot l^4}{D_{cr}} \quad (3)$$

где D_{cr} – изгибная (цилиндрическая) жесткость плиты с трещинами.

Изгибный механизм сопротивления плоского перекрытия

Поведение конструктивной системы как при изгибе, так и при развитии мембранных эффектов может быть оценено с помощью аналитических зависимостей, основанных на методе предельного равновесия. Для изгибного механизма сопротивления может быть рассмотрена расчетная схема, представленная на рисунке 3.

В соответствии с положениями теории линий текучести плоская монолитная плита условно разделяется на сегменты, которые далее принимаются жесткими телами. Как видно из полученных экспериментальных данных [4-13] характер трещинообразования плоских плит перекрытия достаточно точно может быть предсказан методом линий текучести [15] (линейных пластических шарниров).

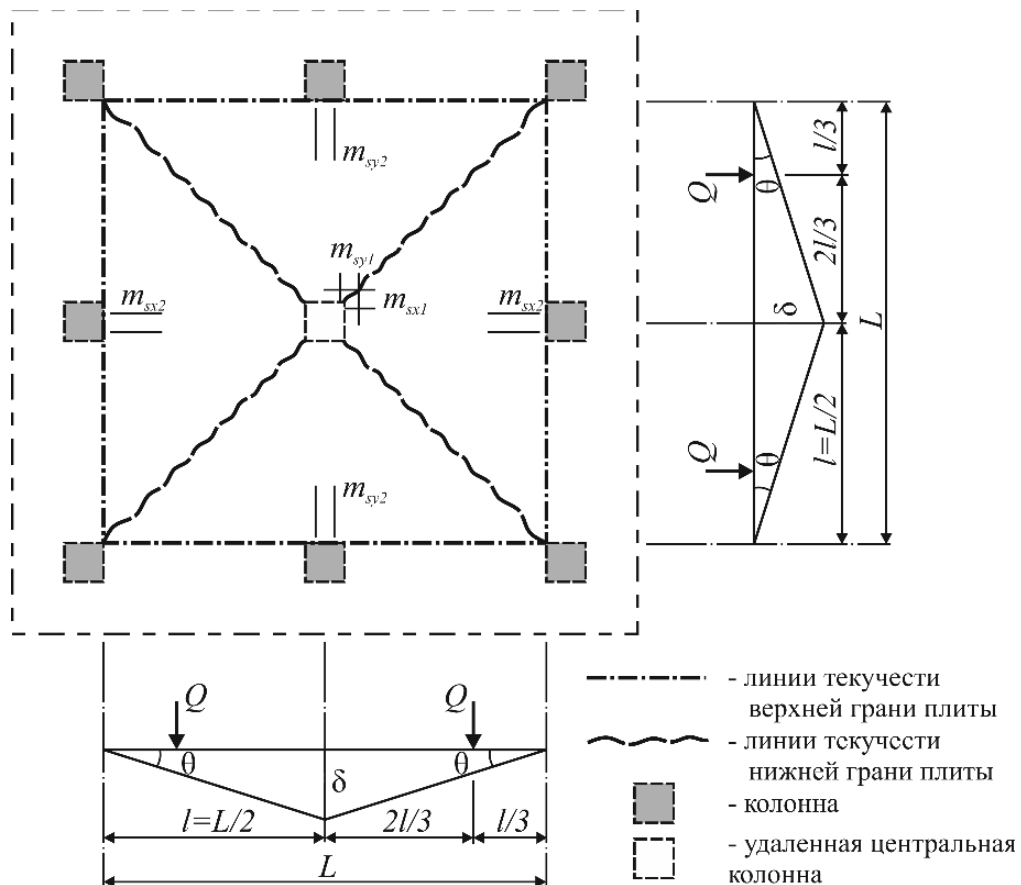


Рисунок 3 – Расчетная схема плоской плиты при удалении центральной колонны в соответствии с положениями теории линий текущей

В соответствии с методом предельного равновесия конструкция (плита перекрытия с удаленной колонной) рассматривается на стадии предшествующей разрушению, на которой выполняются условия равновесия для внутренних и внешних сил. Другими словами, при разрушении внешняя энергия, вызванная нагрузкой на плиту, должна быть равна внутренней энергии, рассеиваемой в пределах линий текущей:

$$W_{ext} = W_{int} \quad (4)$$

где W_{ext} – работа (или энергия) выполняемая внешними гравитационными нагрузками Q на перемещение δ сегментов плиты; W_{int} – работа изгибающего момента m_R на угле поворота θ .

Для плиты с учетом работы всех четырех сегментов и принятой картины образования пластических шарниров зависимость величины изгибающих моментов m , возникающих вдоль линий текущей от равномерно распределенной нагрузки q , которую воспринимает плита на определенном уровне вертикальных прогибов δ , может быть выражена в следующем упрощенном виде:

$$q(\delta) = \frac{24 \cdot (m_1(\delta) + m_2(\delta))}{L^2} \quad (5)$$

Величины изгибающих моментов m определяются из характеристик пластических шарниров (диаграмма « $M-\theta$ ») с учетом ограничения величины предельного момента из учета среза.

Сопротивление плиты перекрытия срезу при продавливании

Для проверки сопротивления срезу может быть использована модель, основанная на теории критической трещины при сдвиге (CSCT) [16, 17]. Данная модель предполагает, что прочность на сдвиг определяется шириной и шероховатостью трещины при сдвиге, которая развивается через наклонную сжимающую стойку, которая воспринимает силу сдвига, как показано на рисунке 4.

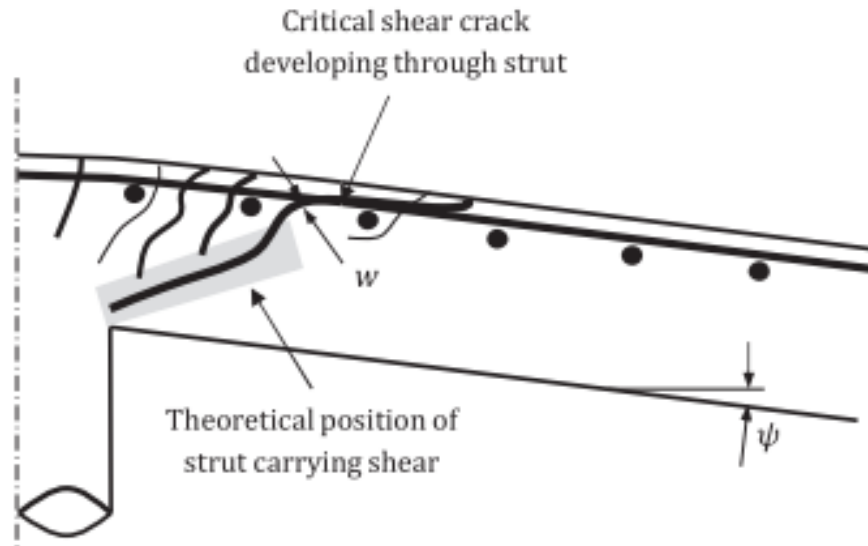


Рисунок 4 – Связь ширины раскрытия трещины w и угла поворота ψ в соответствии с теорией критической трещины при сдвиге [16, 17]

В работе [18] предложены модифицированные уравнения (6) теории критической трещины при сдвиге для определения критерия отказа, которые позволяют определить прочность на срез и соответствующий угол поворота при продавливании с учетом скорости деформирования $\dot{\epsilon}$, что позволяет учесть динамический характер отказа ключевого элемента.

$$\begin{aligned} \frac{V_R}{b_0 d_v \sqrt{f_c}} &= \frac{0.8}{1 + \frac{15\psi d}{d_{g0} + d_g}} \quad \text{для } \dot{\epsilon} = 10 / s \\ \frac{V_R}{b_0 d_v \sqrt{f_c}} &= \frac{1}{1 + \frac{15\psi d}{d_{g0} + d_g}} \quad \text{для } \dot{\epsilon} = 100 / s \\ \frac{V_R}{b_0 d_v \sqrt{f_c}} &= \frac{1.3}{1 + \frac{15\psi d}{d_{a0} + d_a}} \quad \text{для } \dot{\epsilon} = 300 / s \end{aligned} \quad (6)$$

Согласно выражениям, при относительно низких скоростях поворота плиты наблюдаются незначительные приращения сопротивления срезу, а при больших значениях скорости деформирования наблюдаются максимальные значения сопротивления срезу.

В соответствии с Model Code 2010 [16, 17] используя аппроксимацию 2 уровня определяется зависимость поперечной силы от угла поворота:

$$\psi = \frac{3}{2} \cdot \frac{r_s}{d} \cdot \frac{f_y}{E_s} \cdot \left(\frac{M_{sd}}{M_{Rd}} \right)^{3/2} \quad (7)$$

где r_s – положение нулевого радиального изгибающего момента относительно оси опоры (обычно принимается равным $0,22L$ для плоских плит с пролетом L), E_s — модуль упругости стальной арматуры, M_{sd} — средний изгибающий момент на единицу длины в надколонной полосе (в области опоры) плиты, а M_{Rd} — средняя прочность на изгиб на единицу длины в надколонной полосе.

Для случая внутренних колонн согласно Model Code 2010 [17] M_{sd} связано с нагрузкой V_d следующим образом:

$$M_{sd} = \frac{V_d}{8} \quad (8)$$

Эффект растянутой мембраны как механизм сопротивления

После образования линий текучести и развития достаточных пластических углов поворота при условии обеспечения сопротивления срезу при продавливании в области соседних колонн в работу плиты включаются связевые элементы (рисунок 4).

Равнодействующую связевых усилий во второй расчетной схеме (рисунок 5) можно рассматривать как сопротивление системы, уравнивающее гравитационную силу Q , действующую в её центре тяжести (центре масс). При этом, сопротивление может быть определено как статическое (квазистатическое) или динамическое. В рамках общего энергетического подхода [19] статическое сопротивление изменяется в зависимости от величины перемещения и может быть описано функцией сопротивления $q_{stat}(\delta_{qz})$, связанной в свою очередь с зависимостью « $N-w$ » для пластических связей в плите.

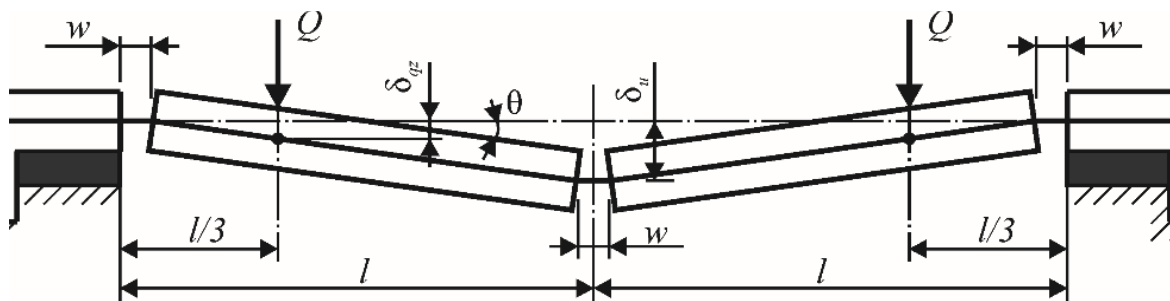


Рисунок 5 – Схема перекрытия для определения мембранного эффекта при больших перемещениях

Если связи во всех соединениях поврежденной системы одного и того же типа и имеют аналогичные характеристики, то связевые соединения имеют одинаковую зависимость « $N-w$ » для каждой связи. Для каждого элемента перекрытия собственный вес и другие постоянные нагрузки представлены результирующим усилием Q , приложенным в его центре тяжести. Деформированное состояние определяется вертикальным перемещением δ_{qz} .

Для одинаковых горизонтальных перемещений w трех связевых соединений вертикальное перемещение δ_{qz} может быть рассчитано непосредственно из деформированной геометрической схемы как:

$$\delta_{qz} \approx \frac{\sqrt{3 \cdot l \cdot w}}{3} \quad (9)$$

где l – длина сегмента перекрытия.

Тогда максимальное вертикальное перемещение в центре плиты:

$$\delta_u = 3 \cdot \delta_{qz} = \sqrt{3 \cdot l \cdot w_u} \quad (10)$$

Условия энергетического баланса для системы, состоящей из четырех сегментов и имеющей горизонтальные связи в надколонных полосах в двух направлениях:

$$Q \cdot a_{qz,u} = \frac{3}{2} \cdot \xi(w_u) \cdot N_u \cdot w_u \quad (11)$$

где $\xi(w)$ – относительная энергия деформационной способности связи согласно **fib Bulletin 43**:

$$\xi(w) = \frac{\int_0^w N(w) dw}{N_u \cdot w} \quad (12)$$

Выражение (11) показывает, что сопротивление системы на стадии развития растянутой мембраны зависит не только от сопротивления связей растяжению N , но и их пластической деформативности w , т.е. способности к удлинению.

Заключение

Представленные теоретические зависимости для определения параметрических точек нелинейной квазистатической диаграммы «нагрузка-перемещение» для железобетонных конструктивных систем с плоскими плитами перекрытий могут быть применены при оценке их живучести в особой расчетной ситуации и стать альтернативой выполнения нелинейных статических и динамических расчетов в конечноэлементных комплексах. Кроме случая удаления центральной колонны в рамках проверки живучести также могут быть получены решения для случаев удаления угловой и боковой колонн.

Также стоит отметить, что предложенные решения являются перспективными для выполнения вероятностного моделирования с целью калибровки глобального коэффициента безопасности, так как включают необходимые для этого базисные переменные.

Список цитированных источников

1. Adam, J. M., Parisi, F., Sagaseta, J., and Lu, X. (2018). Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century. *Engineering Structures*, 173, 122-149. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.06.082.
2. Ellingwood, B. R., Smilowitz, R., Dusenberry, D. O., Duthinh, D., Lew, H. S., & Carino, N. J. (2007). Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings. NISTIR 7396. National Institute of Science and Technology, US Department of Commerce.
3. Izzuddin, B. A., Vlassis, A. G., Elghazouli, A. Y., & Nethercot, D. A. (2008). Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss—Part I: Simplified assessment framework. *Engineering structures*, 30(5), 1308-1318. DOI: 10.1016/j.engstruct.2007.07.011.
4. Dat, P. X., and Tan, K. H. (2013). Experimental study of beam-slab substructures subjected to a penultimate-internal column loss. *Engineering Structures*, 55, 2-15. DOI: 10.1016/j.engstruct.2013.03.026.

5. Herraiz B., Vogel T. and Russell J. (2015). Energy-based method for sudden column failure scenarios: theoretical, numerical and experimental analysis. In *IABSE Workshop Helsinki 2015: Safety, Robustness and Condition Assessment of Structures. Report* (pp. 70-77). International Association for Bridge and Structural Engineering IABSE. DOI: <https://doi.org/10.3929/ethz-a-010389549>.
6. Lim, N. S., Tan, K. H., and Lee, C. K. (2017). Experimental studies of 3D RC substructures under exterior and corner column removal scenarios. *Engineering Structures*, 150, 409-427. DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.07.041.
7. Ma, F., Gilbert, B. P., Guan, H., Xue, H., Lu, X., and Li, Y. (2019). Experimental study on the progressive collapse behaviour of RC flat plate substructures subjected to corner column removal scenarios. *Engineering Structures*, 180, 728-741. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.11.043.
8. Pang, B., Wang, F., Yang, J., Nyunn, S., & Azim, I. (2021). Performance of slabs in reinforced concrete structures to resist progressive collapse. In *Structures* (Vol. 33, pp. 4843-4856). Elsevier. DOI: 10.1016/j.istruc.2021.04.092.
9. Pham, A. T., Lim, N. S., and Tan, K. H. (2017). Investigations of tensile membrane action in beam-slab systems under progressive collapse subject to different loading configurations and boundary conditions. *Engineering Structures*, 150, 520-536. DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.07.060.
10. Qian, K., and Li, B. (2012). Slab effects on response of reinforced concrete substructures after loss of corner column. *ACI Structural Journal*, 109(6), 845-855.
11. Qian, K., Li, B., and Ma, J. X. (2015). Load-carrying mechanism to resist progressive collapse of RC buildings. *J. Struct. Eng.*, 141(2), 1-14. DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001046.
12. Ren, P., Li, Y., Lu, X., Guan, H., and Zhou, Y. (2016). Experimental investigation of progressive collapse resistance of one-way reinforced concrete beam-slab substructures under a middle-column-removal scenario. *Engineering Structures*, 118, 28-40. DOI: 10.1016/j.engstruct.2016.03.051.
13. Russell, J. M., Owen, J. S., and Hajirasouliha, I. (2015). Experimental investigation on the dynamic response of RC flat slabs after a sudden column loss. *Engineering Structures*, 99, 28-41. DOI: 10.1016/j.engstruct.2015.04.040.
14. Timoshenko S., Woinowsky-Krieger S. (1987). *Theory of Plates and Shells*, 2nd ed. New York City, United States of America: McGraw-Hill.
15. Kennedy, G., & Goodchild, C. H. (2004). Practical yield line design. *Concrete Centre, Surrey, UK*.
16. Muttoni, A. (2008). Punching shear strength of reinforced concrete slabs without transverse reinforcement. *ACI structural Journal*, 105, 440-450. DOI: 10.14359/19858.
17. **fib** Model Code for Concrete Structures 2010. (2010). International Federation for Structural Concrete (*fib*), Lausanne, Switzerland.
18. Micallef, K., Sagaseta, J., Ruiz, M. F., and Muttoni, A. (2014). Assessing punching shear failure in reinforced concrete flat slabs subjected to localised impact loading. *International Journal of Impact Engineering*, 71, 17-33. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2014.04.003.
19. Tur, V., Tur, A., and Lizahub, A. (2021). Simplified analytical method for the robustness assessment of precast reinforced concrete structural systems. *Budownictwo i Architektura*, 20(4), 93-114. DOI: 10.35784/bud-arch.2774.

References

1. Adam, J. M., Parisi, F., Sagaseta, J., and Lu, X. (2018). Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century. *Engineering Structures*, 173, 122-149. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.06.082.
2. Ellingwood, B. R., Smilowitz, R., Dusenberry, D. O., Duthinh, D., Lew, H. S., & Carino, N. J. (2007). Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings. NISTIR 7396. National Institute of Science and Technology, US Department of Commerce.
3. Izzuddin, B. A., Vlassis, A. G., Elghazouli, A. Y., & Nethercot, D. A. (2008). Progressive collapse of multi-storey buildings due to sudden column loss—Part I: Simplified assessment framework. *Engineering structures*, 30(5), 1308-1318. DOI: 10.1016/j.engstruct.2007.07.011.

4. Dat, P. X., and Tan, K. H. (2013). Experimental study of beam–slab substructures subjected to a penultimate-internal column loss. *Engineering Structures*, 55, 2-15. DOI: 10.1016/j.engstruct.2013.03.026.
5. Herraiz B., Vogel T. and Russell J. (2015). Energy-based method for sudden column failure scenarios: theoretical, numerical and experimental analysis. In *IABSE Workshop Helsinki 2015: Safety, Robustness and Condition Assessment of Structures. Report* (pp. 70-77). International Association for Bridge and Structural Engineering IABSE. DOI: <https://doi.org/10.3929/ethz-a-010389549>.
6. Lim, N. S., Tan, K. H., and Lee, C. K. (2017). Experimental studies of 3D RC substructures under exterior and corner column removal scenarios. *Engineering Structures*, 150, 409-427. DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.07.041.
7. Ma, F., Gilbert, B. P., Guan, H., Xue, H., Lu, X., and Li, Y. (2019). Experimental study on the progressive collapse behaviour of RC flat plate substructures subjected to corner column removal scenarios. *Engineering Structures*, 180, 728-741. DOI: 10.1016/j.engstruct.2018.11.043.
8. Pang, B., Wang, F., Yang, J., Nyunn, S., & Azim, I. (2021). Performance of slabs in reinforced concrete structures to resist progressive collapse. In *Structures* (Vol. 33, pp. 4843-4856). Elsevier. DOI: 10.1016/j.istruc.2021.04.092.
9. Pham, A. T., Lim, N. S., and Tan, K. H. (2017). Investigations of tensile membrane action in beam-slab systems under progressive collapse subject to different loading configurations and boundary conditions. *Engineering Structures*, 150, 520-536. DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.07.060.
10. Qian, K., and Li, B. (2012). Slab effects on response of reinforced concrete substructures after loss of corner column. *ACI Structural Journal*, 109(6), 845-855.
11. Qian, K., Li, B., and Ma, J. X. (2015). Load-carrying mechanism to resist progressive collapse of RC buildings. *J. Struct. Eng*, 141(2), 1-14. DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001046.
12. Ren, P., Li, Y., Lu, X., Guan, H., and Zhou, Y. (2016). Experimental investigation of progressive collapse resistance of one-way reinforced concrete beam–slab substructures under a middle-column-removal scenario. *Engineering Structures*, 118, 28-40. DOI: 10.1016/j.engstruct.2016.03.051.
13. Russell, J. M., Owen, J. S., and Hajirasouliha, I. (2015). Experimental investigation on the dynamic response of RC flat slabs after a sudden column loss. *Engineering Structures*, 99, 28-41. DOI: 10.1016/j.engstruct.2015.04.040.
14. Timoshenko S., Woinowsky-Krieger S. (1987). *Theory of Plates and Shells*, 2nd ed. New York City, United States of America: McGraw-Hill.
15. Kennedy, G., & Goodchild, C. H. (2004). Practical yield line design. *Concrete Centre, Surrey, UK*.
16. Muttoni, A. (2008). Punching shear strength of reinforced concrete slabs without transverse reinforcement. *ACI structural Journal*, 105, 440-450. DOI: 10.14359/19858.
17. **fib** Model Code for Concrete Structures 2010. (2010). International Federation for Structural Concrete (*fib*), Lausanne, Switzerland.
18. Micallef, K., Sagaseta, J., Ruiz, M. F., and Muttoni, A. (2014). Assessing punching shear failure in reinforced concrete flat slabs subjected to localised impact loading. *International Journal of Impact Engineering*, 71, 17-33. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2014.04.003.
19. Tur, V., Tur, A., and Lizahub, A. (2021). Simplified analytical method for the robustness assessment of precast reinforced concrete structural systems. *Budownictwo i Architektura*, 20(4), 93-114. DOI: 10.35784/bud-arch.2774.

ВЕРИФИКАЦИЯ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НАПРЯГАЮЩЕГО БЕТОНА С ДИСПЕРСНЫМ АРМИРОВАНИЕМ

И. П. Павлова¹, И. В. Белкина²

¹ К. т. н., доцент, доцент кафедры технологии бетона и строительных материалов УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: pavlinna@tut.by

² Магистр технических наук, соискатель кафедры технологии бетона и строительных материалов УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail: lutaja-95@mail.ru

Реферат

Основная часть подходов по определению свойств напрягающих бетонов основана на экспериментальных подборках составов с последующим контролем базовых характеристик.

В данной статье предлагается перейти к аналитическому моделированию как наиболее универсальному инструменту, позволяющему минимизировать эмпирические исследования. Разработанная модифицированная расчетная деформационная модель напрягающего бетона в условиях пространственного ограничения свободных деформаций дисперсными армирующими элементами произвольной жесткости позволяет определять собственные деформации в произвольный временной интервал до момента стабилизации свободного расширения.

Ключевые слова: напрягающий фибробетон, собственные деформации, самонапряжение, объемное ограничение, модифицированная деформационная модель.

VERIFICATION OF THE CALCULATION MODEL FOR DETERMINING THE INTRINSIC DEFORMATIONS OF STRAINING CONCRETE WITH DISPERSED REINFORCEMENT

I. P. Pavlova, I. V. Belkina

Abstract

Most of the approaches for determining the properties of self-stressing concretes are based on experimental selections of mixes followed by control of basic characteristics.

In this paper it's proposed to switch to analytical modelling as the most universal tool allowing to minimize empirical investigations. The modified strains development model (MSDM) of self-stressing concrete under conditions of spatial restriction of free

strains by dispersed reinforcing elements of arbitrary stiffness allows to determine proper deformations in arbitrary time interval up to the moment of free expansion stabilization.

Keywords: fiber reinforced self-stressing concrete, restrained expansion strains, self-stressing, volumetric constraint, modified strains development model.

Введение

Напрягающий бетон – конструкционный материал, способный расширяться во времени, компенсируя усадочные деформации, сопровождающие твердение гидратирующих цементных систем, при этом обладающий высокими показателями прочности, трещиностойкости, водонепроницаемости, а также создающий физико-химическое преднапряжение при использовании его в конструкциях. Область применения такого материала достаточно широка, от жилых и производственных зданий до инженерных сооружений различного назначения. В эксплуатации напрягающий бетон показал себя как высоко надежный материал, способный окупать единовременные затраты при возведении самонапряженных конструкций за счет почти безремонтного срока эксплуатации [1].

Несмотря на то, что чаще всего напрягающий бетон используют в одно и двухосно ограниченных элементах, таких как балки и плиты, наибольший потенциал преднапряжения материал реализует при пространственном ограничении. Поэтому перспективным материалом на сегодняшний день является напрягающий фибробетон. Его особенностью является сочетание высоких прочностных и деформационных свойств дисперсно-армированного бетона и способности к самонапряжению (без стержневого армирования). Расширение такого бетона происходит в условиях обжата дисперсными армирующими волокнами, в результате чего создается предварительное напряжение, которое почти полностью сохраняется и после стабилизации процесса.

Тем не менее, большая часть подходов к определению свойств напрягающих бетонов строится на экспериментальных подборках составов. Для минимизации возможных эмпирических исследований в качестве направления, позволяющего перейти к прогнозированию свойств, было выбрано аналитическое моделирование.

Модифицированная деформационная модель (MSDM) для различных типов ограничения напрягающего бетона

Известно множество подходов к определению собственных деформаций и напряжений в напрягающем бетоне. В последнее время широкое внимание уделяется моделям, основанным на деформационном подходе.

Рассмотрим существующие варианты деформационной модели и упорядочим их в зависимости от типа ограничивающих элементов (таблица 1).

Таблица 1 – Существующие варианты деформационной модели для различных типов ограничения напрягающего бетона

одноосное ограничение [2]	одноосное ограничение [3]
двухосное ограничение [4]	трехосное ограничение [5]

Для оценки собственных деформаций в напрягающем фибробетоне также возможно применение деформационного подхода. Материал может быть представлен в виде шара из расширяющегося бетонного ядра и покрывающей его однородной оболочки постоянной толщины, состоящей из материала фибры, которая не проскальзывает по поверхности при деформациях шара. При этом внутренние усилия, возникающие в расширяющемся бетонном ядре и внутренние усилия, возникающие в ограничивающей его оболочке, взаимно уравновешены. Такой тип армирования соответствует трехосному ограничению (рис. 1) [6].

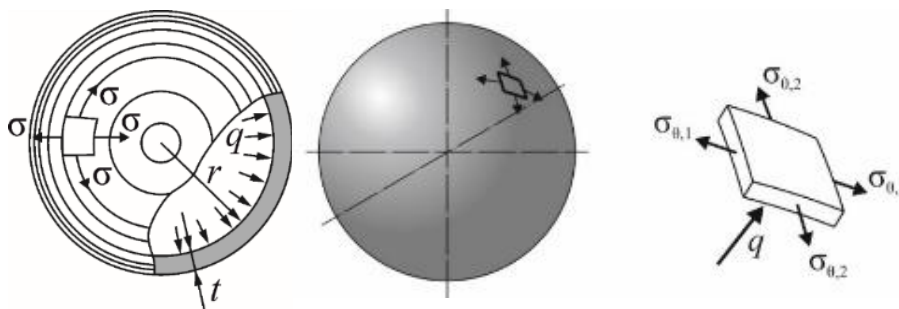


Рисунок 1 – Модифицированная деформационная модель напрягающего фибробетона

Для верификации, разработанной модифицированной расчетной модели для определения собственных напряжений и связанных деформаций были подготовлены 4 серии экспериментов. Варьировался тип и количество расширяющейся добавки. В качестве дисперсного армирования была принята стальная фибра.

Результаты экспериментов

Свободные деформации получены эмпирическим путем. Определение собственных деформаций напрягающего фибробетона выполнялось до момента

стабилизации процессов расширения. В таблице 2 в качестве результатов представлены средние значения по трем образцам серии.

Таблица 2 – Результаты экспериментов на 28-е сутки

№ серии	Свободные деформации ε_f , мм/мм $\times 10^{-5}$	Связанные деформации (модель) ε_r , мм/мм $\times 10^{-5}$	Связанные деформации (эксперимент) ε_x , мм/мм $\times 10^{-5}$
I	92,5	61,6	62,5
II	61,1	43,9	45,8
III	868,3	316,1	310,0
IV	651,7	275,0	258,3

Верификация предлагаемой модели на фоне имеющихся результатов экспериментальных исследований на 28-е сутки показала хорошее совпадение. Однако для оценки ошибки моделирования необходимо использовать большую выборку данных, что возможно при проведении дополнительного исследования.

Заключение

Таким образом, разработанная модифицированная расчетная деформационная модель напрягающего бетона в условиях пространственного ограничения свободных деформаций дисперсными армирующими элементами произвольной жесткости позволяет определять собственные деформации в произвольный временной интервал до момента стабилизации свободного расширения.

Список цитированных источников

1. Тур, В.В. Самонапряженный железобетон – исследования, опыт и перспективы применения / В.В. Тур // Архитектура и строительство – 2005. I международный научно-практический семинар: сборник трудов. – Брест: БрГТУ, 2005. – С. 73–86.
2. Ito H., Maruyama I., Tanimura M., Sato R. Early age deformation and resultant induced stress in expansive high strength concrete // Journal of Advanced Concrete Technology. 2004. № 2. P. 155–174. <https://doi.org/10.3151/jact.2.155>
3. Semianiuk V., Tur V., Herrador M. F. Early age strains and self-stresses of Expansive concrete members under uniaxial restraint conditions // Construction and Building Materials. 2017. Vol. 131. P. 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.008>
4. Sannikava V., Tur V. The modified early age strains development model for the case of two-way restraint conditions // MATEC Web of Conferences. 2021. Vol. 350. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202135000010>
5. Tur V. V., Duda R., Khmaruk D., Basav V. Analytical model for restraint strains and self-stressed in expansive concrete filled steel tubes (ecfst) estimation // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. № 1. P. 93–98. <https://doi.org/10.36773/1818-1212-2020-119-1-93-98>
6. Pavlova I.P., Belkina I.V. The restrained expansion strains of self-stressed concrete with disperse reinforcement: part 1. Modeling // News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022. – (Preprint/ Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering; № 9)

References

1. Tur, V.V. Samonapryazhennyj zhelezobeton – issledovaniya, opyt i perspektivy primeneniya / V.V. Tur // Arhitektura i stroitel'stvo – 2005. I mezhdunarodnyj nauchno-prakticheskij seminar: sbornik trudov. – Brest: BSTU, 2005. – S. 73–86.
2. Ito H., Maruyama I., Tanimura M., Sato R. Early age deformation and resultant induced stress in expansive high strength concrete. Journal of Advanced Concrete Technology. 2004;(2):155–174. <https://doi.org/10.3151/jact.2.155>

3. Semianiuk V., Tur V., Herrador M. F. Early age strains and self-stresses of Expansive concrete members under uniaxial restraint conditions. Construction and Building Materials. 2017;(131):39–49. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.008>

4. Sannikava V. Tur V. The modified early age strains development model for the case of two-way restraint conditions. MATEC Web of Conferences. 2021;(350). <https://doi.org/10.1051/matec-conf/202135000010>

5. Tur V. V., Duda R., Khmaruk D., Basav V. Analytical model for restraint strains and self-stressed in expansive concrete filled steel tubes (ecfst) estimation. Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura = Vestnik of Brest State Technical University. Civil Engineering and Architecture. 2020;119(1):93–98. <https://doi.org/10.36773/1818-1212-2020-119-1-93-98>

6. Pavlova I.P, Belkina I.V. The restrained expansion strains of self-stressed concrete with disperse reinforcement: part 1. Modeling // News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022. – (Preprint/ Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering; № 9)

УДК 72.025.4(476.7)

СВЯТО-НИКОЛАЕВСКИЙ ГАРНИЗОННЫЙ ХРАМ В БРЕСТСКОЙ КРЕПОСТИ КАК ЗНАКОВЫЙ ОБЪЕКТ ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ БРЕСТЧИНЫ

Э. А. Тур¹, С. В. Басов², В. В. Тричик³, Е. Ю. Русак⁴

¹К. т. н., доцент, заведующая кафедрой «Инженерной экологии и химии»
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
e-mail : tur.elina@mail.ru

²К. т. н., доцент, доцент кафедры «Инженерной экологии и химии»
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
e-mail : basovs@mail.ru

³Студентка гр. Д-23, строительный факультет УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : ieih@bstu.by

⁴Студентка гр. ТГВ-361, факультет инженерных систем и экологии
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
e-mail : ieih@bstu.by

Реферат

В работе представлены результаты исследования физико-химических и технологических особенностей аутентичных штукатурных растворов, определение первоначальных окрасочных составов и методические рекомендации по проведению ремонтно-реставрационных работ на внутренних поверхностях Свято-Николаевского гарнизонного храма Брестской крепости разработанные в рамках комплексных научных исследований.

Ключевые слова: технологические особенности, аутентичные штукатурные растворы, методические рекомендации, реставрация

ST. NICHOLAS GARRISON CHURCH IN BREST FORTRESS AS AN ICONIC OBJECT OF THE HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE OF BREST REGION.

E. A. Tur, S. V. Basov, V. V. Trichik, E. Y. Rusak

Abstract

The article represents the results of investigation of physical, chemical and technological features of authentic plasters together with specification of initial painting compositions and methodical recommendations for repair and restoration of inner surfaces in St. Nicholas garrison church of Brest fortress that were elaborated within complex scientific investigations.

Keywords: technological features, authentic plasters, methodical recommendations, restoration

Введение. Для Республики Беларусь глубокое изучение и всестороннее использование памятников наследия имеет особое значение. Изучение, сохранение и реставрация недвижимых объектов историко-культурного наследия являются необходимым условием предупреждения процесса разрушения национального богатства и сохранению духовности нашего народа.

С 2012 по 2022 годы учеными Брестского государственного технического университета были проведены многочисленные комплексные научные исследования недвижимых объектов историко-культурного наследия Брестской, Гродненской и Минской областей. К знаковым объектам, имеющим категории «0», «1» и «2» относятся православные храмы, католические костелы и иудейские синагоги, включенные в Государственный список историко-культурных ценностей Республики Беларусь. В составе научно-проектной документации разрабатывается раздел «Комплексные научные изыскания», который состоит из фотофиксации, обмеров, исторических, археологических и химико-физических исследований. Обязательное проведение химико-физических исследований помогает принять правильные проектные решения по применению отделочных материалов на историко-культурных объектах и, соответственно, повышению долговечности проведенных ремонтно-реставрационных работ.

Основная часть. Историческая справка. Свято-Николаевский гарнизонный собор - храм Брестской епархии Белорусского экзархата Русской православной церкви, расположенный на территории Брестской крепости в г. Бресте. Собор представляет собой памятник русско-византийского стиля и является одним из наиболее ярких примеров заимствований из византийского зодчества на территории Белоруссии. На месте собора в средневековом Бресте стоял костёл августинцев. Свято-Николаевский собор был построен в 1856—1879 годах (по другой версии, в 1851—1876 годах) по проекту академика Д.И. Гримма. Впоследствии храм неоднократно посещался российскими императорами, от Александра II до Николая II. Во время Первой мировой войны, в 1915 г., колокола собора вывезли в Россию. После присоединения Бреста к Польше собор был преобразован в католический храм (гарнизонный костёл св. Казимира) по проекту архитектора Юлиана Лисецкого, претерпев значительные изменения в области фасада.

В 1928 г. состоялась повторная реконструкция и перестройка храма под католическое богослужение. Он стал напоминать уничтоженный костёл августинцев, располагавшийся неподалёку и представлявший собой трёхнефную объёмную композицию, над двускатной крышей которой размещалась сигнатурка (небольшая башенка), с плоскостным фасадом с фигурным ярусным щитом. После включения Бреста в состав СССР, храм использовали в 1939—1941 г.г. как гарнизонный клуб. Во время Великой Отечественной войны храм сильно пострадал. В 1972 г. была произведена его консервация с включением в мемориальный комплекс «Брестская крепость-герой» (рисунок 1). В 1991 г. состоялось первое послевоенное богослужение. После возвращения в 1994 г. православным верующим, храм был отреставрирован (к 2005 году) по старым чертежам и документам, но до сих пор ведутся работы по обновлению изнутри. Внешне собору вернули его облик, он был украшен золотым куполом с Георгиевским крестом. Бронзовый колокол, поднятый на звонницу 18 июня 2001 года, считается одним из крупнейших отлитых в Беларуси за последнее столетие (рисунок 2).

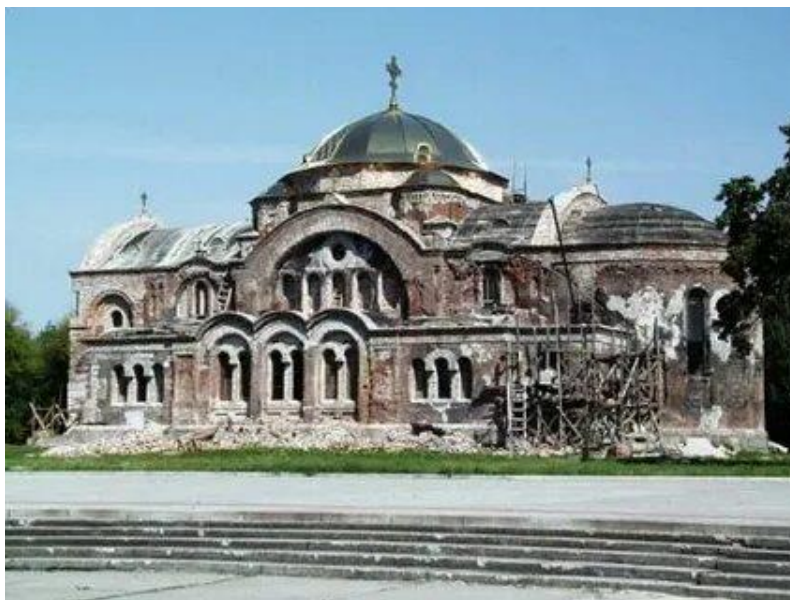


Рисунок 1 – Свято-Николаевский гарнизонный собор до реставрации



Рисунок 2 – Свято-Николаевский гарнизонный собор после реставрации

Ввиду размещения храма на территории оборонительного объекта была невозможна его высотная трактовка. Итогом стал приземистый характер этой трёхнефной базилики, имеющей ступенчатую композицию. Перекрытием данной композиции служат покатые цилиндрические крыши. Составными частями композиции являются прямоугольный в плане основной объём и примыкающая к нему по продольной оси полукруглая апсида. Завершением основного объёма служит мощный, но низкий полусферический (полуциркульный) купол на 16-гранном барабане. Главный фасад имеет вид полукруглой арки с двумя ярусами. Для выделения первого яруса использован арочный входной портал, для второго — пятипролётная аркатура с размещёнными над ней часами-курантами. Аналогичную трактовку применили и для торцов боковых приделов. Архитектурная композиция храма имеет горизонтальное развитие, что призваны были подчеркнуть арочные оконные проёмы боковых фасадов, состоящие из трёх или пяти частей и разграниченные колоннами (однако были и одиночные оконные проёмы). Для углов храма применили креповку колоннами в три яруса. Для обогащения креповки массивных объёмов храма использованы закомары, аркатура, кресты-ниши, зубчатые фризy, капители колонн декорированы. В интерьере храма использованы мощные аркады, разделяющие нефы (первоначально было 8 колонн). Перекрытием последним служат цилиндрические своды (рисунок 3) [1].

Результаты и их обсуждение. В 2021 г. авторами были проведены физико-химические исследования строительных растворов и окрасочных составов, отобранных с внутренних поверхностей стен храма (рисунок 3, рисунок 4).



Рисунок 3 – Внутреннее убранство Свято-Николаевского собора

Цель исследований – изучение физико-химических и технологических особенностей аутентичных штукатурных растворов, определение первоначальных окрасочных составов и разработка методических рекомендаций по проведению ремонтно-реставрационных работ на внутренних поверхностях здания в рамках комплексных научных исследований. Для физико-химических исследований представленных образцов применяли микрохимический, гранулометрический и петрографический методы исследований [2 – 7]. Гранулометрический состав заполнителей определялся путем просеивания через сита с размером ячеек 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125, 0,063 мм согласно рекомендациям ОАО «Белреставрация» Министерства Культуры Республики Беларусь (для исследования с возможностью последующего воссоздания аутентичных строительных растворов недвижимых

объектов историко-культурного наследия категории «0», «1» и «2»). Цвета лакокрасочных покрытий и отделочных составов указаны по каталогу «3D plus» компании CAPAROL, используемого архитекторами в Республике Беларусь. Цвет покрытия определялся путём визуального сравнения образца с эталонной типографской выкраской. Для устранения метамерии определение цвета проводилось при рассеянном естественном освещении [5].

Петрографические исследования представляют собой исследования шлифов представленных образцов под микроскопом [6, 7].

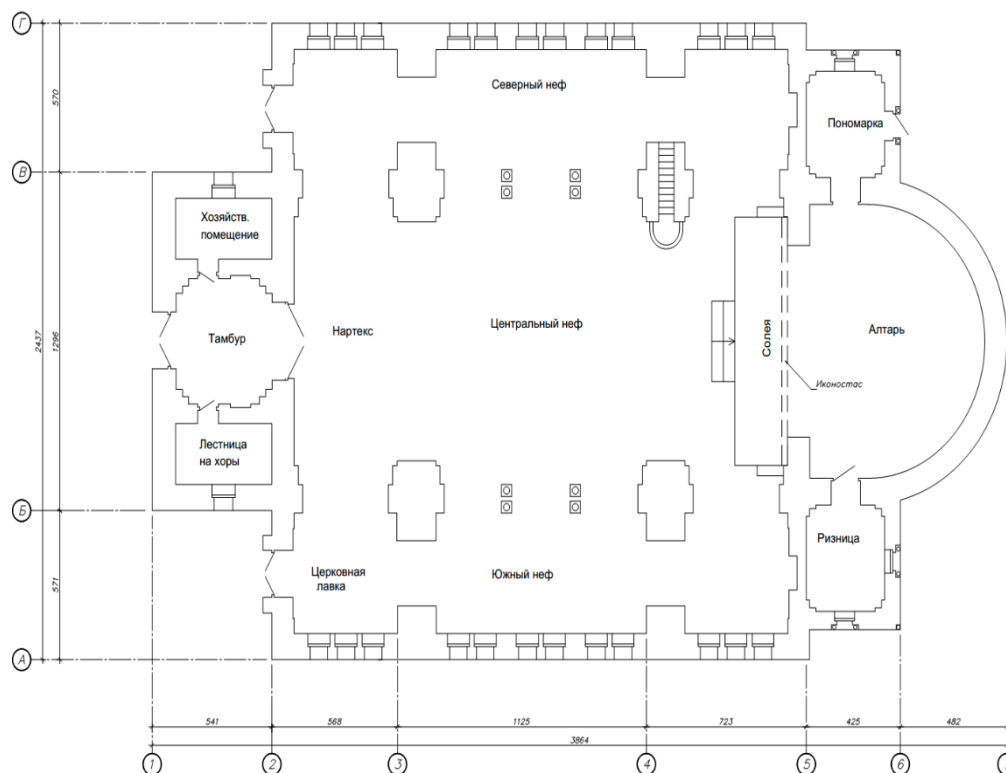


Рисунок 4 – План Свято-Николаевского собора

На исследования были представлены штукатурные известково-песчаные растворы. Места отбора образцов для проведения физико-химических исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Наименование мест отбора образцов для проведения физико-химических исследований

Наименование образца	Место отбора образца
1	2
ПШС-1	Основная плоскость стены амвона слева от входа (снизу)
ПШС-2	Левый (северный) неф (цоколь) слева от иконостаса
ПШС-3а	Основная плоскость стены слева от иконостаса (нижний слой, предположительно, изначальный нижний «церковный» слой)
ПШС-3б	Основная плоскость стены слева от иконостаса («костельная» окраска, верхний слой)
ПШС-4	Основная плоскость стены алтарной части за царскими вратами (справа)
ПШС-5	Апсида в алтарной части (левая стена)
ПШС-6	Дополнительный образец. Колонна в центре храма (слева)

Отдельные растворы (предположительно одного исторического периода) очень близки по соотношению компонентов и гранулометрическому составу заполнителя (кварцевого песка). Но некоторые растворы (предположительно различного исторического периода) значительно отличаются соотношением компонентов и гранулометрическим составом заполнителя (кварцевого песка).

Наименование и характеристики исследованных штукатурных растворов, обнаруженных на внутренних поверхностях стен храма, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Штукатурные растворы, обнаруженные на внутренних поверхностях стен храма

№ образца; характеристика штукатурного раствора (вид раствора, количественное соотношение вяжущее:заполнитель)	Гранулометрический состав заполнителя по фракциям, %				
	0,125-0,25 мм	0,25-0,5 мм	0,5-1,0 мм	1,0-2,0 мм	более 2 мм
1	2	3	4	5	6
ПШС-1 изв-песч=1:5,5 – 1:6	10,0	55,0	34,0	1,0	-
ПШС-2 изв-песч=1:3 – 1:3,5	49,0	43,0	7,0	0,7	0,3
ПШС-3а изв-песч=1:4	14,0	60,0	24,0	1,0	1,0
ПШС-4 изв-песч=1:3 – 1:3,5	50,0	45,0	7,5	0,5	-
ПШС-5 изв-песч=1:5,5 – 1:6	17,0	64,0	18,0	1,0	-
ПШС-6 изв-песч=1:2	65,0	31,0	3,5	0,5	-

Минеральный состав заполнителя всех исследованных образцов – полевошпатово-кварцевый, в основном, кварцевый песок. Значения pH водных вытяжек известково-песчаных штукатурных растворов в пределах нормы.

Лицевая поверхность основной плоскости стены амвона слева от входа (снизу) окрашена составом коричневого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Pарауа 45». Состав сильно «выгорел», вероятно, был на тон темнее, т.е. «Pарауа 40». Лицевая поверхность цоколя левого (северного) нефа слева от иконостаса окрашена составом коричневого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Pарауа 45». Состав сильно «выгорел», вероятно, был на тон темнее, т.е. «Pарауа 40». Лицевая поверхность основной плоскости стены слева от иконостаса (нижний слой, предположительно, изначальный нижний, «церковный» слой – образец ПШС-3а) окрашена составом черного цвета на минеральной основе (на основе пигмента черного железоксидного FeO). Цвет близок к образцу «Jura 25». Состав сильно «выгорел», вероятно, был на два тона темнее, т.е. «Jura 15». Лицевая поверхность основной плоскости стены слева от иконостаса («костельная» окраска, верхний слой – образец ПШС-3б) окрашена составом черного цвета на минеральной основе (на основе пигмента черного железоксидного FeO). Цвет близок к образцу «Jura 25». Состав сильно «выгорел», вероятно, был на два тона темнее, т.е. «Jura 15». Лицевая поверхность основной плоскости стены алтарной части за царскими воротами (справа) окрашена составами на минеральной основе в 4 полосы по следующей схеме:

- окрасочный состав блекло-коричневого цвета; цвет близок к образцу «Ceramic 65»;
- окрасочный состав рыжевато-коричневого цвета; цвет близок к образцу «Опух 130»;
- окрасочный состав черного цвета (узкая полоска); цвет близок к образцу «Jura 20»;

- окрасочный состав серого цвета; цвет близок к образцу «Jura 40».

Лицевая поверхность апсиды в алтарной части (левая стена) окрашена составом бордового цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Grenadin 40». Лицевая поверхность колонны в центре храма (слева) окрашена составом желтого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Опух 170».

Первоначально цоколь левого (северного) нефа слева от иконостаса был окрашен составом черного цвета на минеральной основе (на основе пигмента черного железоксидного FeO). Цвет близок к образцу «Jura 25». Состав сильно «выгорел», вероятно, был на два тона темнее, т.е. «Jura 15». Первоначально основная плоскость стены слева и справа от иконостаса была окрашена составом светло-коричневого цвета на минеральной основе (на основе охры). Цвет близок к образцу «Опух 135. Первоначально основная плоскость стены алтарной части за царскими воротами (справа) была окрашена составом блекло-коричневого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Парауа 80». Состав сильно «выгорел», вероятно, был на тон темнее, т.е. «Парауа 75. Первоначально апсида в алтарной части (левая стена) была окрашена составом бордового цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Grenadin 40». Первоначально колонна в центре храма (слева) была окрашена составом белого цвета на минеральной основе. Цвет близок к образцу «Hell- Weiß. Не удалось установить, каким составом первоначально была окрашена основная плоскость стены амвона слева от входа (снизу). На отобранном образце аутентичный окрасочный состав не сохранился. Сохранились только отдельные фрагменты штукатурного раствора. Более поздний окрасочный состав - черного цвета на минеральной основе (на основе пигмента черного железоксидного FeO). Цвет близок к образцу «Jura 25». Состав сильно «выгорел», вероятно, был на два тона темнее, т.е. «Jura 15».

В случае частичного восстановления кирпичной кладки при проведении ремонтно-реставрационных работ кладочные работы рекомендуется проводить аутентичным кирпичом. Восстановление кирпичной кладки рекомендуется на известково-песчаном растворе M35F50 с защитным покрытием из цементно-песчаного раствора M100F100. Возможно применение кладочных растворов зарубежных производителей, рекомендованных для реставрационных работ с соответствующей прочностью на сжатие и морозостойкостью.

Все виды ремонтно-реставрационных работ на объекте проводить в соответствии с действующим законодательством в сфере охраны историко-культурного наследия Республики Беларусь. При необходимости (по согласованию с научным руководителем объекта) проводить фотофиксацию и иные виды контроля произведенных работ [8].

При проведении ремонтно-реставрационных работ следует учитывать, что исследованные аутентичные штукатурные растворы, отобранные с внутренних поверхностей стен здания, выполнены известково-песчаными составами, обладающими высокой пористостью, газо- и паропроницаемостью.

В связи с этим к материалам, используемым при проведении отделочных работ, предъявляются следующие требования:

- материалы по своим эксплуатационным характеристикам должны быть аналогичны первоначальным;
- материалы должны быть химически совместимы с оригинальными и обладать высокой щелочестойкостью [9, 10].

Проведению штукатурных и окрасочных работ должны предшествовать такие вспомогательные работы, как ремонт кровли, водосточных систем, прокладка или замена электрических кабелей, установка или ремонтные работы, связанные с противопожарной сигнализацией, а также работы по гидроизоляции здания (при необходимости).

Поэтому рекомендуется следующая схема проведения ремонтно-реставрационных работ:

1. Удаление слоёв покрасочных составов, а также деструктированных (разрушенных) фрагментов штукатурного слоя.

2. Подготовка поверхности под покраску: восполнение утраченных фрагментов штукатурки, по необходимости – новые штукатурные работы; грунтование поверхностей стен здания.

3. Окрашивание внутренних поверхностей стен здания [11, 12].

Все отделочные слои внутренних поверхностей здания (штукатурку, окрасочные составы) следует механически удалить до основания. Для этого необходимо использовать жёсткие щётки, а также скребки и шпатели. Не допускается промывка поверхности холодной водой под давлением. Окрасочные составы рекомендуется удалять послойно. В случае обнаружения фрагментов художественных росписей следует приостановить ремонтные работы, информировать Министерство культуры, вызвать для обследования, консультации и дальнейших работ специалистов-реставраторов и научного руководителя объекта, а также принять решение о дальнейшем порядке ведения ремонтно-реставрационных работ и необходимости дополнительного обследования внутренних поверхностей здания [13].

Для восстановления штукатурного слоя рекомендуется использовать штукатурные смеси на основе известкового вяжущего, не содержащие цемента, обладающими водостойкостью, высокой паропроницаемостью и адгезией к основанию. В частности рекомендуется штукатурная сухая смесь «Тайфун Мастер №28» (отечественных производителей) или аналогичная, других производителей, специально предназначенная для выполнения реставрационных штукатурных работ по основаниям исторических зданий и памятников архитектуры, где требуется применение растворов, не содержащих цементное вяжущее (с гарантией изготовителя и с предоставлением изготовителем соответствующей документации). Основание необходимо укрепить грунтовкой «Тайфун Мастер» №100 («Тайфун Мастер» №102) или „INTER GRUNT” «Тайфун Мастер 101». В случае приготовления штукатурного раствора на строительной площадке следует использовать рецептуру раствора, определённую данными исследованиями. Рекомендуется использовать известь с содержанием активных CaO и MgO не менее 65%. Песок должен соответствовать требованиям ГОСТа и быть отмыт от глинистых примесей [4, 5].

Для выравнивания неровно затёртой штукатурки и затирки микротрещин рекомендуется использовать известковую затирку на основе диспергированной белой извести «Calcimir Kalkschlamme» компании CAPAROL, специально предназначенную для выполнения реставрационных работ по основаниям исторических зданий и памятников архитектуры, где требуется применение растворов, не содержащих цементное вяжущее. Перед оштукатуриванием поверхность необходимо тщательно обеспылить и очистить от загрязнений [5].

Окрашивание поверхностей стен следует проводить составами, формирующими покрытие с высокой паропроницаемостью. Для этого в наибольшей степени подходят высококачественные известковые краски «Histolith Fassadenkalk», «Histolith Innenkalk», «Calcimur Fassaden-Kalkfarbe» компании CAPAROL, специально предназначенные для реставрационных работ по известковым основаниям, имеющие достаточную паропроницаемость. Повышенная влажность внутри собора вследствие присутствия большого количества людей и часто открываемых входных дверей в любое время года требует особого подхода к выбору окрасочных составов. Поэтому для производства внутренних покрасочных работ рекомендовано использование фасадных высококачественных известковых красок для большей долговечности окрасочных слоев. Данные краски более устойчивы к истиранию, что также является важным для эксплуатации помещений с постоянным большим скоплением людей [4, 11]. Производить покраску внутренних поверхностей стен здания рекомендуется не ранее, чем через 28 суток после выполнения всех подготовительных (штукатурных и т.д.) работ.

Заключение. Реставрация объектов, представляющих историко-культурную ценность, должна опираться на многосторонние комплексные исследования. Внедрение результатов научно-исследовательской работы в проектирование и производство позволяет обеспечить принятие научно-обоснованных решений при разработке проектно-сметной документации и проведении всех видов работ на конкретном недвижимом объекте историко-культурного наследия, позволяет повысить качество разработки раздела «Комплексные научные изыскания» [13]. Сохранение историко-культурного наследия нашей страны является обязательной функцией современного государства и составляет одно из направлений его политики в сфере культуры. Для решения проблем сохранения историко-культурного наследия необходимо более широко использовать общественные инициативы, осуществлять просветительскую деятельность, популяризацию национального исторического и культурного наследия Республики Беларусь.

Список цитированных источников

1. Свод памятников истории и культуры Белоруссии. Брестская область / АН БССР, Ин-т искусствоведения, этнографии и фольклора, Белорус. Сов. Энцикл.; Редкол.: С.В. Марцелев (гл. ред.) и др. – Мн.: БелСЭ, 1990. – 424 с.
2. Никитин, Н.К. Химия в реставрации: справ.пособие / М.К. Никитин, Е.П. Мельникова. – Л.: Химия, 1990. – 304 с.
3. Ивлиев, А.А. Реставрационные строительные работы / А.А. Ивлиев, А.А. Калыгин. – М.: ПрофОбрИздат, 2001. – 272 с.
4. Фрессель, Ф. Ремонт влажных и повреждённых солями строительных сооружений / Ф. Фрессель. – М.: ООО «Пэйнт-медиа», 2006. – 320 с.
5. Брок, Т. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям / Т. Брок, М. Гротеклаус, П. Мишке. – пер. с англ. под ред. Л.Н. Машляковского. – М.: Пэйнт-Медиа, 2004. – 548 с.
6. Недоливко, Н.М., Петрографические исследования терригенных и карбонатных пород-коллекторов: учебное пособие / Н.М. Недоливко, А.В.Ежова // Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 172 с.
7. Левицкий, И.А. Кристаллография, минералогия и петрография. Практикум: учеб. Пособие для студентов специальности «Химическая технология неорганических веществ, материалов и изделий» / И.А. Левицкий. – Минск: БГТУ, 2008. – 198 с.
8. Тур, Э.А. К вопросу о сохранении объектов историко-культурного наследия в г. Бресте / Э.А. Тур, С.В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2018. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 17-21.

9. Тур, Э.А. Исследование минеральных материалов, использованных при постройке дворцового комплекса Сапегов в Ружанах / Э.А. Тур, С.В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. – Брест: БрГТУ, 2014 - №1: Строительство и архитектура. – С. 88-91.

10. Тур, Э.А. Реставрация Коссовского дворца Пусловских и решение возникших при этом технических проблем / Э.А. Тур, В.Н. Казаков, С.В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2017 – № 1: Строительство и архитектура. – С. 128-131.

11. Тур, Э.А. Комплексные научные исследования фасадов костела святых Петра и Павла в д. Рожанка Гродненской области / Э.А. Тур, С.В. Басов, Е.В. Счасная, В.В. Тричик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2020. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 147-152.

12. Тур, Э.А. Комплексные научные исследования руин усадьбы «Наднёман» в д. Наднёман Узденского района Минской области как объекта историко-культурного наследия / Э.А. Тур, С.В. Басов, Е.В. Счасная, В.В. Тричик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2021. – № 1: Технические науки (строительство, машиностроение, геоэкология), экономические науки. – С. 33-38.

13. Тур, Э.А. Физико-химические исследования аутентичных строительных растворов и окрасочных составов здания Тюрьмы №1 в г. Гродно / Э.А. Тур, Е.В. Счасная, С.В. Басов, В.В. Тричик // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2022. – № 2: Технические науки (строительство, машиностроение, геоэкология), экономические науки. – С. 68-74.

References

1. Svod pamytnikov istoriy i kultury Belorussii. Brestskaya oblast / AN BSSR, In-t iskusstvovedeniya, etnografii i folklora, Belarus. Sov. Encikl.; Redkol.: S.V. Marcelov (gl. red.) i dr. – Mn.: BelSE, 1990. – 424 s.

2. Nikitin, N.K. Himiya v restavracii: sprav.posobie / N.K. Nikitin, E.P. Melnikova. – L.: Himiya, 1990. – 304 s.

3. Ivliev, A.A. Restavracionnye stroitel'nye raboty / A.A. Ivliev, A.A. Kalygin. – M.: ProfObrlzdad, 2001. – 272 s.

4. Fryossel, F. Remont vlazhnyh i povrezhdyonnyh solyami stroitel'nyh sooruzhenij / F. Fryossel. – M.: ООО «Pejnt-media», 2006. – 320 с.

5. Brok, T. Evropejskoe rukovodstvo po lakokrasochnym materialam i pokrytiyam / T. Brok, M. Groteklaus, P. Mishke. – per. s angl. pod red. L.N. Mashlyakovskogo. – M.: Pejnt-Media, 2004. – 548 s.

6. Nedolivko, N.M., Petrograficheskie issledovaniya terrigennyh i karbonatnyh porodkolektorov: uchebnoe posobie / N.M. Nedolivko, A.V.Ezhova // Tomskij politekhnicheskij universitet. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2011. – 172 s.

7. Levickij, I.A. Kristallografiya, mineralogiya i petrografiya. Praktikum: ucheb. Posobie dlya studentov special'nosti «Himicheskaya tekhnologiya neorganicheskikhveshchestv, materialov i izdelij» / I.A. Levickij. – Minsk: BGTU, 2008. – 198 s.

8. Tur, E.A. K voprosu o sohraneni ob"ektov istoriko-kul'turnogo naslediya v g. Breste / E.A. Tur, S.V. Basov // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2018. – № 1: Stroitel'stvo i arhitektura. – S. 17-21.

9. Tur, E.A. Issledovanie mineral'nyh materialov, ispol'zovannyh pri postrojke dvorcovogo kompleksa Sapegov v Ruzhanah / E.A. Tur, S.V. Basov // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – Brest: BrGTU, 2014 - №1: Stroitel'stvo i arhitektura. – S. 88-91.

10. Tur, E.A. Restavraciya Kossovskogo dvorca Puslovskih i reshenie voznikshih pri etom tekhnicheskikh problem / E.A. Tur, V.N. Kazakov, S.V. Basov // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2017 – № 1: Stroitel'stvo i arhitektura. – S. 28-131.

11. Tur, E.A. Kompleksnye nauchnye issledovaniya fasadov kostela svyatyh Petra i Pavla v d. Rozhanka Grodnenskoj oblasti / E.A. Tur, S.V. Basov, E.V. Schasnaya, V.V. Trichik // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2020. – № 1: Stroitel'stvo i arhitektura. – S. 147-152.

12. Tur, E.A. Kompleksnye nauchnye issledovaniya ruin usad'by «Nadnyoman» v d. Nadnyoman Uzdenskogo rajona Minskoj oblasti kak ob"ekta istoriko-kul'turnogo naslediya / E.A. Tur, S.V. Basov, E.V. Schasnaya, V.V. Trichik // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2021. – № 1: Tekhnicheskie nauki (stroitel'stvo, mashinostroenie, geoekologiya), ekonomicheskie nauki. – S. 33-38.

13. Tur, E.A. Fiziko-himicheskie issledovaniya autentichnyh stroitel'nyh rastvorov i okrasochnykh sostavov zdaniya Tyur'my №1 v g. Grodno / E.A. Tur, E.V. Schasnaya, S.V. Basov, V.V. Trichik // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2022. – № 2: Tekhnicheskie nauki (stroitel'stvo, mashinostroenie, geoekologiya), ekonomicheskie nauki. – S. 68-74.

УДК 624.012.35

ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СЖАТОЙ ЗОНЫ БЕТОНА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКОК ПРИ СОПРОТИВЛЕНИИ СРЕЗА

А.А. Невдах¹, П.В. Кривицкий²

*¹ Лаборант кафедры строительных конструкций Брестского
государственного технического университета, Брест, Беларусь,
e-mail: alina.nevdah@mail.ru*

*² К.т.н., доцент, заведующий отраслевой лабораторией «Научно-иссле-
довательский центр инноваций в строительстве» Брестского государственного
технического университета, Брест, Беларусь, e-mail: krivitskiyp@mail.ru*

Реферат

В статье анализируется влияние сжатой зоны бетона на сопротивление срезу железобетонных балочных элементов. Произведено численное моделирование железобетонных балок. Составлена база образцов, отмечены варьируемые параметры и выполнен анализ.

Ключевые слова: поперечное усилие, сжатая зона, прочность бетона на сжатие, коэффициент армирования, отношение пролёта среза.

FEATURES OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE COMPRESSED CONCRETE ZONE OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH SHEAR RESISTANCE

A. A. Nevдах, P. V. Krivitskiy

Abstract

The article analyzes the effect of the compressed concrete zone on the shear resistance of reinforced concrete beam elements. Numerical modeling of reinforced concrete beams has been performed. A database of samples was compiled, variable parameters were noted and an analysis was performed.

Keywords: shear force, compressed zone, concrete compressive strength, reinforcement factor, shear span ratio.

Введение. Проблема сопротивления срезу железобетонных балочных элементов без поперечного армирования, по-прежнему, является одной из наиболее дискуссионных в теории конструкций. Сложность проблемы заключается в многочисленности взаимосвязанных факторов, оказывающих влияние на формирование и развитие плоского напряженно-деформированного состояния, трещинообразование и форму разрушения изгибаемого элемента в зоне среза. Для изучения характера поведения и причин разрушения железобетонных балок при срезе было выполнено большое число экспериментальных отечественных и зарубежных исследований. В настоящее время существуют различные по своему уровню аналитические модели сопротивления срезу железобетонных балочных элементов.

Из-за совместного действия изгибающих моментов и поперечных сил в железобетонных балочных конструкциях возникает система наклонных трещин, разделяющих элемент на отдельные блоки, соединенные продольным армированием в растянутой зоне и не цельной части бетона над вершиной наклонной трещины. При этом в наклонном сечении возникает ряд внутренних усилий, воспринимающих перерезывающие силы. Для балок без поперечного армирования в расчетном наклонном сечении возникают усилия, вклад которых в сопротивление срезу железобетонных балок в полной мере не изучен [3].

Для изучения характера поведения и причин разрушения железобетонных балок при срезе было выполнено большое число экспериментальных отечественных и зарубежных исследований. Согласно полученным экспериментальным данным, прочность на срез зависит от множества параметров, каждый из которых влияет на прочность в той или иной степени. Для конструкций с различным типом армирования и выполненных из любых видов бетона, величина данных составляющих и их вклад в сопротивление срезу может изменяться.

При этом вклад сжатой зоны бетона в сопротивлении срезу изучен недостаточно. В работе [1] рассматривается влияние прочности бетона на сжатие, коэффициента армирования и геометрических размеров на величину поперечного в сжатой зоне бетона на основе экспериментальных исследований. Для получения объективной картины напряженно-деформированного состояния и уточнения характера трещинообразования выполнены численные исследования с разработкой конечно-элементной модели железобетонных балок, где варьировались прочность бетона на сжатие и пролет среза.

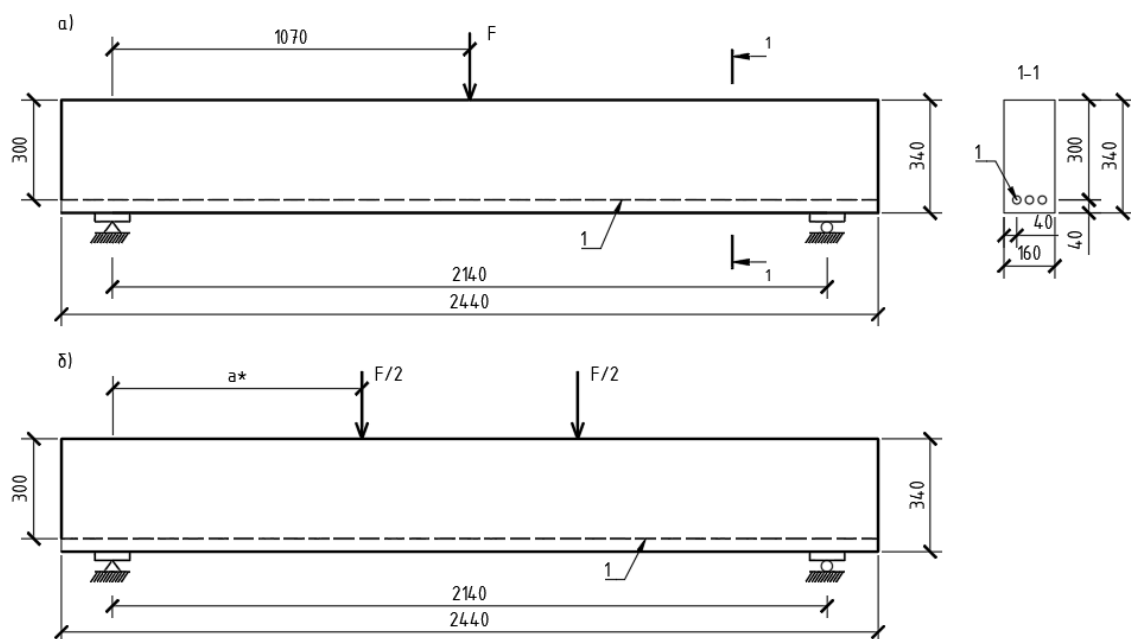
Численное моделирование железобетонных балок. Для проведения численных исследований с применением конечно-элементного моделирования сформирована база образцов, основанная на экспериментальных исследованиях А. G. Mphonde [2], в котором варьировалась прочность бетона на сжатие. При моделировании учитывались геометрические характеристики балки и вид армирования. В качестве образцов применялись железобетонные балочные элементы прямоугольного поперечного сечения с размерами $b \times h = 160 \times 340$ мм длиной 2440 мм (расчетный пролет 2140 мм), выполненные из бетона с прочностью на

сжатие, варьирующейся в пределах $45,24 \div 101,83$ МПа. Армировались балки в растянутой зоне тремя стержнями диаметром 25 мм ($A_{st} = 14,73 \text{ см}^2$), расположенными в одной горизонтальной плоскости. Коэффициент армирования сечения составляет 3,36 %. В балках применялась стержневая арматура со значением физического предела текучести $f_{yk} = 415$ МПа. Конструктивные особенности смоделированных балок отражены в таблице 1. Поперечное сечение и схема нагружения образцов представлены на рисунке 1.

Таблица 1 – Основные конструктивные характеристики балок

Серия	Марка балки	Размеры, мм			a/d	$\varnothing$, мм	ρ , %	f_c , МПа
		b	h	d				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Б-С1	Б-С1-Пр1	160	340	300	3,6	25	3,36	101,83
	Б-С1-Пр2	160	340	300	3,0	25	3,36	101,83
	Б-С1-Пр3	160	340	300	2,5	25	3,36	101,83
	Б-С1-Пр4	160	340	300	2,0	25	3,36	101,83
Б-С2	Б-С2-Пр1	160	340	300	3,6	25	3,36	45,24
	Б-С2-Пр2	160	340	300	3,0	25	3,36	45,24
	Б-С2-Пр3	160	340	300	2,5	25	3,36	45,24
	Б-С2-Пр4	160	340	300	2,0	25	3,36	45,24
Б-С3	Б-С3-Пр1	160	340	300	3,6	25	3,36	81,13
	Б-С3-Пр2	160	340	300	3,0	25	3,36	81,13
	Б-С3-Пр3	160	340	300	2,5	25	3,36	81,13
	Б-С3-Пр4	160	340	300	2,0	25	3,36	81,13

Примечание – в таблице использованы следующие обозначения: С1 – образцы с прочностью бетона на сжатие 101,83 МПа; С2 – образцы с прочностью бетона на сжатие 45,24 МПа; С3 – образцы с прочностью бетона на сжатие 81,13 МПа; Пр1 – образцы с пролетом среза 3,6; Пр2 – образцы с пролетом среза 3,0; Пр3 – образцы с пролетом среза 2,5; Пр4 – образцы с пролетом среза 2,0



а) – схема железобетонной балки с пролетом среза $a/d = 3,6$;
б) – схема железобетонной балки с параметром a^* равным 900 мм, 750 мм и 600 мм и пролетом среза a/d равным 3,0; 2,5 и 2,0 соответственно

Рисунок 1 – Схема армирования железобетонных балок

Результаты численного моделирования. Испытывались образцы по схеме: балка на двух опорах, загруженная одной или двумя сосредоточенными силами в зависимости от пролета среза. Нагрузка прикладывалась постепенно.

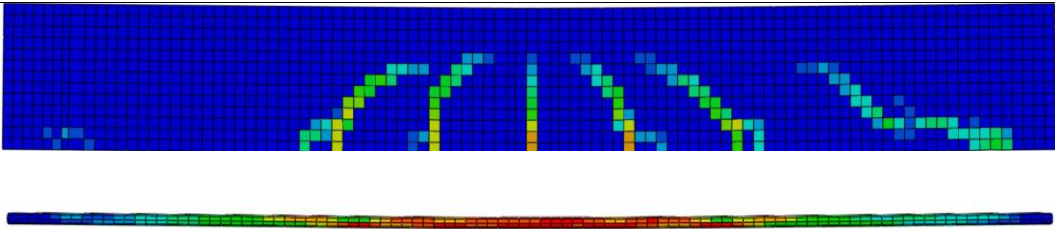
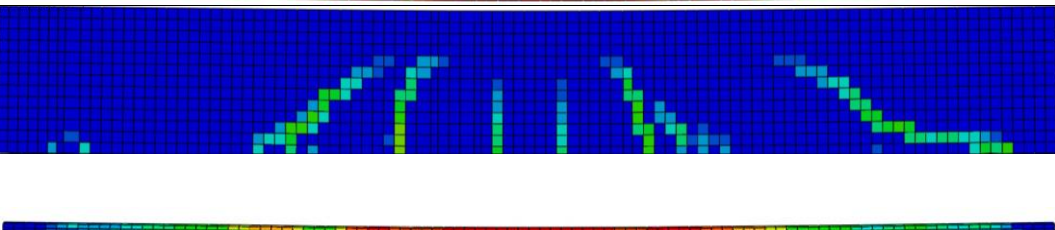
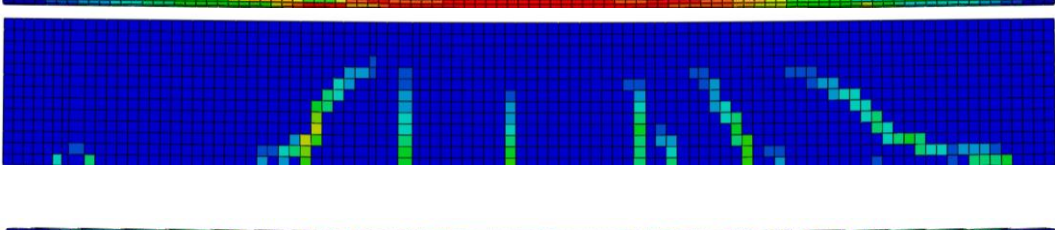
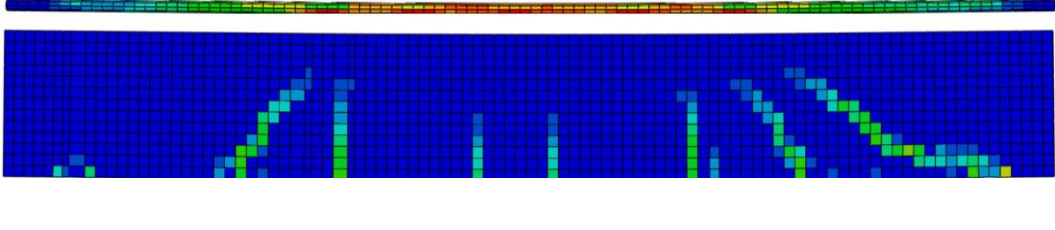
Для назначения характеристик бетона были построены диаграммы деформирования бетона при различной прочности на сжатие. Прочность бетона на растяжение определялась по выражению $f_{ctm} = 0,3 f_{cm}^{2/3}$. Физико-механические характеристики бетона сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Физико-механические характеристики бетона

Серия	f_{cm} , МПа	f_{ctm} , МПа	E_{cm} , ГПа
1	2	3	4
Б-С1	101,83	6,54	44,36
Б-С2	45,24	3,81	33,85
Б-С3	81,13	5,62	41,13

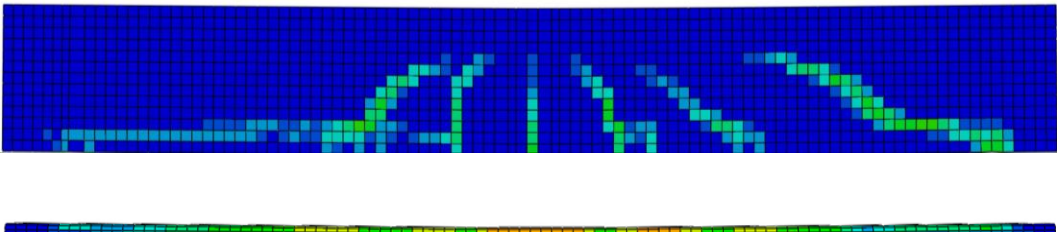
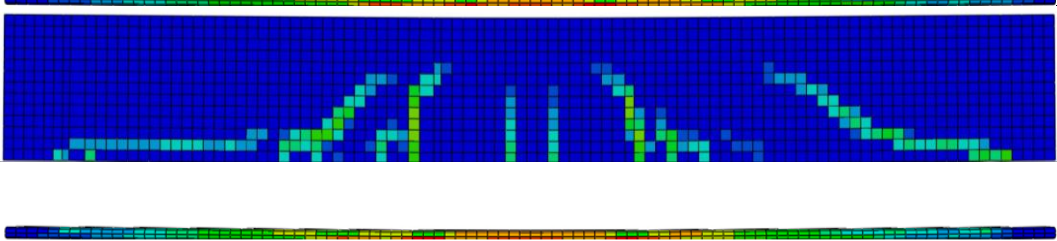
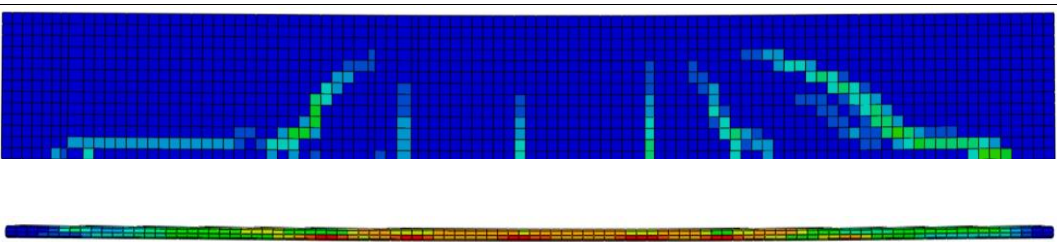
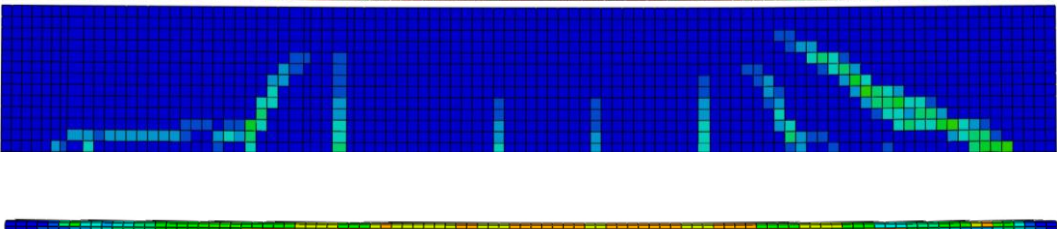
В балках серии Б-С1 использовались образцы с прочностью бетона на сжатие 101,83 МПа. Численное моделирование балок происходило при различных пролетах среза балки: при отношении a/d равном 3,6; 3,0; 2,5 и 2,0. Результаты численного моделирования представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Схемы развития трещин и распределение напряжений в продольной арматуре для балок серии Б-С1

Образец	Результат
1	2
Б-С1-Пр1	
Б-С1-Пр2	
Б-С1-Пр3	
Б-С1-Пр4	

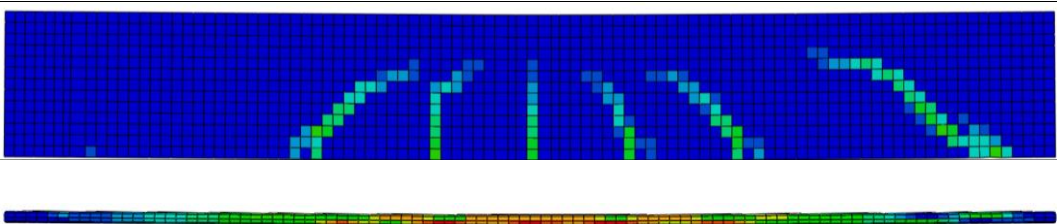
Для железобетонных балок серии Б-С2 использовался бетон с прочностью на сжатие 45,24 МПа. Пролета среза: 3,6; 3,0; 2,5 и 2,0. В таблице 4 представлены результаты численного моделирования.

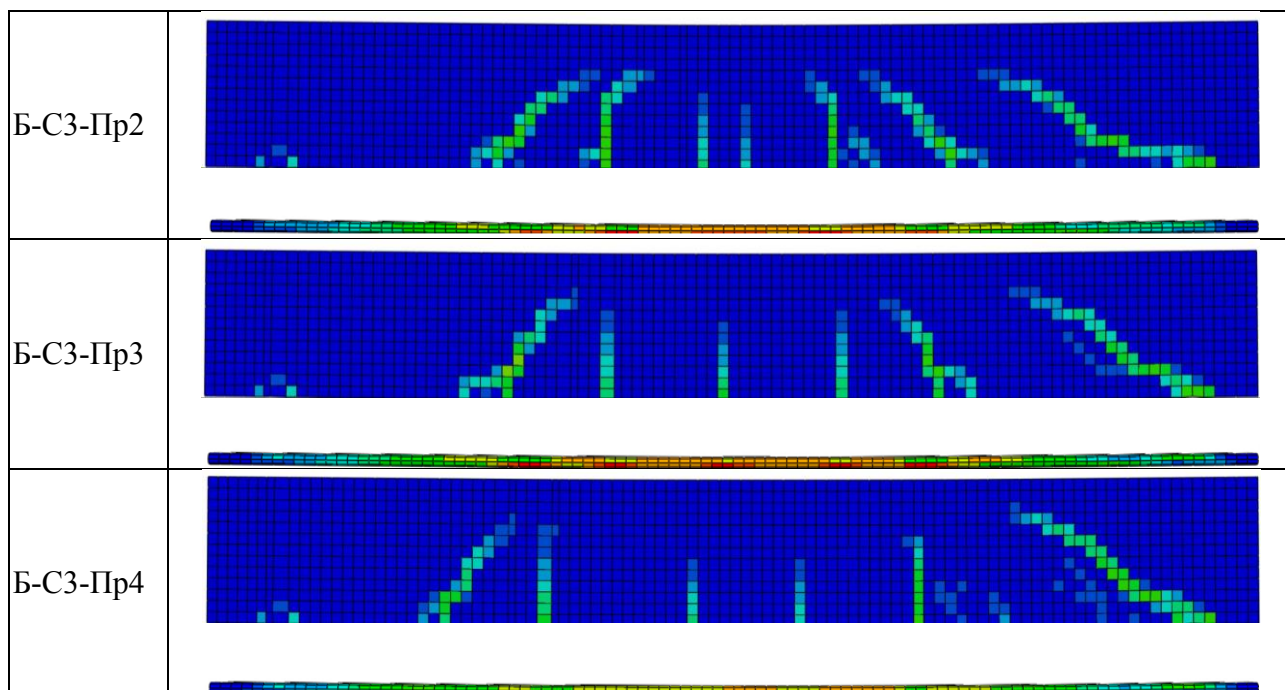
Таблица 4 – Схемы развития трещин и распределение напряжений в продольной арматуре для балок серии Б-С2

Образец	Результат
1	2
Б-С2-Пр1	
Б-С2-Пр2	
Б-С2-Пр3	
Б-С2-Пр4	

В серии Б-С3 применялся бетон с $f_c = 81,13$ МПа. Отношение a/d также варьировалось от 2,0 до 3,6, как и в предыдущей серии. В таблице 5 представлены результаты численного моделирования.

Таблица 4 – Схемы развития трещин и распределение напряжений в продольной арматуре для балок серии Б-С3

Образец	Результат
1	2
Б-С3-Пр1	



В результате численного моделирования было выявлено, что в балках серии Б-С1 арматура достигает предела текучести раньше, чем бетон достигает предельных деформаций в сжатой зоне бетона. В балках серий Б-С2 и Б-С3 бетон и арматура достигают своих предельных значений деформаций одновременно.

Заключение. По результатам выполненных исследований получено, что основной вклад в сопротивление срезу железобетонных балочных элементов оказывают перерезывающее усилие, возникающее в сжатой зоне бетона. При этом в полной мере оценить количественное значение данного усилия затруднительно, так как оно зависит от других усилий, возникающих в расчетном наклонном сечении, перераспределение которых происходит в процессе развития диагональных трещин.

Список цитированных источников

1. Невдах, А. А. Влияние сжатой зоны бетона на сопротивление срезу железобетонных балок / А. А. Невдах, П. В. Кривицкий // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2022. – №14 : Серия F. – С. 51-57.
2. Mphonde, A. G. Use of Stirrup Effectiveness in Shear Design of Concrete Beams / Mphonde, A. G. // ACI Structural Journal - Sept.-Oct., 1989. - V. 86, No. 5. – P. 541-545.
3. Кривицкий П. В. Сопротивление срезу предварительно напряженных железобетонных балок с полого отогнутыми канатами : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / П. В. Кривицкий – Брест, 2016. – 167 л.

References

1. Nevдах, A. A. Vliyazanie szhatoj zony betona na soprotivlenie srezu zhelezobetonnyh balok. / A. A. Nevдах, P. V. Krivickij // Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta.. – 2022. – №14 : Seriya F. – S. 51–57.
2. Mphonde, A. G. (1989). Use of Stirrup Effectiveness in Shear Design of Concrete Beams. *ACI Structural Journal*, 86 (5), 541-545.
3. Krivitskiy P. Soprotivlenie srezu predvaritel'no naprjzhennyh zhelezobetonnyh balok s pologo otognutymi kanatami [Shear resistance of prestressed concrete beams with flat bent-up seven-wire strands] dis. ... kand. tehn. nauk. Brest, 2016, 167 p.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УСИЛЕННЫХ СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Д.Н.Лазовский¹, Д.О. Глухов², Е.Д. Лазовский³

*¹Д.т.н, профессор, профессор кафедры строительных конструкций
УО «Полоцкий государственный университет», Новополоцк, Беларусь,
e-mail : d.lazovski@psu.by*

*²Канд.техн.наук, доцент, доцент кафедры вычислительных систем и сетей
УО «Полоцкий государственный университет», Новополоцк, Беларусь,
e-mail : dzmitry.hlukhau@outlook.com*

*³Канд.техн.наук, доцент, заведующий кафедрой строительных конструкций
УО «Полоцкий государственный университет», Новополоцк, Беларусь,
e-mail : y.lazouski@gmail.com*

Реферат

В статье приведены результаты экспериментальной проверки методики расчета параметров напряженно-деформированного состояния сжатых железобетонных элементов, усиленных под нагрузкой.

Ключевые слова: сжатые железобетонные элементы, напряженно-деформированное состояние, усиление путем наращивания дополнительными бетоном и арматурой, усиление под нагрузкой

SIMULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED COMPRESSED REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

D.N. Lazouski, D.O. Hlukhau, E.D. Lazouski

Abstract

The article presents the results of an experimental verification of the methodology for calculating the parameters of the stress-strain state of compressed reinforced concrete elements, reinforced under load.

Keywords: compressed reinforced concrete elements, stress-strain state, reinforcement by building up additional concrete and reinforcement, reinforcement under load

Введение. Усиление сжатых бетонных и железобетонных конструкций с целью обеспечения несущей способности, эксплуатационной пригодности и живучести производится изменением параметров конструкции путем увеличения

поперечного сечения дополнительным бетоном и арматурой с обеспечением их совместной работы с усиливаемой конструкцией [1 монограф].

Совместную работу дополнительного бетона с бетоном усиливаемых конструкций обеспечивают устройством на контактирующей поверхности в бетоне усиливаемой конструкции поперечных шпонок (насечки) и (или) установкой поперечных связей, пересекающих зону контакта, в виде арматурных стержней (скоб), соединяющих дополнительную арматуру усиления с арматурой усиливаемой конструкции.

Расчет несущей способности и параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) на любом этапе деформирования бетонных и железобетонных конструкций, усиленных путем увеличения поперечного сечения, производят методом сечений на основе деформационной модели из общего условия метода предельных состояний в рассматриваемом поперечном сечении

$$E_d \leq R_d, \quad (1)$$

где E_d – внутреннее усилие, вызванное расчетным воздействием на конструкцию; R_d – расчетное предельное усилие, воспринимаемое конструкцией.

Для расчета параметров напряженно-деформированного состояния усиленной железобетонной конструкции под нагрузкой в соответствии с общей деформационной расчетной моделью сопротивления для поперечных сечений расчет выполняют в две [1-3] или три стадии [4]. Первая стадия – расчет параметров напряженно-деформированного состояния усиливаемой конструкции на воздействия в момент усиления, вторая стадия – расчет параметров напряженно-деформированного состояния усиленной конструкции на воздействия во время усиления (усадка бетона усиления при твердении), третья стадия - после усиления. Допускается выполнять расчет параметров напряженно-деформированного состояния усиленной железобетонной конструкции под нагрузкой в два этапа (без учета усадки бетона усиления) [5].

Цель работы: разработка и экспериментальная проверка методики расчета параметров напряженно-деформированного состояния сжатых железобетонных элементов, усиленных под нагрузкой.

Моделирование НДС усиленных сжатых железобетонных элементов. При действии продольной силы N_z системы разрешающих уравнений с учетом условия совместности деформаций имеют вид:

а) на первой стадии расчета:

$$\begin{cases} \sum_n E'_{cn} A_{cn} \varepsilon_{zn[1]} + \sum_k E'_{sk} A_{sk} \varepsilon_{zk[1]} - N_z = 0; \\ \varepsilon_{zn[1]} = \varepsilon_{zk[1]} = \frac{N_z}{\sum_n E'_{cn} A_{cn} + \sum_k E'_{sk} A_{sk}}; \end{cases} \quad (2)$$

где E'_{cn} , E'_{sk} – текущие значения секущих модулей упругости для элементарных площадок бетона и арматуры усиливаемой конструкции соответственно;

A_{cn} , A_{sk} – площадь сечения элементарных площадок бетона и арматуры усиливаемой конструкции соответственно;

$\varepsilon_{zn[1]}, \varepsilon_{zk[1]}$ — относительные деформации от продольного усилия N_z по направлению оси z в элементарных площадках бетона и арматуры усиливаемой конструкции соответственно;

б) на второй стадии расчета:

$$\begin{cases} \sum_n E'_{cn} A_{cn} \varepsilon_{zn} + \sum_m E'_{cm,ad} A_{cm,ad} \varepsilon_{zm,ad} + \sum_k E'_{sk} A_{sk} \varepsilon_{zk} + \sum_i E'_{si,ad} A_{si,ad} \varepsilon_{zi,ad} - \\ -(N_z + N_{z,ad}) = 0; \\ \varepsilon_{zn} = \varepsilon_{zn[1]} + \varepsilon_{zn,ad}; \varepsilon_{zk} = \varepsilon_{zk[1]} + \varepsilon_{zk,ad}; \\ \varepsilon_{zn,ad} = \varepsilon_{zk,ad} = \frac{N_{z,ad}}{\sum_n E'_{cn} A_{cn} + \sum_k E'_{sk} A_{sk} + \sum_m E'_{cm,ad} A_{cm,ad} + \sum_i E'_{si,ad} A_{si,ad}}; \end{cases} \quad (3)$$

где $E'_{cm,ad}, E'_{sk,ad}$ — текущие значения секущих модулей упругости элементарных площадок бетона и арматуры усиливающих элементов соответственно;

$A_{cm,ad}, A_{si,ad}$ — площадь сечения бетона и арматуры элементарных площадок усиливающих элементов соответственно;

$\varepsilon_{zn,ad}, \varepsilon_{zk,ad}$ — относительные деформации по направлению оси z элементарных площадок соответственно бетона и арматуры усиливаемой конструкции от воздействий, приложенных после усиления;

$\varepsilon_{zm,ad}, \varepsilon_{zi,ad}$ — относительные деформации по направлению оси z элементарных площадок соответственно бетона и арматуры усиливающих элементов от воздействий, приложенных после усиления;

$\varepsilon_{Nz,ad}$ — относительные деформации по направлению оси z в элементарных площадках бетона и арматуры усиливающих элементов от дополнительного продольного усилия $N_{z,ad}$.

Пример графического представления результатов моделирования напряженно-деформированного состояния сжатого железобетонного элемента, усиленного под нагрузкой наращиванием дополнительным бетоном и арматурой представлен на рисунке 1.

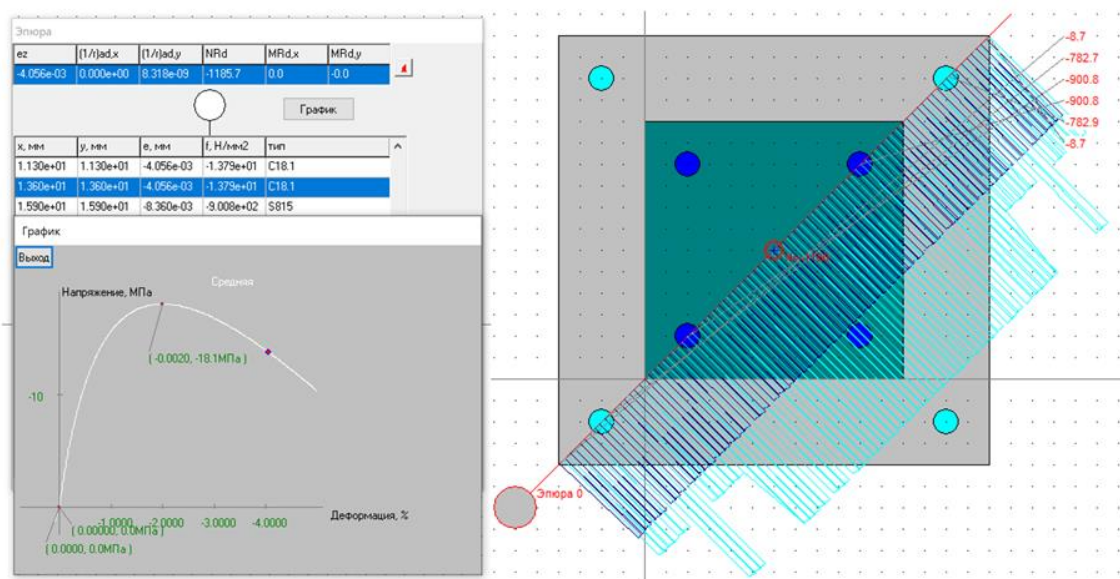


Рисунок 1 - Моделирование напряженно-деформированного состояния сжатого железобетонного элемента, усиленного под нагрузкой наращиванием дополнительным бетоном и арматурой

Экспериментальная проверка. Экспериментально-теоретическое исследование сжатых железобетонных Элементов, усиленных увеличением поперечного сечения наращиванием дополнительным бетоном и арматурой, включало испытание опытных образцов и теоретические расчеты.

Экспериментальные исследования включали в себя 6 опытных железобетонных элементов длиной 850 мм квадратного поперечного сечения размером 120х120мм, усиленных путем устройства наращивания со стороны всех граней. Были также предусмотрены эталонные элементы, которые испытывались без усиления (КЭ-1 и КЭ-2). Размеры опытных элементов определялись мощностью имеющихся пружинных установок для создания длительной нагрузки, имитирующей нагрузку при усилении.

Опытные элементы изготавливались из тяжелого бетона, прочностные и деформационные характеристики которого определялись при испытании кубов, призм, балочек и составляли: $f_c=17.5...21.0\text{МПа}$, $f_{ct}=1.71...1.9\text{МПа}$, $E_c=(29.3...31.0)\cdot 10^3\text{МПа}$.

В качестве рабочей продольной арматуры опытных элементов использовалась горячекатаная термически упрочненная стержневая арматура периодического профиля диаметром 12мм. Прочностные и деформационные характеристики арматуры определялись испытанием на растяжение и составляли: $\sigma_y=815\text{МПа}$, $\sigma_u=935\text{МПа}$, $E_s=1.93\cdot 10^5\text{МПа}$.

До момента усиления опытные железобетонные элементы выдерживались в нормальных условиях в течение 3-х месяцев. Совместная работа дополнительного бетона при увеличении поперечного сечения усиливаемых опытных образцов обеспечивалась: для опытных колонн - насечкой поверхности образцов глубиной до 20мм. Толщина дополнительного бетона усиления для наращивания в опытных элементах составляла 40мм. Наращивание со стороны боковых граней при устройстве усиления опытных элементов армировалось дополнительной горячекатаной термически упрочненной стержневой продольной арматурой диаметром 12мм с вышеназванными прочностными и деформационными характеристиками.

Для опытных элементов варьировали продольным усилием N в момент усиления при следующих соотношениях N/N_u (0; 0.4; 0.75) с тем, чтобы, проследить основные закономерности работы усиленных путем увеличения поперечного сечения сжатых железобетонных элементов в процессе нагружения и установить влияние основных факторов на параметры напряженно-деформированного состояния в их поперечном сечении. Длительная нагрузка на период усиления под нагрузкой опытных создавалась с помощью тарированных пружинных установок. Испытание усиленных опытных элементов производилось по истечении 28сут. после бетонирования. Значения предельного продольного усилия N_u рассчитывали по фактическим характеристикам опытных элементов. Номенклатура и характеристики материалов опытных элементов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Номенклатура и характеристики бетона опытных элементов

Шифр элемента	Бетон опытного элемента			Бетон наращивания			Степень нагружения
	f_c МПа	f_{ct} МПа	$E_c \cdot 10^3$ МПа	$f_{c,ad}$ МПа	$f_{ct,ad}$ МПа	$E_{c,ad} \cdot 10^3$ МПа	N/N_u
1	2	3	4	5	6	7	8
КЭ-1	17.5	1.71	29.3	-	-	-	-
КЭ-2	18.1	1.73	30.4	-	-	-	-
К-1	17.5	1.71	29.3	11.3	1.21	24.1	0
К-2	21.0	1.90	31.0	10.9	1.18	23.5	0
К-3	21.0	1.90	31.0	10.3	1.18	23.5	0.4
К-4	18.4	1.81	30.4	10.9	1.18	23.5	0.4
К-5	18.4	1.81	30.4	11.1	1.21	24.1	0.75
К-6	18.1	1.73	30.4	10.2	1.18	23.5	0.75

Испытание опытных образцов производилось при сжатии центрально приложенным продольным усилием с помощью гидравлического пресса ПР-500. При этом нагрузка при усилении передавалась на основную часть опытных элементов, а после усиления на их основную и дополнительную часть в виде наращивания усиленных колонн без разгрузки перед испытанием. При испытании нагружением кратковременной нагрузкой пружинная установка со стороны пружин расклинивалась двумя половинами стальной трубы, разрезанной по образующей. Конструкция опытных элементов, схема их испытания и расположения приборов показана на рисунке 2.

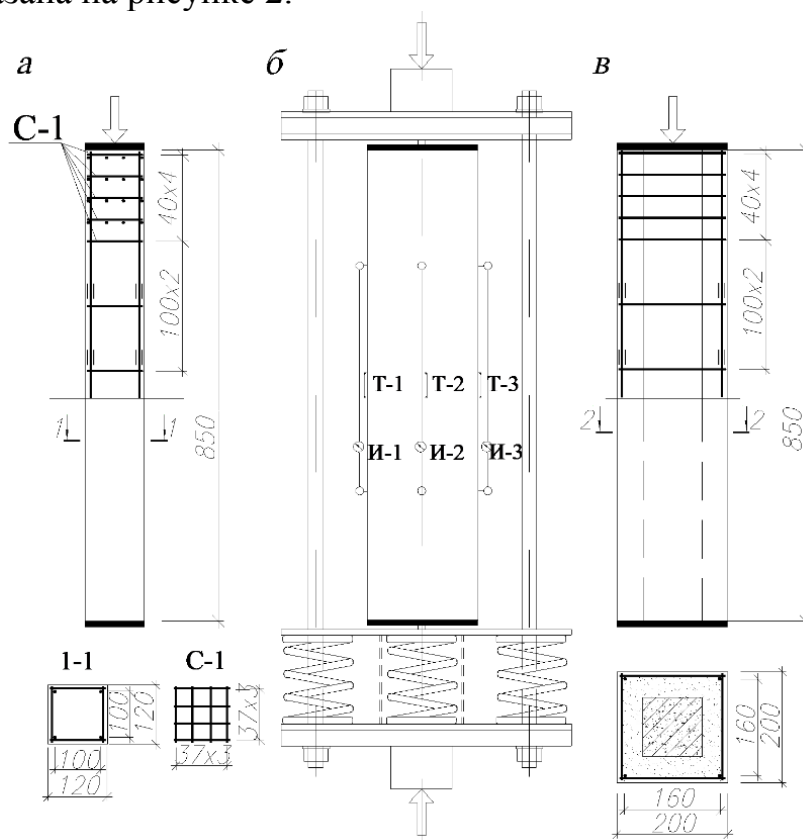


Рисунок 2 - Экспериментальное исследование сжатых железобетонных элементов, усиленных под нагрузкой: а) конструкция опытных элементов; б) схема установки для длительного нагружения при усилении и испытании с расположением приборов; в) конструкция опытных элементов после усиления

Напряженно-деформированное состояние бетона и продольной рабочей арматуры опытных элементов исследовалось с помощью тензорезисторов, механических тензометров, индикаторов часового типа.

Разрушение опытных железобетонных элементов, усиленных путем наращивания дополнительным бетоном и арматурой, происходило в результате раздробления бетона в средней части колонн с последующим выпучиванием продольной арматуры на участке между хомутами. На всех этапах нагружения деформирование бетона основного элемента и бетона наращивания происходило совместно. Характер разрушения опытных элементов представлен на рисунке 3.

Для эталонных опытных железобетонных элементов (КЭ-1, КЭ-2), а также элементов, усиленных наращиванием без предварительного нагружения (К-1, К-2) разрушение происходило при относительных деформациях не менее $(283...325) \cdot 10^{-5}$.

В опытных элементах, усиленных под нагрузкой (К-3...К-6), разрушение происходило при более высоких значениях относительных деформаций не менее $(370...395) \cdot 10^{-5}$ с появлением в арматуре основного сечения пластических деформаций. Это объясняется перераспределением усилий с бетона не только на арматуру основного элемента, но и на бетон и арматуру наращивания, включающиеся в совместную работу на заданном этапе нагружения. Сопротивление сжатию составляющих наращивания разгружают основной элемент, что позволяет работать его бетону на нисходящей ветви диаграммы деформирования.

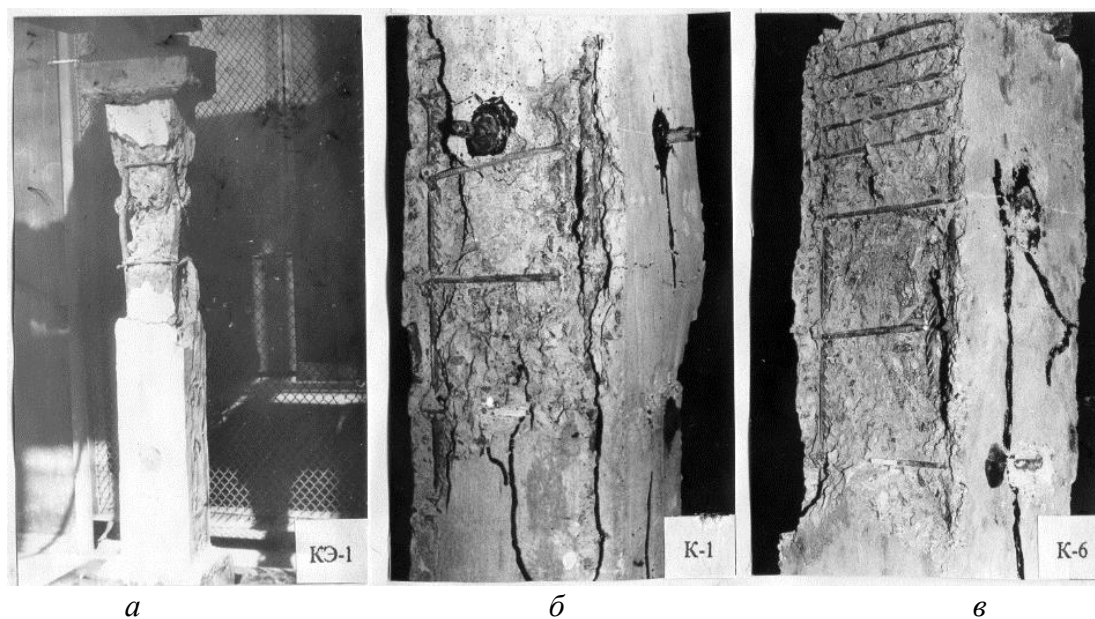


Рисунок 3 - Общий вид разрушения опытных железобетонных элементов

Варьирование величиной предварительного нагружения опытных элементов показало, что увеличение нагрузки на элемент при его усилении, при выбранном в эксперименте бетоне и армировании вызвало уменьшение разрушающего усилия (рисунок 4,а) и относительных деформаций бетона наращивания при увеличении относительных деформаций бетона усиливаемого элемента (рисунок 4,б).

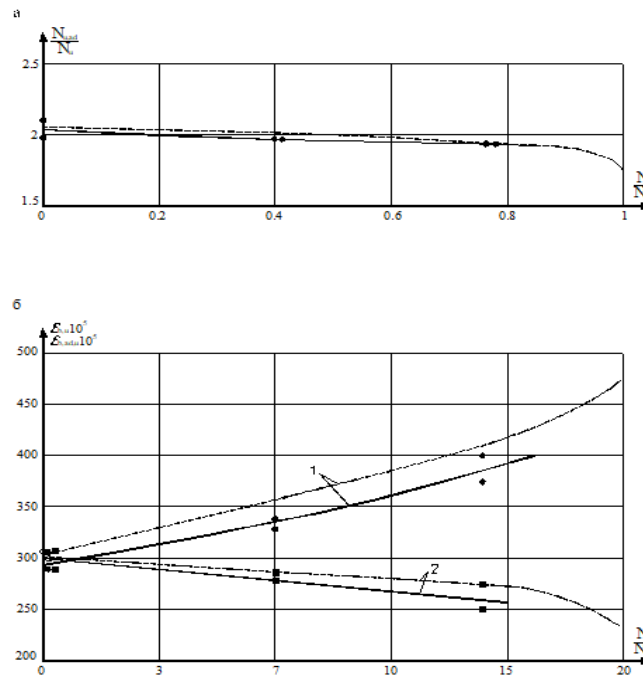


Рисунок 4 - Зависимость разрушающей нагрузки (а) и относительных деформаций опытных элементов от уровня нагружения при усилении: 1 – бетона элемента; 2 – бетона наращивания; ———— - опытная; - - - - - расчетная

При анализе результатов испытаний производилось сопоставление усилий, воспринимаемых каждым составляющим в отдельности: бетоном основной конструкции, арматурой основной конструкции, бетоном и арматурой наращивания со значениями, полученными на основе опытных относительных деформаций. Напряжения в каждом составляющем определялись по фактическим диаграммам бетона на восходящей ветви, расчетным диаграммам бетона на нисходящей ветви и фактической диаграмме растяжения арматуры (рисунки 5-8). Аналогичные зависимости получены по результатам расчета усиленных конструкций на основе метода по расчетным диаграммам бетона и арматуры.

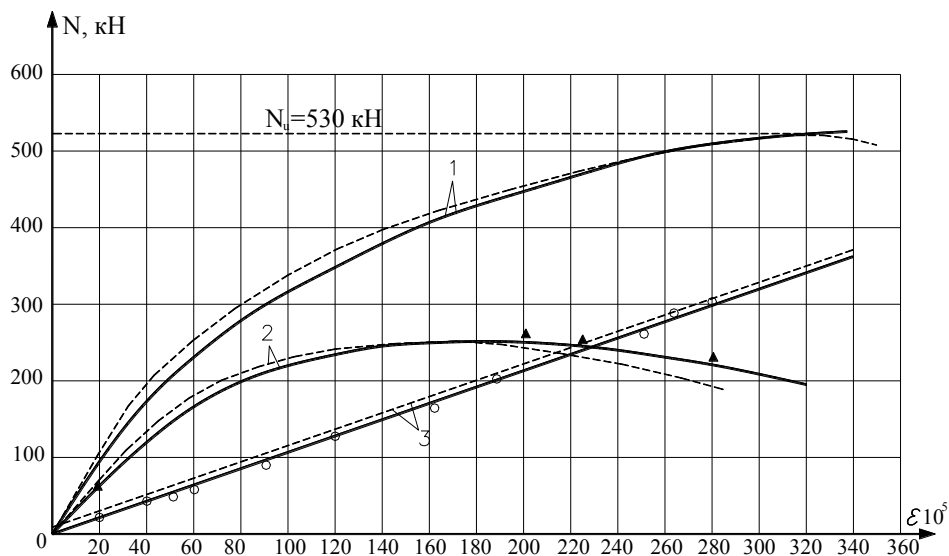


Рисунок 5 - Зависимость усилий, воспринимаемых железобетонным элементом (1), бетоном (2) и продольной арматурой (3) от относительных деформаций при нагружении опытного элемента КЭ-1: ———— - по опытным значениям; - - - - - по расчетным значениям

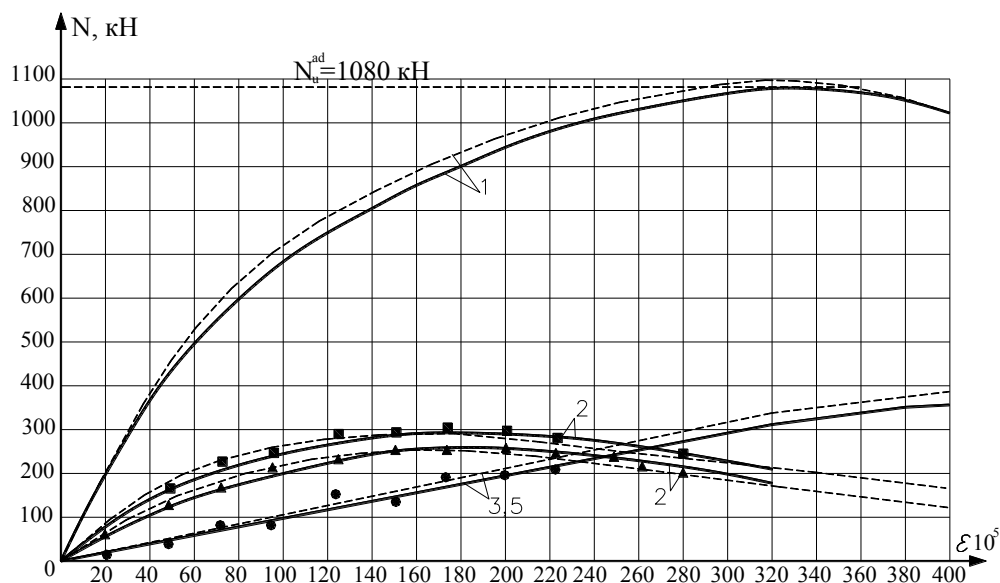


Рисунок 6 - Зависимость усилий, воспринимаемых опытным элементом (1), бетоном (2) и продольной арматурой (3) усиваемого элемента, бетоном (4) и арматурой (5) наращивания от их относительных деформаций при нагружении опытного элемента К-1 : _____ -по опытным значениям; _____ - по расчетным значениям

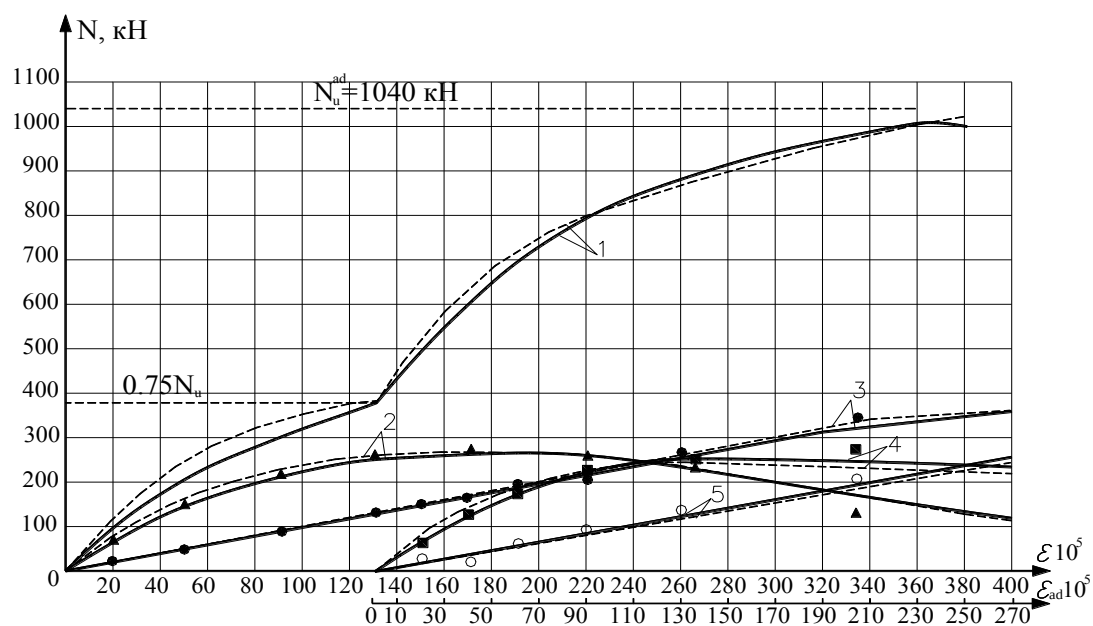


Рисунок 7 - Зависимость усилий, воспринимаемых усиленным опытным элементом (1), бетоном (2) и арматурой (3) усиваемого элемента, бетоном (4) и арматурой (5) наращивания от их относительных деформаций при нагружении опытного элемента К-4 : _____ -по опытным значениям; _____ - по расчетным значениям

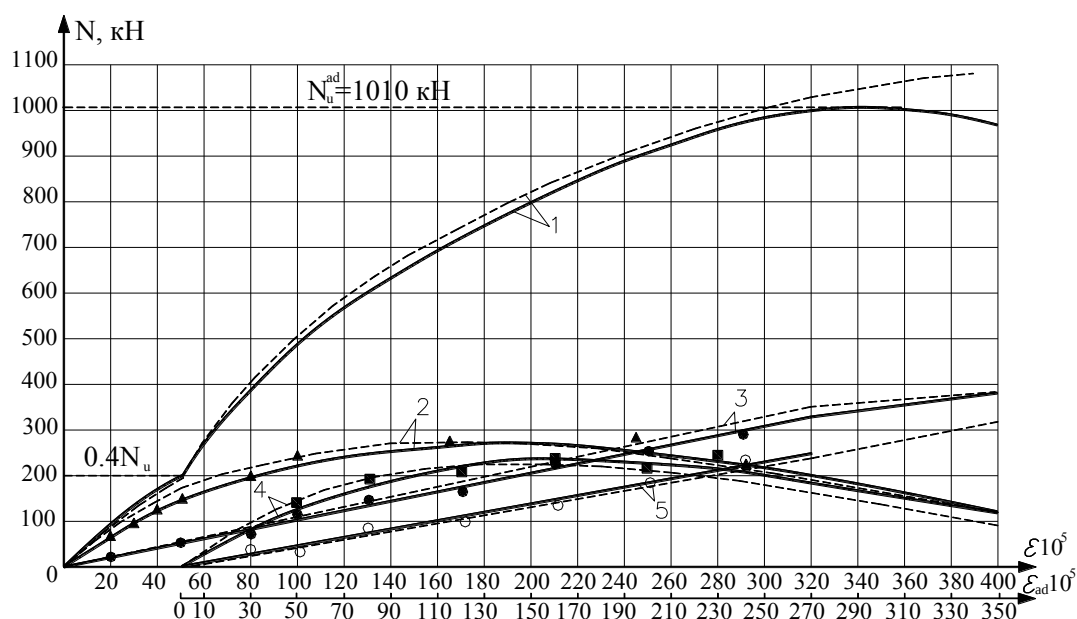


Рисунок 8 - Зависимость усилий, воспринимаемых усиленным опытным элементом (1), бетоном (2) и арматурой (3) усиливаемого элемента, бетоном (4) и арматурой (5) наращивания от их относительных деформаций при нагружении опытного элемента К-6 : _____ - по опытным значениям; - - - - - по расчетным значениям

Сопоставление опытных и расчетных значений разрушающего усилия, относительных деформаций бетона усиливаемого железобетонного элемента и бетона наращивания при разрушении опытных железобетонных элементов приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Сопоставление разрушающего усилия, относительных деформаций бетона основного и дополнительного сечения опытных железобетонных элементов

Шифр элемента	N_u^{exp} кН	N_u^{th} кН	$\frac{N_u^{exp}}{N_u^{th}}$	$\varepsilon_{b,u}^{exp} \cdot 10^5$	$\varepsilon_{b,u}^{th} \cdot 10^5$	$\frac{\varepsilon_{b,u}^{exp}}{\varepsilon_{b,u}^{th}}$	$\varepsilon_{b,ad,u}^{ex} \cdot 10^5$	$\varepsilon_{b,ad,u}^{th} \cdot 10^5$	$\frac{\varepsilon_{b,ad,u}^{ex}}{\varepsilon_{b,ad,u}^{th}}$
КЭ-1	530	536	0.99	308	312	0.96	-	-	-
КЭ-2	550	575	0.96	298	320	0.93	-	-	-
К-1	1080	1115	0.97	295	324	0.97	316	324	0.97
К-2	1150	1185	0.97	308	331	0.93	308	331	0.93
К-3	1050	1105	0.95	330	349	0.95	276	281	0.98
К-4	1010	1100	0.95	342	358	0.96	287	305	0.94
К-5	1020	1080	0.94	395	403	0.98	270	275	0.98
К-6	1040	1085	0.94	379	401	0.94	252	275	0.92

Закключение. Сопоставление полученных экспериментальных и расчетных зависимостей показывает, что принятая физическая модель правильно отражает характер и величину перераспределения усилий в поперечном сечении центрально нагруженных элементов, усиленных путем увеличения их поперечного сечения наращиванием дополнительным бетоном и арматурой. Перераспределение усилий в сечении усиленного элемента зависит не только от деформационных свойств бетона, количества продольной арматуры, но и от величины деформаций железобетонного элемента при усилении.

Список цитированных источников

1. Лазовский Д.Н. Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений. - Новополоцк: Изд-во Полоцкого гос. ун-та – 1998, 245с.
2. Пецольд Т.М., Лазовский Д.Н. Расчет усиления железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений. - Бетон и железобетон. - 1998, №6, (начало).
3. Пецольд Т.М., Лазовский Д.Н. Расчет усиления железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений. - Бетон и железобетон. - 1999, №1,(окончание).
4. Лазовский Д.Н., Тур В.В., Глухов Д.О., Лазовский Е.Д. Учет ползучести и усадки бетона по СП 5.03.01-2020 при расчете железобетонных конструкций на основе деформационной расчетной модели. - Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Технические науки (строительство, машиностроение, геоэкология). Экономические науки. 2021г., №2(125), С.7-12.
5. Лазовский Д.Н., Глухов Д.О., Лазовский Е.Д. Общий метод расчета прочности и деформаций на основе нелинейной деформационной модели косо сжатых колонн, усиленных железобетонной обоймой. -Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки.- 2021г., №16(30).-С.72-79.

References

1. Lazovskiy D.N. Usileniye zhelezobetonnykh konstruksiy ekspluatiruyemykh stroitel'nykh sooruzheniy.- Novopolotsk: Izd-vo Polotskogogo. un-ta – 1998, 245s.
2. Petsol'd T.M., Lazovskiy D.N. Raschet usileniya zhelezobetonnykh konstruksiy ekspluatiruyemykh stroitel'nykh sooruzheniy.- Beton i zhelezobeton. - 1998, №6, (nachalo).
3. Petsol'd T.M., Lazovskiy D.N. Raschet usileniya zhelezobetonnykh konstruksiy ekspluatiruyemykh stroitel'nykh sooruzheniy. - Beton i zhelezobeton. - 1999, №1,(okonchaniye).
4. Lazovskiy D.N., Tur V.V., Glukhov D.O., Lazovskiy Y.D. Uchet polzuchesti i usadki be-тона po SP 5.03.01-2020 pri raschete zhelezobetonnykh konstruksiy na osnove defor-matsionnoy raschetnoy modeli. - Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo uni-versiteta. Seriya: Tekhnicheskiye nauki (stroitel'stvo, mashinostroyeniye, geoeкологиya). Ekonomicheskkiye nauki. 2021g., №2(125), S.7-12.
5. Lazovskiy D.N., Glukhov D.O., Lazovskiy Y.D. Obshchiy metod rascheta prochnosti i de-formatsiy na osnove nelineynoy deformatsionnoy modeli koso szhatykh kolonn, usilennykh zhelezo-betonnoy oboymoy. -Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F. Stroitel'stvo. Prikladnyye nauki.- 2021g., №16(30).-S.72-79.

УДК 624.21.03

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО НАРМАМ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В. Н. Дедок¹

*¹Старший преподаватель кафедры «Геотехника и транспортные коммуникации»
УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail : vladzimir@dziadok.com*

Реферат

В статье приведены результаты сравнительного анализа основных положений проведения диагностики и оценки технического состояния и эксплуатационной надежности мостовых сооружений, установленных нормативно-технической документацией в Республике Беларусь и Российской Федерации.

Ключевые слова: диагностика, обследование, мостовые конструкции, техническое состояние, категории, грузоподъемность.

FEATURES OF THE ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF BRIDGES STRUCTURES ON THE NARM OF THE REPUBLIC OF BELARUS AND THE RUSSIAN FEDERATION

V. N. Dedok

Abstract

The article presents the results of a comparative analysis of the main provisions of diagnostics and evaluation of the technical condition and operational reliability of bridge structures established by regulatory and technical documentation in the Republic of Belarus and the Russian Federation.

Keywords: diagnostics, inspection, bridge structures, technical condition, categories, load capacity.

Введение

Целью диагностики мостовых сооружений является своевременное выявление и устранение дефектов конструктивных элементов мостового сооружения, а также снижение риска возникновения дорожно-транспортных происшествий и обеспечение сохранности мостового сооружения, определение потребности в ремонтных мероприятиях, создание в процессе эксплуатации безопасных условий перевозки грузов и пассажиров по мостовому сооружению в течение установленного срока службы.

Основной задачей диагностики мостовых сооружений на дорогах общего пользования является получение актуальной и достоверной информации о параметрах и уровне эксплуатационного состояния для оценки соответствия условий эксплуатации требованиям технических нормативных правовых актов, требованиям безопасности [1].

Оценка технического состояния и эксплуатационной надежности сооружения должна производиться путем всестороннего анализа данных, полученных при обследованиях и испытаниях в соответствии с требованиями ТНПА [2] Рекомендации по анализу и оценке полученных при обследованиях данных приведены в приложении В.

Полученные при обследованиях данные контрольных измерений и съемок необходимо проверить на соответствие требованиям ТНПА на проектирование и содержание мостов, а также сравнить их с результатами предшествующих обследований. При анализе должна быть проведена оценка влияния зафиксированных отклонений на эксплуатационные характеристики сооружения.

Выявленные при обследовании дефекты и повреждения следует оценивать по их влиянию на грузоподъемность и долговечность сооружения, а также на безопасность пропуска транспортных средств и пешеходов.

Определение грузоподъемности по данным обследований и испытаний мостовых сооружений следует выполнять, руководствуясь действующими ТНПА на определение грузоподъемности мостов [3].

По материалам обследований и испытаний, а также по результатам оценки расчетной грузоподъемности сооружения должны разрабатываться меры по обеспечению нормальной и безопасной эксплуатации.

В зависимости от характера, значимости и распространения обнаруженных дефектов, повреждений и несоответствий требованиям ТНПА на проектирование и содержание мостов следует предусматривать проведение ремонтов, усиление отдельных элементов, введение ограничений для обращающихся нагрузок (в том числе уменьшение количества рядов или увеличение интервалов между транспортными единицами на автодорожных и городских мостах), ограничение скорости движения транспортных средств и др.

1 Оценка технического состояния мостовых сооружений по СУСМ «Бел-мост»

Суть оценки сводится к получению осредненного показателя состояния мостового сооружения исходя из имеющихся дефектов на сооружении и степени их влияния на конструкцию мостового сооружения в целом.

Оценка состояния мостового сооружения определяется в два этапа. На первом этапе определяется оценка состояния мостового сооружения по имеющимся дефектам, на втором этапе определяется общая (фактическая) оценка состояния мостового сооружения с учетом соответствия нормативным требованиям основных транспортно-эксплуатационных характеристик (габарита проезжей части и грузоподъемности мостового сооружения).

В качестве количественной оценки состояния мостового сооружения «R» принимается балльная шкала от 1 до 7. При этом весомость элемента сооружения имеет безразмерный коэффициент W с градацией от 4 до 10.

Уровни состояния мостовых сооружений характеризуются следующими оценками и описаниями:

- «высокий» (от 6 до 7 баллов включительно) - на сооружении имеются незначительные, легко устранимые содержанием дефекты: может потребоваться покраска, устранение дефектов опорных частей, заделка небольших трещин или сколов опор и фундаментов и т.п.;

- «средний» (от 4 до 5,99 баллов включительно) - умеренные повреждения несущих и других конструктивных элементов сооружения. Возможен неопасный размыв у опор. Требуется незначительный текущий ремонт мостового полотна, пролетных строений, опор и т.п.;

- «допустимый» (от 3 до 3,99 баллов включительно) - обнаружены существенные повреждения всех или некоторых несущих элементов мостового сооружения. Имеются разрушения бетона с обширными обнажениями рабочей арматуры. Возможны ограничения грузоподъемности. Могут быть обнаружены существенные размывы у опор. Необходим текущий или капитальный ремонт сооружения;

- «недопустимый» (от 1 до 2,99 баллов включительно) - основные несущие элементы сооружения в плохом состоянии, имеются критические дефекты. Мостовое сооружение утратило требуемую грузоподъемность, и необходимо ограничение по пропускаемой нагрузке со снижением скорости проезда, а также проведение ремонтных мероприятий по усилению основных несущих конструкций сооружения. Возможен размыв опор с потерей устойчивости. Необходим капитальный ремонт или реконструкция мостового сооружения.

В случае наличия дефектов, вызывающих аварийное состояние (приложение В)[1], уровень состояния мостового сооружения определяется, как «недопустимый».

Перечень элементов мостового сооружения, подлежащих обязательной оценке, определяется в соответствии с приложением А [1].

Объем дефекта обязательно фиксируют в карточке моста. Оценка состояния рассчитывается автоматически после занесения данных карточек в базу данных «Белмост».

2 Особенности оценки технического состояния мостовых сооружений в Российской Федерации по ОДМ 218.3.014-2011

Общую оценку технического состояния мостового сооружения выражают категорией технического состояния, которую назначают с учетом совокупности подверженных изменению в процессе эксплуатации основных свойств мостового сооружения, а также частными оценками технического состояния по критерию **«безопасность эксплуатации»**, по **безотказности (грузоподъемности)** и **долговечности** [4]. Каждая категория технического состояния качественно отражает уровень надежности мостового сооружения, а частные оценки отражают качественное соответствие отдельно по каждому свойству.

Мостовое сооружение по результатам технического диагностирования относят к одной из следующих шести возможных категорий технического состояния.

К категории **«отличное техническое состояние»** относят мостовые сооружения, соответствующие всем требованиям нормативной и конструкторской (проектной) документации, с учетом перспективы развития транспортных средств и дорожной сети.

К категории **«хорошее техническое состояние»** относят мостовые сооружения, у которых все основные конструкции имеют исправное состояние, при этом значения одного или нескольких параметров технического состояния мостового сооружения могут не в полной мере соответствовать установленным действующим нормативным документам, но при этом в конкретных условиях эксплуатации не нарушаются основные функциональные свойства мостового сооружения.

К категории **«удовлетворительное техническое состояние»** относят мостовые сооружения, основные функциональные свойства которых частично нарушены, но при этом все основные конструкции находятся в работоспособном состоянии, обеспечивается безопасный пропуск всех обращающихся автомобилей со скоростями не ниже уровня, установленного экономическими соображениями, и возможные затруднения движения транспортных средств носят только кратковременный характер. Ремонтные мероприятия для сооружений, имеющих удовлетворительное техническое состояние, организуют в плановом порядке.

К категории **«неудовлетворительное техническое состояние»** относят мостовые сооружения, имеющие в основных конструкциях значительные дефекты по грузоподъемности, по безопасности и долговечности. Мостовое сооружение с неудовлетворительной оценкой технического состояния способно только частично выполнять требуемые функции, нормальная эксплуатация нарушена, но при этом критический отказ, в результате которого одна или несколько основных конструкций могут перейти в предельное состояние первой группы и вызвать

аварию, в настоящее время маловероятен. Безопасность эксплуатации для сооружений с данной оценкой технического состояния может быть обеспечена регулированием движения дорожными знаками. Введение ограничений движения нарушает их нормальную эксплуатацию. Сооружениям с неудовлетворительной оценкой технического состояния в первоочередном порядке необходим ремонт, капитальный ремонт или реконструкция.

К категории **«непригодное для нормальной эксплуатации (или предаварийное) техническое состояние»** относят мостовые сооружения, имеющие непригодное для нормальной эксплуатации состояние, или имеющие предаварийное состояние, при котором в случае продолжения неблагоприятных воздействий может произойти авария. К этой категории относят и такие сооружения, по которым безопасный пропуск автомобилей не может быть гарантирован введением различных ограничений движения путем установки дорожных знаков, требуется принудительное регулирование режима эксплуатации, например, запрещение движения по полосам, введение реверсивного движения и др. Мостовые сооружения, отнесенные к данной категории, требуют срочных восстановительных ремонтных мероприятий. Данную категорию технического состояния присваивают мостовым сооружениям, имеющим в основных конструкциях, как правило, опасные дефекты по грузоподъемности, безопасности, долговечности. Для сооружений в предаварийном состоянии может быть установлен специальный режим контрольных мероприятий вплоть до проведения ежедневного осмотра.

К категории **«аварийное техническое состояние»** относят мостовые сооружения, имеющие признаки аварийного состояния, свидетельствующие о возможности потери устойчивости, разрушения или обрушения конструкций или части конструкции, или у которых уже установлен факт наступления предельного состояния первой группы. Аварийное техническое состояние присваивают мостовым сооружениям, имеющим в основных несущих конструкциях критические дефекты, исключающие дальнейшую эксплуатацию мостового сооружения до их устранения. При выявлении аварийного состояния мостового сооружения требуется незамедлительное закрытие движения. Более подробные характеристики категорий технического состояния мостовых сооружений приведены в приложении Б [4].

При отнесении мостового сооружения к одной из шести возможных категорий технического состояния учитывают характеристики категорий, приведенные в приложении Б[4], а также следующие показатели:

- обобщенный показатель технического состояния мостового сооружения $K_{об}$;
- показатель вида ремонтного воздействия K_p ;
- показатель габарита проезда $K_{пч}$;
- показатель габарита проходной части $K_{тр}$;
- показатель подмостового габарита $K_{пг}$;
- класс нормативной нагрузки $K_{ак}$;
- класс эталонной нагрузки одиночных транспортных средств $K_{нк}$.

Техническое состояние мостового сооружения **по безопасности** выражают показателем по безопасности K_B . При оценке безопасности учитывают два параметра - параметр дефектности по безопасности V_B и коэффициент снижения расчетной скорости V_p .

Техническое состояние отдельных основных конструкций мостового сооружения **по долговечности** выражают частными показателями по долговечности K_d . При оценке долговечности отдельной конструкции учитывают параметр дефектности по долговечности B_d и условия соответствия. В необходимых случаях оценивают остаточный срок службы элементов. При оценке технического состояния мостового сооружения по долговечности в целом рассматривают показатель минимальной долговечности мостового сооружения $K_d^{мин}$, показатель средней долговечности мостового сооружения $K_d^{ср}$ и показатель технического состояния по долговечности мостового сооружения K_d .

Техническое состояние мостового сооружения **по безотказности (грузоподъемности)** выражают показателем по грузоподъемности K_g .

Показатели технического состояния по безопасности, грузоподъемности, долговечности, показатель вида ремонтного воздействия, обобщенный показатель дефектности, параметр дефектности по безопасности, коэффициент снижения расчетной скорости, параметр дефектности по долговечности и коэффициент ремонтнопригодности, при необходимости, используют в качестве самостоятельных оценок при ранжировании мостовых сооружений, отдельно по каждому свойству или характеристике. Для ранжирования мостовых сооружений по степени дефектности по трем основным свойствам может использоваться обобщенный параметр дефектности мостового сооружения $B_{об}$.

3 Оценка технического состояния мостового сооружения по критерию «безопасность эксплуатации»

Безопасность эксплуатации мостового сооружения определяется: безопасностью дорожного движения по сооружению; безопасностью движения под сооружением; безопасностью прохода пешеходов; механической безопасностью основных конструкций; иными условиями, определяющими отсутствие угрозы причинения вреда жизни и здоровью людей, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни и здоровью животных и растений.

Техническое состояние мостового сооружения по критерию «безопасность эксплуатации» характеризуют показателем технического состояния по безопасности K_b , который выражают целыми числами от 0 до 5. Данному показателю присваивают значение в соответствии с основными признаками технического состояния по критерию «безопасность эксплуатации». Признаками технического состояния по критерию «безопасность эксплуатации» являются:

- качественные условия соответствия технического состояния мостового сооружения по безопасности;

- коэффициент снижения расчетной скорости K_v ;

- параметр дефектности по безопасности мостового сооружения B_b .

Показатель технического состояния по безопасности используют в качестве самостоятельной оценки при ранжировании мостовых сооружений по группам.

Коэффициентом снижения расчетной скорости характеризуют условия безопасности дорожного движения по мостовому сооружению, его значение в целом для мостового сооружения определяют по формуле

$$K_v = [V] / V_p, \quad (1)$$

где K_v - коэффициент снижения расчетной скорости;

$[V]$ - максимальная безопасная скорость легкового автомобиля с обеспеченностью 0,95;

V_p - расчетная скорость движения, для соответствующей категории автомобильных дорог.

Параметром дефектности по безопасности мостового сооружения B_B учитывают совокупность имеющихся дефектов, оказывающих влияние на безопасность эксплуатации мостового сооружения. При определении параметра B_B , кроме дефектов, оказывающих влияние на безопасность дорожного движения по сооружению, рассматривают дефекты и конструктивные особенности сооружения и пересекаемых препятствий, оказывающие влияние на безопасность дорожного движения под сооружением, безопасность прохода пешеходов, механическую безопасность основных конструкций и иные условия безопасности, в частности: соответствие габаритов приближения конструкций на проезжей части, пешеходных проходах и под мостовым сооружением; наличие дефектов покрытия на пешеходных проходах; наличие дефектов перильных ограждений; наличие дефектов лестничных сходов; наличие дефектов, создающих угрозу разрушения и обрушения конструкций; наличие дефектов, создающих угрозу падения различных предметов, обломков элементов и т.д. на транспортные пути, проходящие под мостовым сооружением.

Параметр дефектности по безопасности используют при вычислении обобщенного параметра дефектности мостового сооружения и при оценке технического состояния мостового сооружения по критерию «безопасность эксплуатации». Параметр дефектности по безопасности может быть также использован в качестве самостоятельного параметра при ранжировании мостовых сооружений по степени соответствия требованиям безопасности.

Показатель габарита проезда, показатель габарита прохожей части и показатель подмостового габарита используют при назначении категории технического состояния мостового сооружения. Кроме этого, значения этих показателей дают дополнительную возможность ранжирования группы мостовых сооружений по степени соответствия габаритов приближения требованиям. Показатели габаритов проезда и прохожей части включают в себя не только ширину проезда и прохода, а габариты приближения в целом. При несоответствии габаритов приближения требованиям, норм вводят ограничения движения путем установки дорожных знаков, ограничивающих линейные параметры.

4 Оценка технического состояния мостового сооружения по безотказности (грузоподъемности)

Условия обеспечения надежности мостового сооружения состоят в том, чтобы расчетные значения усилий, деформаций, напряжений, перемещений, раскрытия трещин не превышали соответствующих им предельных значений, установленных нормами проектирования, а также в обеспечении соответствия нормативным конструктивным требованиям. Основным свойством надежности мостовых сооружений является их безотказность. Показателем безотказности мо-

стовых сооружений является невозможность превышения в них предельных состояний при действии наиболее неблагоприятных сочетаний расчетных нагрузок в течение расчетного срока службы. Безотказность мостового сооружения определяется расчетами грузоподъемности по первой группе предельных состояний, предусматривающими систему коэффициентов надежности по материалам, нагрузкам, условию работы и ответственности сооружения.

Основными параметрами грузоподъемности мостового сооружения являются классы по грузоподъемности, определяющие наибольшую величину нормативных временных и эталонных автомобильных нагрузок, при которых наступает предельное состояние первой группы у наиболее слабой несущей конструкции с учетом ее дефектности и фактического состояния.

Техническое состояние мостового сооружения по грузоподъемности характеризуют соответствующим показателем - показателем технического состояния по грузоподъемности K_r . Определяющими параметрами показателя по грузоподъемности являются проектные нормативные нагрузки и минимальные фактические классы, полученные по результатам расчетов по первой группе предельных состояний, с учетом влияния на грузоподъемность имеющихся дефектов в элементах сооружения и при фактических постоянных нагрузках, действующих на момент обследования, и выраженные в классах нормативных нагрузок.

Показатель по грузоподъемности используют при вычислении обобщенного показателя технического состояния мостового сооружения, обобщенного параметра дефектности мостового сооружения, а также в качестве самостоятельной оценки мостового сооружения по грузоподъемности. При недостаточной грузоподъемности мостового сооружения по нормативным нагрузкам АК и НК обычно вводят ограничение по массе транспортных средств и (или) ограничение по массе на ось транспортного средства.

Выводы

1. Существующие подходы в оценке технического состояния конструкций и мостового сооружения в целом по техническим нормам, действующим в Республике Беларусь и Российской Федерации, имеют схожие направления.

2. В соответствии с ОДМ 218.3.014-2011 используемом в Российской Федерации для оценки технического состояния мостовых сооружений, техническое состояние мостового сооружения выражают шестью **категориями технического состояния**. Категорию технического состояния назначают с учетом совокупности подверженных изменению в процессе эксплуатации основных свойств мостового сооружения, а также частными оценками технического состояния по критерию «**безопасность эксплуатации**», по «**безотказности**» (грузоподъемности) и «**долговечности**».

3. Оценка состояния мостового сооружения по нормам действующим в Республике Беларусь определяется по имеющимся дефектам с учетом соответствия нормативным требованиям основных транспортно-эксплуатационных характеристик (габарита проезжей части и грузоподъемности мостового сооружения). В качестве количественной оценки состояния мостового сооружения «R» принимается балльная шкала, на основании которой установлено четыре **уровня состояния мостовых сооружений**.

Список цитированных источников

1. Мосты автодорожные. Правила выполнения диагностики: ТКП 227-2018 (33200). – Минск, 2018 – 118 с.
2. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний: ТКП 45-3.03-60-2009 (02250). – Минск, 2009 г. – 29 с.
3. Правила определения грузоподъемности железобетонных и сталежелезобетонных балочных пролетных строений автодорожных сооружений. ТКП 479-2019. – Минск, 2019. – 248 с.
4. Методика оценки технического состояния мостовых сооружений на автомобильных дорогах. Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). ОДМ 218.3.014-2011. – Москва, 2013. – 80 с.

References

1. Road bridges. Rules for performing diagnostics: ТКП 227-2018 (33200). – Minsk, 2018 – 118 p.
2. Bridges and pipes. Rules of surveys and tests: ТКП 45-3.03-60-2009 (02250). – Minsk, 2009 – 29 p.
3. Rules for determining the load capacity of reinforced concrete and steel-reinforced concrete girder superstructures of road structures. ТКП 479-2019. – Minsk, 2019. – 248 p.
4. Methodology for assessing the technical condition of bridge structures on highways. Federal Road Agency (Rosavtodor). ODM 218.3.014-2011. – Moscow, 2013. – 80 p.

УДК 624.012

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА И «МЯГКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ» ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОНОЛИТНЫХ ПЛИТ НА ОСНОВАНИИ

А. Е. Желткович¹, В. В. Молош², К. Г. Пархоц³, Н. Г. Савейко⁴

¹Доцент, к.т.н., доцент, Брестский Государственный Технический Университет,
Беларусь, e-mails: gelppek@mail.ru

²Доцент, к.т.н., доцент, Брестский Государственный Технический Университет,
Беларусь, e-mails: m.vic@rambler.ru

³Инженер-программист, Беларусь, e-mails: konstantinparhoc@gmail.com

⁴Инженер-программист, Беларусь, e-mails: nick-2009@live.ru

Реферат

В статье проиллюстрирована возможность конвергенции механики, нейротехнологии и биоподобных технологий. Показана возможность применения, в задачах связанных с проектированием, мягких вычислений (soft-computing). В работе представлены результаты самонапряжений в плите на основании, полученные с помощью нейросети объединённой в систему с генетическим алгоритмом. Рассмотрена возможность оптимизации геометрических параметров плиты при заданных или изменяемых входных данных (прочность, самонапряжение, и др.) путем включения/отключения искусственных генетических признаков. Показано, что для описания состояния конструкции, где кинетика формирования бетонной структуры подчиняется нелинейным зависимостям, применение нейротехнологий и генетических алгоритмов наиболее оправдано. В статье описан процесс разработки нейронной сети и генетического алгоритма, обсуждается вопрос качества полученных решений.

Ключевые слова: генетический алгоритм, мягкие вычисления, хромосомы, гены, функция приспособленности, самонапряженный бетон, нейронные сети.

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM AND "SOFT COMPUTING" IN THE DESIGN OF MONOLITHIC SLABS ON BASE

Zheltkovich A., Molosh V., Parchotz K., Saveiko N.

Abstract

The article illustrates the possibility of convergence of mechanics, neurotechnology, and biosimilar technologies. Shown the possibility of using so-called soft-computing in design-related tasks. The work presents the results of self-stresses in the slab on ground obtained using a neural network combined into a system with a genetic algorithm. The possibility of optimizing the geometric parameters of the slab at the given or variable input parameters (strength, self-stress, etc.) by turning on/off artificial genetic features is considered. It has been shown that to describe the state of the structure, where the kinetics of the formation of the concrete structure obeys nonlinear behaviors, the use of neurotechnologies and genetic algorithms is most justified. The article describes the process of developing a neural network and a genetic algorithm, discusses the quality of the solutions obtained.

Keywords: genetic algorithm, soft computing, chromosomes, genes, fitness function, self-stressed concrete, neural networks.

Мягкие или жесткие решения?

На протяжении многих лет в инженерной науке жёсткие вычисления (hard-computing) находили самое широкое применение. Среди многих инженеров по сей день существует устойчивый стереотип, что метод классических вычислений столь надёжен, и эффективен, что преждевременно даже обсуждать альтернативы. Но так ли он безальтернативен с позиции эффективности? В таблице 1 [1] представлен краткий обзор существующих жестких и получающих всё более широкое применение мягких методов вычислений.

Таблица 1 – Обзор существующих методов вычислений.

Мягкие вычисления*	Жесткие вычисления
свободны от неточностей, неопределенностей, частичной истины и приближения	нуждаются в модели анализа состояний
опираются на формальную логику и вероятностные рассуждения	полагаются на двоичную логику «false-true» и четкую систему
имеют стохастический характер	детерминированы
работают с неоднозначными и зашумленными данными	работают с точными данными
могут выполнять параллельные вычисления	выполняют последовательные вычисления
дают приблизительные результаты	дают точные результаты
вырабатывают свои собственные программы	требуют написания программ
*Мягкие вычисления (Soft Computing) – термин, введенный Лотфи Заде в 1994 году [2]	

«Жесткие вычисления – это тот древний подход, используемый в вычислениях, который требует от младшего [...] персонала точно заявленной аналитической модели. Результатом жесткого вычислительного подхода является гарантированный, установленный, правильный результат, (*получаемый* – ред.) [...] с использованием математической модели или алгоритмического правила [...]. Жесткие вычисления не способны найти решение реальной проблемы» [1]. От себя добавим, что применяя соответствующие критерии соответствия решение, конечно же, может быть найдено, но для абстрактной, геометрически или математически идеализированной модели реальности, не для самой реальности.

В публикации [3] указывается, что традиционный метод вычислений, к которым несомненно относятся жесткие вычисления, подходит для решения реальных проблем, но основной связанный с этим недостаток заключается в том, что он требует большого количества времени и затрат на вычисления. По этой причине мягкие вычисления являются лучшей альтернативой.

Согласно сложившемуся подходу, мягкие вычисления включают в себя:

1. Задачи с нечёткой логикой.

2. Задачи, решаемые при помощи нейронных сетей.

3. Эволюционное моделирование – использование положения теории Дарвина для построения интеллектуальных систем.

4. Задачи, решаемые с использованием теории хаоса или аппарата, описывающего поведение некоторых нелинейных динамических систем, подверженных при определённых условиях явлению, известному как хаос. Поведение такой системы кажется случайным, даже если модель, описывающая систему, является детерминированной [4]. Примерами подобных систем являются турбулентность в атмосфере, потоки плазмы, биологические процессы, и другие. Сложные системы чрезвычайно зависимы от первоначальных условий, и небольшие изменения приводят к бифуркациям с последующим каскадом фрактальных расщеплений, что приводит к непредсказуемым последствиям (или потере контроля над процессом при применении классических методов вычислений).

В исследовании [5] указывается, что сущность мягких вычислений состоит в том, что в отличие от традиционных, они нацелены на приспособление к всеобъемлющей неточности реального мира. Руководящим принципом мягких вычислений является: «терпимость к неточности, неопределённости и частичной истинности для достижения [...] лучшего согласия с реальностью».

Исследователям, работающим с напрягающими бетонами, вообще с конструкциями из искусственных материалов, к коим без сомнения относится бетон, должна быть хорошо понятна фраза: «Поведение [...] системы кажется случайным, даже если модель, описывающая систему, является детерминированной». По этой причине при исследовании напрягающего бетона был применён метод мягких вычислений (нейронная сеть, объединённая в систему с генетическим алгоритмом).

Если говорить о выборе оптимизационных алгоритмов при решении нелинейных задач, к коим относятся задачи связанные с определением напряжённо-деформированного состояния (НДС) в конструкциях на напрягающем бетоне, то по эффективности работы, генетический алгоритм является достаточно универсальным (рисунок 1).

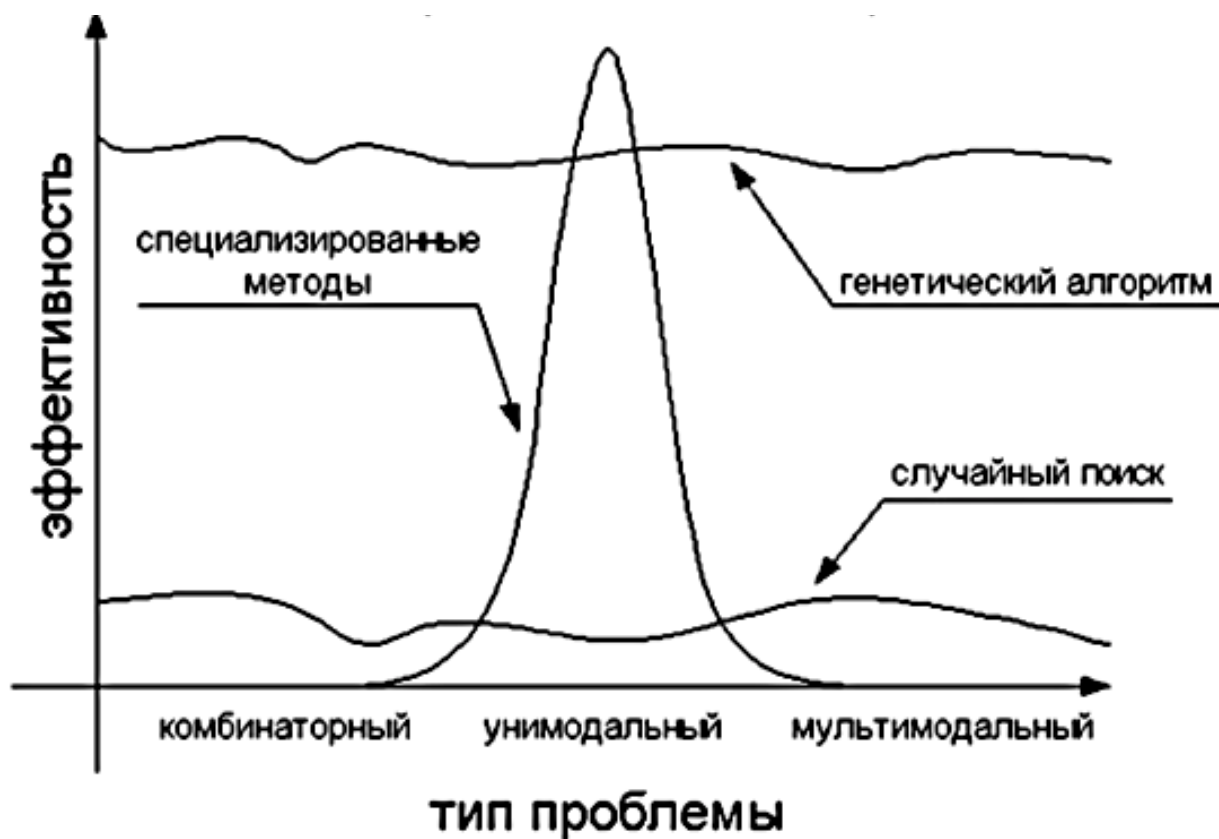


Рисунок 1 - Сравнительная эффективность алгоритмов оптимизации

1 Мягкие вычисления. Искусственная нейросеть

Подход, который использует вычислительные модели, имитирующие архитектурные, структурные или функциональные аспекты биологических нейронных сетей, таких как человеческий мозг, известны с середины XX века.

Искусственные нейронные сети (ИНС или НС), также известные как Neural Networks (NN) или Connection Models - алгоритмические математические модели, имитирующие поведенческие характеристики нервных сетей животных и выполняющие распределённую, параллельную обработку информации. Эти сети полагаются на особую систему обработки информации путем корректировки взаимосвязей между большим количеством внутренних узлов. НС, состоящая из нескольких слоёв связанных нейронов, называется глубокой. Глубокие нейронные сети включают в себя входной слой, скрытые слои и выходной слой; ИНС может соединять узлы нейронов левого уровня с узлами правого уровня (см. рис. 2б).

Структурно в НС можно выделить два основных способа улучшения работоспособности нейронной сети, а именно горизонтальное расширение за счёт увеличения числа нейронных узлов в каждом слое и вертикальное расширение за счёт увеличения количества слоёв нейронной сети [6].

Полносвязные НС имеют несколько основных особенностей.

1. Нейроны в одном слое не связаны друг с другом.
2. Каждый нейрон в слое N соединен со всеми нейронами в слое N-1 (при полном соединении), а выход нейронов в слое N-1 является входом в нейроны в слое N.
3. Каждое соединение (синапс) имеет вес.

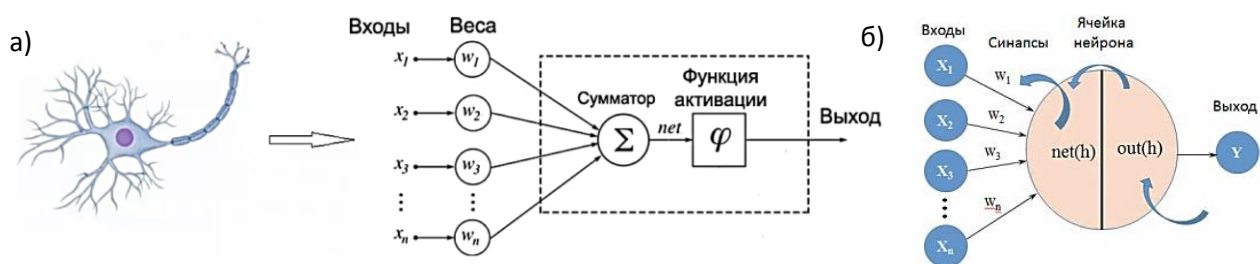


Рисунок 2 – Принципиальная схема нейрона (а), метод обратного распространения ошибки при обновлении весов синапсов (б)

Структура НС для прогнозирования НДС

НС играет роль экстрактора признаков в алгоритме обнаружения цели. Эта схема позволяет НС автономно улавливать зависимости из огромных объемов данных. НС может преобразовывать сигналы от входа к выходу с помощью простой операции сложения и умножения. Таким образом, хорошо обученная сеть может быстро реагировать без громоздких операций вычислений, в отличие от программ использующих методы жестких вычислений (например, метод конечных элементов). Чтобы уточнить характеристики НДС, была разработана и обучена искусственная нейронная сеть полносвязной архитектуры с семью входящими нейронами, двумя скрытыми слоями и десятью нейронами выходного слоя. Каждый из десяти нейронов выходного слоя учился «видеть» самонапряжение в соответствующей координате плиты. На входные нейроны подавались данные полученные в ходе лабораторных экспериментов: L (B) – длина и ширина плиты; H – толщина плиты; $f_{c,cube}^m$ – средняя прочность бетона на сжатие; $\tau_{1,R(t)}$ – пиковое напряжение на контактной поверхности между плитой и основанием; $u_{1,R(t)}$ – смещение, соответствующее максимальному напряжению на контакте [7]. ε_0 – деформация свободного расширения бетона; σ_{CE} – самонапряжение бетона при однопроцентном ограничении.

Формирование матриц входных и выходных данных

Поскольку количество параметров НС велико, необходим эффективный метод записи данных (обычно поступающие на вход и извлекаемые на выходе данные представлены в виде матриц или векторов). Для этого создавалась матрица входных и выходных данных для 149 различных временных интервалов. Для данных был создан специальный файл с расширением .csv. Во второй части матрицы (данные для выходного слоя ИНС) помещены напряжения, предварительно сгенерированные при помощи базовой физ.-мат. модели (для десяти точек плиты) на базе экспериментальных наблюдений за перемещениями в соответствующих координатах.

Механизм работы ИНС

Каждый нейрон может рассматриваться как оператор, который изменяет входные данные [8]. На вход он получает некую взвешенную сумму от всех нейронов предыдущего слоя, сигнал же на выходе из нейрона может быть определен следующим образом:

$$y_i = \sum x_i \cdot w_i + b \quad (1)$$

где x и y – входной и выходной сигналы НС,
 w – весовой параметр синапса,
 b – смещение (рисунок 2а).

Критерии качества работы ИНС

При тестировании нейросети на тестовой выборке использовалась средне-квадратическая (MSE метод) и относительная ошибки, поскольку эти метрики достаточно достоверно отражают точность результата прогнозирования, как для пакета из нескольких образцов, так и для единичного образца. Функция потерь (losses) предлагается для оценки разрыва между истинным результатом (целью) и предсказанием, формируемым нейронной сетью. Таким образом, процесс обучения нейронной сети становится задачей оптимизации, целью которой является минимизация потерь. Функция потерь определяется, как:

$$E = \frac{1}{n} \sum (Y_{target} - Y_{predicted})^2, \quad (2)$$

где: n – количество выборок,
 Y_{target} – фактические данные,
 $Y_{predicted}$ – предсказанные.

Параметрическая оптимизация, алгоритм градиентного спуска

Целью оптимизации параметров являлось нахождение минимального значения функции E на гиперповерхности потерь. На каждой итерации алгоритм обновляет весовые параметры w в нейронах. Чтобы найти минимум функции потерь, необходимо взять отрицательный градиент. В модели использовался оптимизатор Adam [9]. Минимум функции потерь, определялся, как частная производная потерь, по весу:

$$\frac{\partial E}{\partial w_i} = \frac{\partial E}{\partial out(h)} \cdot \frac{\partial out(h)}{\partial net(h)} \cdot \frac{\partial net(h)}{\partial w_i} \quad (3)$$

где $net(h) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i$ – значение взвешенной суммы от нейронов слоя N-1 приходящей на вход некоторого нейрона в слое N (рисунок 2б),

$out(h) = f(net(h))$ – значение преобразованной (при помощи оператора «ReLU») функции (1) на выходе из нейрона,

$f(net(h)) = "ReLU"$ – функция активации нейрона (это наиболее распространённая функция активации, в особенности, если решается не классификационная задача, а задача регрессии [10]).

После вычисления потерь, информация антиградиента передается от выходного слоя к предыдущим, слой за слоем - обратно к входному слою, обновляя все веса синапсов. Этот метод поиска глобального минимума получил название – метод обратного распространения ошибки (back propagation algorithm - BP) [8, 11, 12]. Уравнение для итерации обновления веса формулируется следующим образом:

$$w_{i+1} = w_i - \alpha \cdot \frac{\partial E}{\partial w_i}, \quad (4)$$

где: α – параметр скорости обучения.

Таким образом, с помощью градиентной информации НС может искать относительно оптимальные спуски на гиперповерхности потерь.

Обучение ИНС

Следующим шагом являлось обучение нейросети. Все этапы создания НС, обучения и проверки реализованы на программном языке Python в рамках среды Tensorflow [13]. Количество эпох устанавливалось равным 250. В процессе регуляризации случайным образом отобранные 90% входных данных назначались в качестве тренировочной выборки (training dataset) и 10% данных было оставлено для проверки (validation) качества работы модели. Поскольку разработанная нейросеть, легкая, ей требовалось примерно 10-15 секунд для обучения.

2 Мягкие вычисления. Генетический алгоритм

Методы оптимизации в общих чертах можно разделить на две категории: метод на основе градиентного спуска и метод без градиента. Метод на основе градиента, такой как метод Ньютона [14] (метод обратного распространения ошибки) или метод сопряженного градиента [15], трудно кодировать в сложной проблеме, в частности связанной с поиском оптимальных топологий, геометрий, и т.д. Генетический алгоритм (ГА), использующий метод оптимизации без градиента, может быть наиболее рационален.

Проектирование плиты на основании является, по сути, задачей выбора оптимальных геометрических параметров плиты при необходимости обеспечения определённого уровня самонапряжения (например, в центре плиты/заданных координатах). С другой стороны это и задача подбора оптимального состава бетона при известных (или «плавающих») параметрах описывающих контактные характеристики плиты и основания. На первом этапе работы нейросети была получена реакция плиты (НДС) в зависимости от воздействия входных параметров, которые указаны выше. На этапе 2, данные весов для наиболее оптимальной архитектуры (в частности это была сеть с 7x10x10x10 нейронами) помещались в код ГА для решения уже обратной оптимизационной задачи. При оптимальных весовых значениях (синапсов) подобранных НС, для определения напряжений в плите размером 4x4 м, ставилась задача получить оптимальную толщину плиты H , прочность бетона, значение самонапряжения в кондукторе (при однопроцентном ограничении расширению), контактные характеристики плиты с основанием, свободное расширение. Уровень самонапряжения назначался – 0,55 МПа, для удобства сравнения с результатами расчётов полученных по базовой физ.-мат. модели.

Механизм генетического алгоритма

Генетический алгоритм – это своего рода эвристический подход к поиску наиболее оптимального решения, имитирующий процесс эволюции в природе [16]. Поскольку ГА был построен по аналогии эволюции в живой природе, он

использует биологические термины [17]. ГА использует принцип «генетического» хранения информации, принцип «размножения» (crossing over), принцип «мутации» (mutation) и «естественного/искусственного отбора» (natural selection).

В самых общих чертах эволюция основана на следующих принципах:

1. Наследственная изменчивость (обеспечивается путем скрещивания и мутации).

2. Борьба за существование. В ходе внутривидовой борьбы организмы конкурируют за ограниченные ресурсы – пищевые, территориальные (в данном исследовании «пищевым» ресурсом являлась награда – оценка за приспособленность (fitness score), которую получала особь при верно выбранном пути к цели).

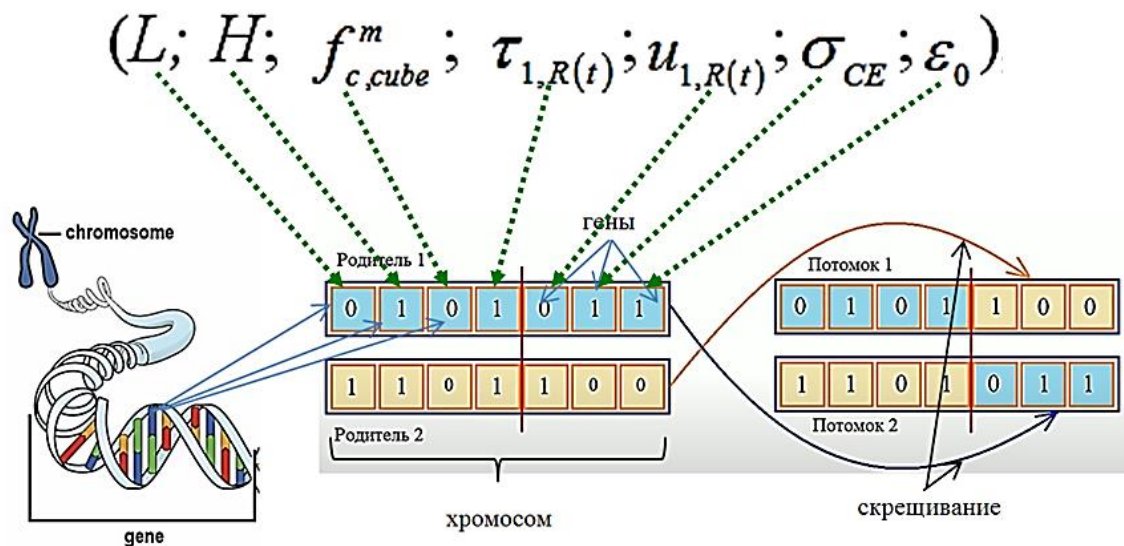
3. Естественный/искусственный отбор. Отбираются самые приспособленные, вместе с тем в новой популяции оставляется какое-то количество особей проигравших конкуренцию (из биологии известно, что особи проигравшие конкуренцию могут нести важную «генетическую» информацию, что при некоторых обстоятельствах, может дать выгодный эффект в будущем).

Основная идея ГА состоит в том, чтобы генерировать несколько решений случайным образом, а затем оценивать оптимальность решений, используя функцию приспособленности (fitness function).

Назначение генетических признаков для хромосом

В ГА особь с определёнными признаками записывается в виде вектора, называемого хромосомой. Как и в биологии в искусственной хромосоме содержится генетическая информация индивидуума. В данной работе хромосома представлена вектором признаков, который сохраняет информацию о новом решении в процессе эволюции. Каждая хромосома содержит семь ген - признаков ($L; H; f_{c,cube}^m; \tau_{1,R(t)}; u_{1,R(t)}; \sigma_{CE}; \varepsilon_0$), что означает, что вектор параметров имеет размерность 1×7 . Генетический алгоритм генерирует множество особей - хромосом за один раз, используя алгоритм случайных чисел и назначенный диапазон вакантных значений для признаков. Интервал возможной изменчивости гена, например, отвечавшего за среднюю прочность бетона, назначался в пределах от нуля до 40 МПа, толщина плиты от нуля до 0,3 м, и т.д. Таким образом, каждая хромосома с генами - признаками отличалась одна от другой. Все особи в одном поколении называются популяцией. В данном исследовании в силу небольшого числа ген в хромосоме эволюция составляла – 60 поколений популяций.

Чтобы генерировать следующую популяцию, особи «спариваются» друг с другом. При моделировании создавалось 40 особей - хромосом, из которых 2 пары наделялись возможностью скрещиваться. Не взаимодействовавшие особи переходили в следующее поколение без изменений. Ген потомства зависел от гена родительского поколения. При не бинарном кодировании новый ген (его значение) случайным образом отбирался из определённого интервала значений. После перемешивания (скрещивания) получался соответствующий ген родительской генерации. Упрощённая схема получения хромосомы нового поколения проиллюстрирована на рисунок 3.



а) – хромосом и ген в ГА, б) – скрещивание между хромосомами
Рисунок 3 – Упрощённая схема получения хромосомы нового поколения

Естественный отбор или селекция?

При эволюции популяции была использована процедура селекции. От нее зависит, с какой скоростью и будет ли вообще популяция двигаться к глобальному оптимуму или застрянет в локальном экстремуме. Известно несколько подходов селективного отбора: колесо рулетки, турнирный метод, ранговый метод, комбинированный метод, др.

Индивидуум с высоким уровнем приспособленности имеет большую вероятность быть выбранным. Особь с наименьшей приспособленностью отсеивается с наибольшей вероятностью. В данной работе использовался алгоритм наиболее устойчивого состояния (steady-state selection) для выбора особи переходящей в новое поколение [18]. Блок-схема генетического алгоритма показана на рисунок 4а. При вычислении оптимальных признаков хромосомы следующей популяции, чтобы избежать преждевременной сходимости алгоритма, вводилась мутация, вероятность которой принималась равной – 0,05.

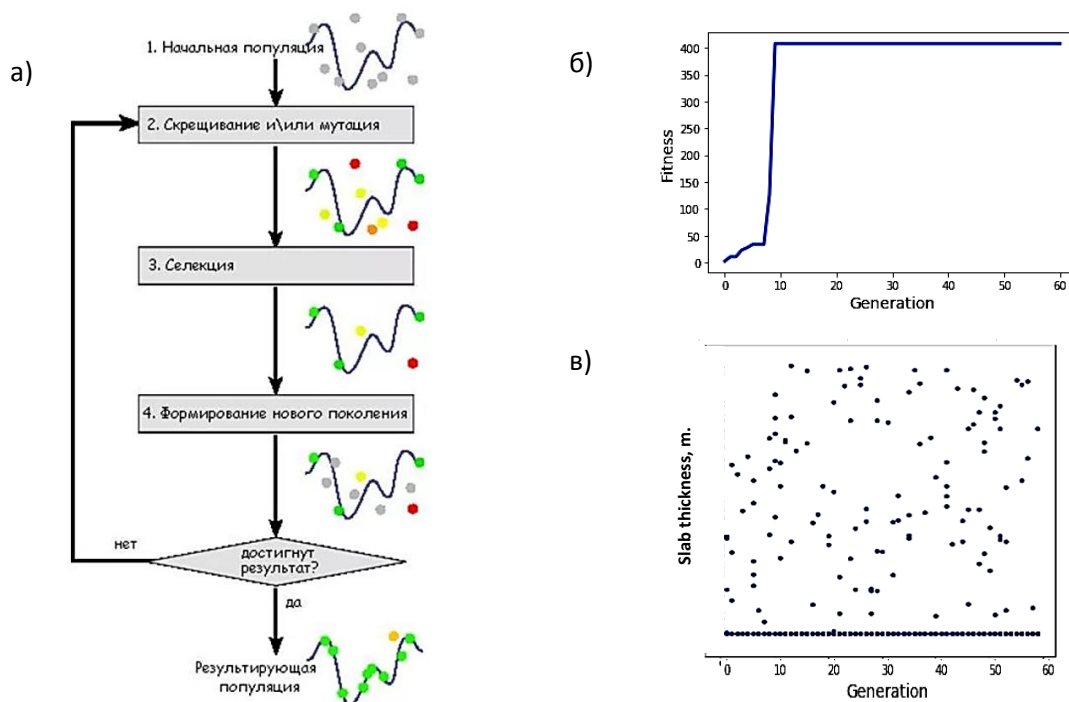
Включение/выключение генетических признаков

Важным преимуществом ГА является возможность управлять вариативностью требуемых ген. При необходимости определённые гены могут быть заблокированы для эволюционной изменчивости. Например, в данной работе блокировались гены, отвечавшие за длину плиты и за свободное расширение бетона. И наоборот, другим генам обеспечивалась возможность эволюционировать, например, генам ответственным за прочность бетона, самонапряжение, толщину плиты, и др.

Функция приспособленности

Функция приспособленности важнейшая при естественном или селективном отборе (рисунок 4б). Функция приспособленности представляет собой разрыв (степень приближения) между реакцией на входное воздействие (заданный уровень напряжения) хромосомы предыдущего поколения, к реакции хромосомы текущего поколения на тоже воздействие. На основе оценки приспособленности, алгоритм выбирает некоторое выдающееся решение. Когда (после

определённого количества итераций) показатель фитнес функции стабилизируется (выходит на минимальную изменчивость), считается, что популяция достигла оптимальности.



а) блок-схема генетического алгоритма, б) уровень приспособленности, достигнутый в процессе эволюции, в) эволюция гена ответственного за толщину плиты
Рисунок 4 – Блок-схема ГА и результаты эволюционной оптимизации

Нормализация

Для того, чтоб скрещивать особи между собой или манипулировать генами (нейронами) любым другим образом, гены (нейроны) должны быть выражены через безразмерный статистический показатель (используемый, как правило, для сравнения значений разной размерности). В математической статистике известен ряд методов: десятичное масштабирование, минимальная нормализация, нормализация средним (Z-нормализация). В работе была применена нормализация средним (в том числе и на первом этапе, для работы нейросети). Z-нормализация устанавливает среднее значение (математическое ожидание) и дисперсию для каждого гена (нейрона) и представляется формулой:

$$z = (x - \mu) / \sigma, \quad (7)$$

где: μ и σ – математическое ожидание (mean) и стандартное отклонение (standard deviation) соответственно.

Величины, полученные по формуле (7), называют Z-оценками (Z-scores). Z-score (переменная) соответствует количеству стандартных отклонений конкретного параметра до среднего значения. [19]. Нормализация для любого параметра z может быть представлена графически, как показано на рисунке 5.

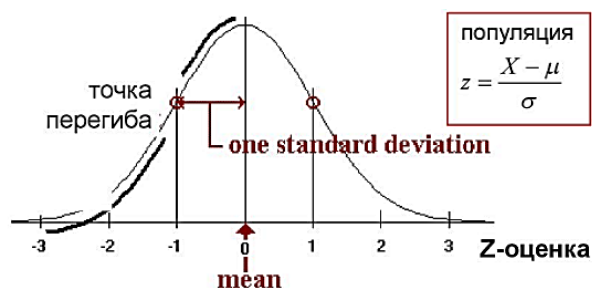
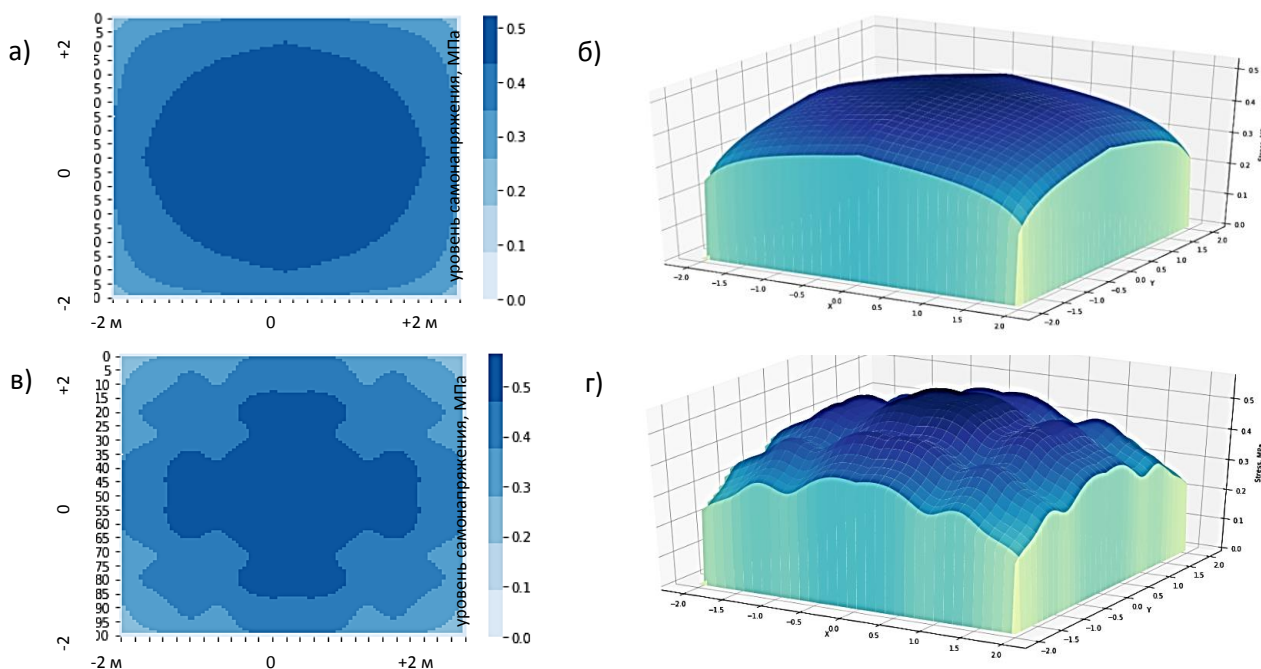


Рисунок 5 – Нормализация данных

Результаты

На рисунке 6, представлены результаты самонапряжений полученные при помощи НС (а, б) и ГА (в, г), в плите 4x4x0,1 м, для времени – 80 часов от затворения бетона.

ГА сгенерировал плиту 4x4 м, толщиной 0,100286 м (при этом геометрические размеры реальной физической полосы-плиты составляли – 4x0,1 м.). Самонапряжение при одноосном ограничении составило – 1,17 МПа (при этом в образцах-кондукторах самонапряжение на 80 час от затворения составляло – 0,81 МПа), прочность бетона на сжатие – 12,9 МПа (в экспериментах на сжатие на 80 час была достигнута прочность – 10,6 МПа), пиковое напряжение на контакте – 0,7 МПа (экспериментальное значение – 0,545 МПа), перемещение соответствующее этому напряжению – 19 мкм, (реальное значение – 18 мкм).



а, б) – нейросети; в, г) – генетического алгоритма.

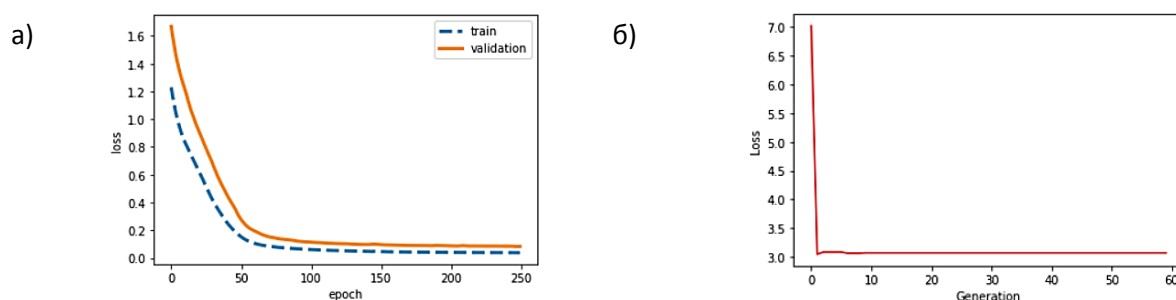
Рисунок 6 – Самонапряжение в плите 4x4x0,1 м. полученное при помощи:

Оценка точности

В ходе работы с нейросетью формировался отдельный файл .csv для тестовой выборкой данных. Было установлено, что наибольшая сходимость достигается при обучении нейросети с архитектурой 7x10x10x10 нейронов (функции потерь на тренировочной и валидационной выборках представлены на рисунке 7а).

По мере увеличения нейронов в промежуточных слоях потери в тестовой выборке непрерывно уменьшались и, для сети $7 \times 10 \times 10 \times 10$ достигли значения $E = 0,011$. Более того, для оценки точности прогнозирования напряжений с использованием НС дополнительно рассчитывалась относительная ошибка тестовой выборки. Относительная ошибка составила – 1,9%.

В процессе эволюции, в ходе работы с ГА, потери от поколения к поколению уменьшались, приближаясь к нулю, (рисунок 7б). Из графика потерь можно сделать вывод, что уже к третьему поколению модель достигла оптимального результата.



а) при обучении НС, б) при оптимизации с помощью ГА
Рисунок 7 – Функции минимизации ошибок

На рисунке 8 представлены результаты моделирования напряжений в плите $4 \times 4 \times 0,1$ м, при помощи базовой физ.-мат. модели (на базе экспериментальных данных), нейросети с архитектурой $7 \times 10 \times 10 \times 10$ нейронов и с использованием генетического алгоритма.

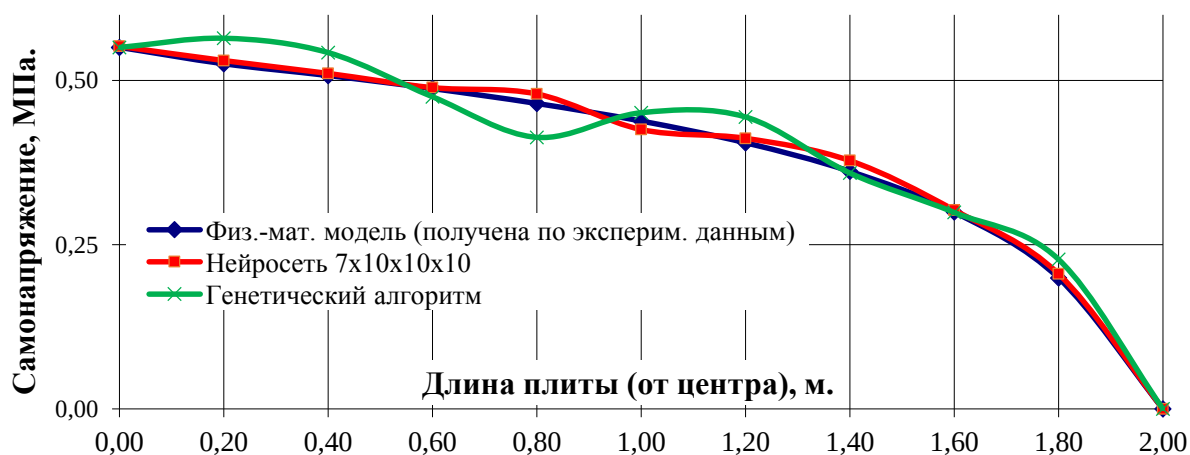


Рисунок 8. Самонапряжение на 80 час от момента затворения

Заключение

1. В настоящий момент жесткие вычисления являются практически безальтернативным средством описания процессов и явлений, они проверены практикой и чрезвычайно эффективны и, тем не менее, они не описывают непосредственно саму реальность. В случае несложных и линейных процессов, жесткие вычисления достигают порой почти 100% сходимостью с реальностью, однако сама реальность продолжает оставаться «вещью в себе». Мягкие вычисления (ос-

нованные на методах нечёткой логики, нейросетевых моделях, генетических алгоритмах), хоть и не раскрывают сути физических явлений, но воспринимая поток данных поступающих непосредственно из окружающей среды (при помощи датчиков, сенсоров, и т.д.), как бы нащупывают связь между ними. При этом если увеличивать плотность потока данных или иметь достаточно времени для наблюдений, то мягкие вычисления (НС, ГА) могут быть подстроены практически под любую задачу (имитируя работу нейронов и/или эволюцию в природе), при этом точность прогнозирования может превысить точность традиционных алгоритмов (особенно в области моделирования нелинейных процессов). Вместе с тем, на определённом этапе (при недостатке экспериментальных данных, этапе предварительной настройки параметров), нейросеть и ГА могут тестироваться и на данных сгенерированных при помощи традиционных физико-механических моделей.

2. Для определения самонапряжения в плитах на основании была разработана и обучена полносвязная нейросеть с архитектурой 7x10x10x10 нейронов в слоях. На тестирующей выборке, для плиты 4x4x0,1 м. была достигнута высокая сходимость с физ.-мат. моделью. Среднеквадратичная ошибка составила – 0,011. Относительная ошибка составила – 1,9%.

3) При проектировании плиты, при заявленном требовании обеспечения самонапряжения в центре плиты на уровне 0,55 МПа (как в плите, из тестовой выборки НС) при помощи ГА была сгенерирована плита размерами 4x4x0,100286 м. Самонапряжение в центре плиты составило – 0,549 МПа, при этом максимальная приспособленность генетических признаков была достигнута уже к десятому поколению. Это свидетельствует, что для данного класса задач, изначально назначенные 60 поколений эволюционного процесса несколько избыточны и в дальнейшем могут быть пересмотрены в сторону уменьшения без существенной потери точности для решения.

Список цитированных источников

1. Разница между мягкими вычислениями и жесткими вычислениями. Progler. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://progler.ru/blog>. – Дата доступа: 10.11.2022.
2. Zadeh, Lotfi A., «Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing», Communications of the ACM, March 1994, Vol. 37 No. 3, pages 77-84.
3. Разница между мягкими вычислениями и жесткими вычислениями. Surveillancepackages. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru1.surveillancepackages.com/difference-between-soft-computing-and-hard-computing-4b2a>. – Дата доступа: 11.11.2022.
4. Игорь Н. фон Бекман / Нелинейная динамика сложных систем: теория и практика. Метанаука. Эволюция систем. Материалы к курсу лекций и учебнику / МГУ, Москва – 2018, С. 613
5. Применение интеллектуальной обработки информации Soft Computing в физике. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://spacelab.mininuniver.ru>. – Дата доступа: 12.11.2022.
6. Shin H.C, Roth H.R, Gao M, et al. Deep convolutional neural networks for computer-aided detection: CNN architectures, dataset characteristics and transfer learning [J]. IEEE transactions on medical imaging, 2016, 35(5): pp. 1.285–1.298.
7. Желткович, А.Е. Расчёт вынужденных перемещений и напряжений от усадки в монолитных бетонных плитах, взаимодействующих с основанием / А. Е. Желткович, В. В. Тур // Строительная наука и техника. – 2011. – № 2 (35) : – С. 120–125.
8. Chen H, Lu F, He B. Topographic property of backpropagation artificial neural network: From human functional connectivity network to artificial neural network [J]. Neurocomputing, 2020, 418: 200-210.

9. Adam: A Method for Stochastic Optimization. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/1412.6980>. – Дата доступа: 14.11.2022.
10. Функции активации нейросети: сигмоида, линейная, ступенчатая, ReLu. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/activation-functions>. – Дата доступа: 14.11.2022.
11. Галушкин А. И. Синтез многослойных систем распознавания образов. — М.: «Энергия», 1974.
12. Werbos P. J. Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences. Ph.D. thesis, Harvard University, Cambridge, MA, 1974.
13. Citing TensorFlow. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tensorflow.org/about/bib>. – Дата доступа: 16.11.2022.
14. Polyak B T. Newton's method and its use in optimization [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 181(3): pp. 1.086–1.096.
15. Nazareth J. L. Conjugate gradient method [J]. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 2009, 1(3): pp. 348–353.
16. Katoch S, Chauhan S.S, Kumar V.A. Review on genetic algorithm: past, present, and future [J]. Multimedia Tools and Applications, 2021, 80(5): pp. 8.091–8.126.
17. Safitri A.R, Muslim M.A. Improved accuracy of naive bayes classifier for determination of customer churn uses smote and genetic algorithms [J]. Journal of Soft Computing Exploration, 2020, 1(1): 70-75.
18. Qian W, Chai J, Xu Z, et al. Differential evolution algorithm with multiple mutation strategies based on roulette wheel selection[J]. Applied Intelligence, 2018, 48(10): pp. 3.612–3.629.
20. Нормализация данных (Data normalization). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wiki.loginom.ru/articles/data-normalization>. – Дата доступа: 15.11.2022.

References

1. Raznica mezhdu myagkimi vychisleniyami i zhestkimi vychisleniyami. Progler. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://progler.ru/blog>. – Data dostupa: 10.11.2022.
2. Zadeh, Lotfi A., «Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing», Communications of the ACM, March 1994, Vol. 37 No. 3, pages 77-84.
3. Raznica mezhdu myagkimi vychisleniyami i zhestkimi vychisleniyami. Surveillancepackages. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://ru1.surveillancepackages.com/difference-between-soft-computing-and-hard-computing-4b2a>. – Data dostupa: 11.11.2022.
4. Igor' N. fon Bekman / Nelinejnaya dinamika slozhnyh sistem: teoriya i praktika. Metanauka. Evolyuciya sistem. Materialy k kursu lekcij i uchebniku / MGU, Moskva – 2018, С. 613
5. Primenenie intellektual'noj obrabotki informacii Soft Computing v fizike. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://spacelab.mininuniver.ru>. – Data dostupa: 12.11.2022.
6. Shin H.C, Roth H.R, Gao M, et al. Deep convolutional neural networks for computer-aided detection: CNN architectures, dataset characteristics and transfer learning [J]. IEEE transactions on medical imaging, 2016, 35(5): pp. 1.285–1.298.
7. Zheltkovich, A.E. Raschyot vyznuzhdennyh peremeshchenij i napryazhenij ot usadki v monolitnyh betonnyh plitah, vzaimodejstvuyushchih s osnovaniem / A. E. Zheltkovich, V. V. Tur // Stroitel'naya nauka i tekhnika. – 2011. – № 2 (35) : – S. 120–125.
8. Chen H, Lu F, He B. Topographic property of backpropagation artificial neural network: From human functional connectivity network to artificial neural network [J]. Neurocomputing, 2020, 418: 200-210.
9. Adam: A Method for Stochastic Optimization. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://arxiv.org/abs/1412.6980>. – Data dostupa: 14.11.2022.
10. Funkcii aktivacii nejroseti: sigmoida, linejnaya, stupenchataya, ReLu. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/activation-functions>. – Data dostupa: 14.11.2022.
11. Galushkin A. I. Sintez mnogoslojnyh sistem raspoznavaniya obrazov. — М.: «Energiya», 1974.

12. Werbos P. J. Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences. Ph.D. thesis, Harvard University, Cambridge, MA, 1974.
13. Citing TensorFlow. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.tensorflow.org/about/bib>. – Data dostupa: 16.11.2022.
14. Polyak B T. Newton's method and its use in optimization [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 181(3): pp. 1.086–1.096.
15. Nazareth J. L. Conjugate gradient method [J]. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 2009, 1(3): pp. 348–353.
16. Katoch S, Chauhan S.S, Kumar V.A. Review on genetic algorithm: past, present, and future [J]. Multimedia Tools and Applications, 2021, 80(5): pp. 8.091–8.126.
17. Safitri A.R, Muslim M.A. Improved accuracy of naive bayes classifier for determination of customer churn uses smote and genetic algorithms [J]. Journal of Soft Computing Exploration, 2020, 1(1): 70-75.
18. Qian W, Chai J, Xu Z, et al. Differential evolution algorithm with multiple mutation strategies based on roulette wheel selection[J]. Applied Intelligence, 2018, 48(10): pp. 3.612–3.629.
19. Normalizaciya dannyh (Data normalization). [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://wiki.loginom.ru/articles/data-normalization>. – Data dostupa: 15.11.2022.

СЕКЦИЯ 2
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
И ПРИРОДООБУСТРОЙСТВО:
ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА, ИНФОРМАЦИОННЫЕ
И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

СОВРЕМЕННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С МЕЛИОРАЦИЕЙ ЗЕМЕЛЬ

Р. В. Асаулов¹

¹ *Магистрант, преподаватель-стажер кафедры природообустройства
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
e-mail : roma_valerievich_00@mail.ru*

Реферат

В работе рассматриваются экологические проблемы, образующиеся в результате проведения различных видов мелиорации. Целью работы является оценка влияния мелиорации земель на окружающую среду.

Ключевые слова: мелиорация, осушение, орошение, сельскохозяйственные земли, экология, засоление, эрозия, подтопление, деградация, гидротехнические сооружения, вода.

CURRENT ENVIRONMENTAL PROBLEMS ASSOCIATED WITH LAND RECLAMATION

R. V. Asaulau

Abstract

The paper deals with current environmental problems resulting from various types of land reclamation. The purpose of the work is to assess the impact of reclamation systems on the environment.

Keywords: land reclamation, drainage, irrigation, agricultural land, ecology, salinization, erosion, flooding, degradation, hydraulic structures, water.

Введение

В настоящее время развитие мелиорации земель в Республике Беларусь регламентируется целым рядом нормативно-правовых актов. Основными из них являются: Закон Республики Беларусь «О мелиорации земель» (2008 г.) и государственная программа «Аграрный бизнес» на 2021–2025 годы (подпрограмма 7 «Развитие мелиорации земель сельскохозяйственного назначения»). Данные документы формулируют основную цель мелиорации земель в Республике Беларусь как устойчивое биосферно-совместимое повышение продуктивности сельскохозяйственных угодий с устранением или исправлением неблагоприятных для хозяйственной деятельности природных условий. Это может достигаться путем сочетания и дифференцирования различных видов, методов и способов мелиорации для конкретных участков с применением ресурсосберегающих и природоохранных технологий.

Мелиорация земель способствует сохранению и повышению плодородия почвы, росту урожайности, устойчивости земледелия, смягчению воздействия колебаний погодно-климатических условий на результаты сельскохозяйственного производства. Водные мелиорации (осушение и орошение) – один из основных путей повышения урожайности сельскохозяйственных угодий, занимающих на

планете 10 % площади суши. В результате крупномасштабной мелиорации, проведенной во второй половине XX века, Белорусское Полесье превратилось в один из развитых индустриально–аграрных регионов республики. Это сыграло важную роль в интенсификации сельского хозяйства в этом регионе [1].

Наличие заболоченных массивов и избыточное увлажнение значительной части территории является характерной особенностью Беларуси. Это вызвано превышением среднесуточных осадков над испарением, а также малыми уклонами земной поверхности и, соответственно, рек-водоприемников на территории Полесья, западным рельефом и низкой водопроницаемостью почв в северных регионах. Несмотря на это, во время вегетации растений достаточно часто наступают засушливые периоды.

Природно-климатические и почвенные условия Беларуси оказывали постоянное воздействие на развитие сельскохозяйственного производства и отчасти сдерживали его. Начиная с X–XII веков, когда земледелие стало основой хозяйственной деятельности человека, расширение посевных площадей было существенно ограничено. Большая часть территории была покрыта лесами, болотами и озерами. Проблема также усугублялась из-за непрерывного роста заболоченных земель. Расширение посевных площадей проводилось главным образом путем освоения залесенных участков подсечно-огневым способом. На протяжении длительного периода увеличение площади обрабатываемых земель шло за счет участков, которыми можно было пользоваться при относительно малых затратах труда и средств. Однако развитие культурных отношений, рост численности населения потребовали значительного расширения сельскохозяйственных угодий [2].

Осушительная мелиорация земель в Беларуси, как и в других странах, проводилась с целью вовлечения в сельскохозяйственный оборот потенциально плодородных заболоченных земель, представленных в значительной части торфяниками, а также для создания условий расширенного воспроизводства почвенного плодородия на сельскохозяйственных угодьях в тех районах, где лимитирующим фактором плодородия являлось периодическое или постоянное переувлажнение. Основная задача состояла в том, чтобы с помощью мелиорации придать устойчивость сельскохозяйственному производству, повысить эффективность применения других факторов его интенсификации, включая использование удобрений и средств механизации [3].

Основным способом орошения сельскохозяйственных угодий в условиях Республики Беларусь является дождевание, как наиболее прогрессивный, технический совершенный и распространенный в развитых странах мира. С учетом специфики зоны неустойчивого увлажнения, куда относится и наша республика, разработаны мероприятия по осуществлению качественного полива, включающие способ мелиоративной обработки почвы и целый ряд новых дождевальных аппаратов и устройств [4].

Роль мелиорации земель в Республике Беларусь с ростом экономического потенциала будет только повышаться. При освоении всего мелиоративного фонда объем сельскохозяйственной продукции с мелиорированных земель может достичь 75–85 % от его валового объема [5].

По данным реестра земельных ресурсов, по состоянию на 1 января 2021 г. общая площадь земель в Беларуси составляет 20 760,9 тыс. га, в том числе сельскохозяйственных земель – 8283,9 тыс. га (39,90 % территории страны), из них пахотных – 5660,0 тыс. га (68,3 % от общей площади сельскохозяйственных земель), луговых – 2520,8 тыс. га (30,4 % соответственно), залежных – 3,1 тыс. га (0,1 %), под постоянными культурами – 100 тыс. га (1,2 %). Среди луговых земель 1767,3 тыс. га (70,1 %) составляют улучшенные [6].

Основная часть мелиорированных земель (62 %) приходится на Брестскую, Гомельскую и Минскую области. В 22 районах Беларуси мелиорированные земли, составляющие более 50 % площади сельскохозяйственных земель, обеспечивают производство основной доли продукции растениеводства. Более половины мелиорированных сельскохозяйственных земель занимают земли с песчаными и супесчаными почвами, что требует проведения культуртехнических мероприятий. Основная доля таких земель приходится на Брестскую и Гомельскую области [7]. В Витебской и Могилевской областях, а также в северной части Минской области, среди осушенных земель преобладающими являются связные минеральные (суглинистые и глинистые) почвы. Наиболее высокая распаханность осушенных сельскохозяйственных земель (удельный вес пахотных земель) – в Витебской (72,9 % от общей площади осушенных сельскохозяйственных земель области), Гомельской (55,5 %) и Минской (52,8 %) областях. Доля улучшенных луговых земель в Витебской (22,46 % от общей площади осушенных сельскохозяйственных земель области), Могилевской (37,56 %) и Гомельской (38,24 %) областях меньше, чем в среднем по стране (41,60 %). Здесь отмечается дефицит высокопродуктивных сенокосов и пастбищ.

По данным международного комитета по ирригации и дренажу, доля мелиорированных земель по состоянию на 2016 г. в Англии составляет 80 %, Китае – 55 %, Германии – 45 %, США – 39 %, Индии – 36 %. В то же время доля имеющихся мелиорированных земель в России в 2016 г. составила 8,1 %, но при этом, по данным академика А. В. Петрикова, доля фактически действующих мелиоративных систем в используемых сельскохозяйственных угодьях в 2016 г. составила 1,3 %. Наиболее резкий прирост орошаемых площадей зафиксирован в двух самых густонаселенных странах мира – Китае и Индии. Анализ природно-климатических условий в США и России показывает, что в США 60 % пашни имеют более 700 мм естественных осадков, в то время как в России такие площади составляли 11,0 % [8].

Охрана окружающей среды от загрязнения, деградации, истощения, уничтожения, негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности является одной из важнейших проблем настоящего времени, при этом объектами охраны природы признаны не только земли, недра, но и почвы. Мелиоративные системы, как составная часть агроландшафта, обязаны быть в полной взаимосвязи с окружающей средой и допустимыми минимальными антропогенными воздействиями на ее компоненты. Отрицательное влияние мелиоративных систем на окружающую среду происходит вследствие нарушения установившегося равновесия природных процессов. Некоторые из этих явлений неизбежны, но зная закономерности природных процессов, большинство из них можно предотвратить. Поэтому осуществление мелиоративного контроля необходимо

на осушаемых и орошаемых землях в процессе мониторинга мелиорируемых земель [9].

Основными задачами мелиоративного контроля являются: эффективность мелиоративных мероприятий, оценка мелиоративного состояния земель, достоверность почвенно-мелиоративных прогнозов и мелиоративных расчетов; установление направленности почвенно-мелиоративных процессов; разработка необходимых эксплуатационных, гидротехнических и других мелиоративных мероприятий, обеспечивающих высокое и устойчивое плодородие почв. Информация, полученная в ходе мелиоративного контроля, также используется при разработке природоохранных мер в зоне влияния мелиоративных систем на компоненты окружающей природной среды.

Материалы и методы

В работе использованы статистические данные Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. Объектом исследования являются экологические проблемы, которые образуются при проведении мелиорации земель.

Результаты и обсуждение

Природоохранными объектами на мелиоративных системах являются земля, почвы, поверхностные и подземные воды, растительный, животный мир. Земля как природный ресурс, выполняет две важнейшие функции: выступает в качестве средства производства в сельском и лесном хозяйстве и как пространственно-территориальный базис в различных отраслях экономики страны. В сельском хозяйстве она является основным и незаменимым средством производства, поэтому плодородие почв здесь выступает как первостепенный объект охраны. Охрана земель представляет собой направление природоохранной деятельности, обеспечивающей рациональное и целевое землепользование, предотвращение и (отчасти) устранение последствий негативных воздействий и процессов, ухудшающих состояние и потребительские свойства земель.

Основными негативными воздействиями мелиоративных систем на землю и почву является засоление, подтопление, а также эрозия и деградация почв. Засоление и подтопление орошаемых земель обуславливается за счёт высокого залегания или подъема уровня грунтовых вод, последующим капиллярным подъемом их и испарением с поверхности почвы; использованием для полива сельскохозяйственных культур вод повышенной минерализации [9]. Однако засоление не является характерной проблемой мелиорируемых почв исследуемой территории в связи с крайне низкой долей орошаемых земель.

Эрозия почв подразумевает явление или совокупность процессов разрушения, отрыва, измельчения, транспортирования и отложения частиц почв или грунтов (почвогрунтов) временными поверхностными водными или ветровыми потоками. Проявление водной эрозии почв относится к наиболее действенному и существенному фактору, определяющему деградацию сельскохозяйственных земель республики. Это негативно влияет как на физические, так и на химико-биологические процессы, протекающие в почвах, что обуславливает заметное снижение продуктивности возделываемых на них сельскохозяйственных куль-

тур. Проявление водной эрозии почв на сельскохозяйственных землях является важнейшим фактором, обуславливающим снижение их производительной способности и отрицательно влияющим в целом на эффективность растениеводческой отрасли. Прежде всего, это касается пахотных и улучшенных луговых земель Беларуси, подверженных водной эрозии, площадь которых составляет более 470,0 тыс. га. По данным многолетних научных исследований БелНИИ почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, снижение урожайности зерновых культур в зависимости от степени смыва почв на склоновых землях составляет от 12 % до 40 %, пропашных – 20–60 %, льна – 15–50 %, многолетних трав – 5–20 %. В связи с этим в кадастровой оценке сельскохозяйственных земель установлены понижающие поправочные коэффициенты на эродированность к баллу бонитета почв, которые составили для слабосмытых почв – 0,884, среднесмытых – 0,736 и сильносмытых почв – 0,609. Необходимо отметить, что до настоящего времени основное внимание уделялось изучению свойств, пространственных закономерностей, плодородия, производительной способности таких почв и обоснованию противоэрозионных мероприятий по предотвращению смыва и их рационального использования. При этом малоизученным остается вопрос определения размеров стоимости ущерба, наносимого почвам в результате проявления процессов водной эрозии. В последнее десятилетие, учитывая глобальный характер расширения масштабов деградации земель, наблюдается заметная активизация исследований в этой области на глобальном уровне, отдельных государств и регионов [10].

Водная мелиорация является наиболее распространенным мероприятием и радикальным способом борьбы с засухливостью и избытком влаги. Гидромелиорация, как правило, позволяет устранить диспропорцию в соотношении влияния природных факторов и создать оптимальный режим тепла и влаги, необходимый для земледелия. Однако при этом одной из серьезнейших проблем является неблагоприятное, часто необратимое, изменение естественной гидрографической сети и водосборов рек. Имеет место изменение не только водности рек, но и динамики русловых процессов, морфологии русел рек и некоторых других гидрографических и гидрологических параметров водных объектов. В результате проведения мелиоративных мероприятий могут происходить коренная трансформация русел малых водотоков и превращение их в совершенно новые природно-антропогенные водные образования (объекты), функционирующие уже не только и не столько в результате канализированного движения поверхностных вод, сколько при участии механизмов (насосных станций) их принудительной транспортировки [11].

Рассмотрим еще один элемент мелиоративной системы, а именно гидротехнические сооружения (ГТС). В процессе своей эксплуатации гидротехнические сооружения, в том числе водохранилища, влияют на природную и антропогенную среду, включая режим водотока, абиотические (климат, воздух, почвы) и биотические (животный и растительный мир) факторы природной среды, хозяйственную деятельность человека (сельское, рыбное хозяйство, водоснабжение, судоходство) и социально-демографическую сферу. Изменение водного режима реки в результате зарегулирования стока может приводить к сокращению площади поймы и изменению баланса вещества на водосборе ниже водо-

хранилища. По масштабам техногенного воздействия на окружающую среду, сооружение водохранилищ относится к наиболее крупным. Многие гидротехнические сооружения привели к деградации речных экосистем. При этом снижается проточность воды, способность к самоочищению и биопродуктивность водоема, возрастает эвтрофия.

Одна из негативных проблем – заиление водохранилищ. Поскольку проточность воды низкая, мощность илов возрастает в среднем до 3 см в год, в то время как в крупных озерах – в 10 раз меньше. Вследствие снижения паводковых расходов происходит обезвоживание пойменных земель. Активизируются процессы суффозии и абразии. В зоне водохранилищ происходят локальные изменения климата: смягчается температурный режим, возрастает влажность воздуха, усиливается скорость ветра и меняется его направление, возможно образование туманов [12].

Достаточно часто происходит отчуждение плодородных земель для строительства гидротехнических сооружений. В процессе строительства ГТС происходит нарушение и загрязнение поверхности прилегающих земель. На подтопленных территориях снижается продуктивность и кормовая ценность земельных угодий.

Создание водохранилищ ведет к изменению природных условий территории и часто приводит к сокращению биологического разнообразия существующих видов животных и растений. На затопленной площади погибает растительность, служившая пищей множеству травоядных животных, что влечет за собой их миграцию или гибель от голода. Нарушается пищевая цепь и для хищников, вынужденных мигрировать или же искать новые ресурсы для пищи. Множество животных гибнет при затоплении водохранилища, в том числе и виды, имеющие особый охранный статус. Остальные вынуждены приспосабливаться к измененным условиям обитания, что снижает численность их популяций. Тем более, что большая часть животных предпочитает жить именно в пойменной части рек.

Изменения климата в районе гидротехнического сооружения, качества воздуха и питьевой воды могут негативно отразиться и на состоянии здоровья населения. В связи с этим при проектировании ГТС большое внимание должно уделяться прогнозированию и учету социально-демографических и медико-биологических процессов, а также мерам по снижению вероятности возможных конфликтных ситуаций в районе предполагаемого строительства. Возможно, что ожидаемый экономический эффект может быть гораздо меньшим, чем спровоцированная строительством социально-демографическая ситуация [12].

Осушительная мелиорация стала также важнейшим техногенным фактором, обусловившим количественные и качественные изменения растительного мира в центральной части Белорусского Полесья. С её помощью, была охвачена и трансформирована значительная часть территории, что в итоге привело к изменению ландшафтной структуры в регионе. На протяжении второй половины XX столетия крупные болотные массивы были осушены в бассейнах притоков Припяти. Обширная пойма данной реки также была подвергнута существенной трансформации – обвалованию, созданию польдерных систем, окультуриванию естественных лугов и другим преобразованиям. В результате масштабных ме-

лиоративных работ резко изменилось соотношение между площадями болот, заболоченных лесов и лугов, а также сельскохозяйственных угодий в пользу последних. В совокупности эти локальные структурные и качественные антропогенные изменения привели к региональной динамике растительности. На огромных площадях трансформировались гидрофильные сообщества, которые, чаще всего, заменились менее гидрофильными и мезофильными или были уничтожены полностью с последующим созданием культурных агрофитоценозов. Произошла также ксерофитизация естественной растительности и ее флористического состава. Существенным изменениям подверглись также земли, прилегающие к мелиорированным угодьям. Осушение заболоченных территорий привело к уменьшению количества мест произрастания ряда редких болотных видов, имеющих узкую экологическую амплитуду, а также к полному исчезновению некоторых из них из состава региональной флоры [13].

Особый интерес представляют современные изменения климатических и агроклиматических показателей на осушенных и освоенных торфяниках Полесья по сравнению с минеральными почвами. Последствия изменения микроклимата на территории осушенных торфяно-болотных почв достаточно хорошо изучены. Осушение торфяно-болотных почв, как известно, в первую очередь вызывает изменения их теплофизических свойств (теплопроводности, теплоемкости, влагопроводности и т. д.). Понижение теплопроводности и повышение в 2,0–2,5 раза объемной теплоемкости торфяных почв по сравнению с минеральной приводит к их значительному прогреву в дневное время и охлаждению в ночные часы, в результате чего увеличивается количество заморозков и замедляется прогрев пахотного слоя весной, повышается альбеда и уменьшается радиационный баланс. Суммарное испарение выше на болотах, интенсивно освоенных под посевы сельскохозяйственных культур, особенно в первой половине теплого периода. Однако после уборки урожая в конце лета воздух на освоенном болоте становится более теплым и сухим. При этом температура воздуха на осушенных торфяниках в целом остается ниже, чем на неосушенных торфяниках и минеральных почвах [14].

Несмотря на общие тенденции изменения климатических показателей в результате потепления климата, на мелиорированных торфяных почвах сохраняются более экстремальные условия для возделывания сельскохозяйственных культур, в отличие от минеральных. Изменения отдельных климатических показателей на осушенных торфяных почвах (продолжительность и интенсивность заморозков, повторяемость дней с сочетанием минимальной температуры воздуха -20°C и ниже и высоты снега 10 см и менее) по своей величине превосходят изменения, вызванные общими тенденциями. Полученные результаты необходимо учитывать при возделывании сельскохозяйственных культур на мелиорированных торфяных почвах.

Заключение

В итоге можно сделать вывод о том, что мелиорация земель, построенные мелиоративные системы оказывают не только положительное, но и отрицательное воздействие на окружающую среду. Несмотря на имеющиеся разработки проблем охраны окружающей среды в связи с мелиорацией, в настоящее время су-

ществует ряд фактов отрицательных последствий, особенно гидротехнических мелиораций. Основной причиной выступает недоучёт природных особенностей мелиорируемых территорий.

Список цитированных источников

1. Орешникова, О. В. К вопросу об эффективном использовании мелиорированных земель / О. В. Орешникова, Г. А. Смальцар // Устойчивое развитие экономики: состояние, проблемы, перспективы. – 2014. – С. 87–89.
2. Желязко, В. И. Начало мелиоративной науки и мелиоративного образования в Беларуси / В. И. Желязко, П. У. Равовой, К. П. Сучков // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2010. – № 4. – С. 24–29.
3. Лихацевич, А.П. Повышение эффективности мелиоративного комплекса Беларуси / А. П. Лихацевич и др. // Мелиорация. – 2004. – № 1. – С. 7–22.
4. Голченко, М. Г. Совершенствование научно-практических основ оросительных мелиораций на минеральных почвах Республики Беларусь / М. Г. Голченко // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 2. – С. 123–129.
5. Желязко, В. И. Научно-практические и экологические аспекты орошения земель в Беларуси / В. И. Желязко, В. М. Лукашевич // Мелиорация и водное хозяйство. – 2021. – № 2. – С. 36.
6. Анженков, А. С. Состояние мелиоративных систем в Беларуси: задачи и перспективы / А. С. Анженков, Н. Н. Линкевич // Мелиорация. – 2022. – № 1. – С. 5–12.
7. О Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021-2025 годы : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 1 февр. 2021 г., № 59 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/-C22100059_1612904400.pdf. – Дата доступа: 20.11.2022.
8. Щедрин, В. Н. Концептуально-методологические принципы (основы) стратегии развития мелиорации как национального достояния России / В. Н. Щедрин, С. М. Васильев // Мелиорация и гидротехника. – 2019. – № 1 (33). – С. 1–11.
9. Ткачева, О. А. Охрана земель в зоне влияния мелиоративных систем / О. А. Ткачева // Bulletin of the South-Russian state technical University (NPI) Series Socio-economic Sciences. – 2014. – № 1. – С. 138–142.
10. Тишкович, О. В. Эколого-экономическая оценка ущерба от водной эрозии почв сельскохозяйственных земель административных районов Беларуси / О. В. Тишкович, В. М. Яцухно // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 3. – С. 212–216.
11. Ахремчик, А. М. Влияние мелиорации на изменение русел малых рек (на примере р. Юрчим) / А. М. Ахремчик, Н. Н. Назаров // Актуальные вопросы геологии и географии. Труды Томского государственного университета. Серия геолого-географическая. – 2010. – Т. 277. – С. 8–10.
12. Зарубин, В. В. Борьба с негативным воздействием мелиоративных гидротехнических сооружений на окружающую среду / В. В. Зарубин, А. А. Ткачев, И. В. Батищев // Евразийский союз ученых. – 2016. – № 1–2 (22). – С. 146–149.
13. Природообустройство Полесья : монография : в 4 кн. / под общ. науч. ред. Ю. А. Мажайского, А. Н. Рокочинского, А. А. Волчека, О. П. Мешика, Е. Езнаха. – Рязань : Мещер. ф-л ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», 2019. – Кн. 1 : Белорусское Полесье. – Т. 2 : Преобразование и использование природных ресурсов. – 503 с.
14. Данилович, И. С. Современные изменения климата Белорусского Полесья: причины, следствия, прогнозы / И. С. Данилович, В. И. Мельник, Б. Гейер // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2020. – № 1. – С. 3–13.

ПРИМЕНЕНИЕ ОЗОНОФЛОТАЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

С. Г. Белов¹, М. А. Таратенкова², Г. О. Наумчик³

¹ К. т. н., доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь

² Старший преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов, УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : taratenkava@mail.ru

³ Старший преподаватель кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь

Реферат

Данная статья содержит сведения о применении метода озонифлотации для очистки сточных вод, который является новым и перспективным в настоящее время. Данный метод позволяет не только обеззараживать сточную воду, но и окислять стойкие к биологическому окислению соединения, в том числе и лекарственные препараты. Флотационная очистка позволяет так же решать вопрос с очисткой сточной воды от активного ила, в случае его выноса из вторичных отстойников. В работе представлена схема озонифлотационной установки и содержится подробное описание принципа действия данной установки.

Ключевые слова: сточные воды, лекарственные препараты, озонифлотация, пеногашение

USE OF OZONOFLOTATION FOR WASTEWATER TREATMENT

S. G. Belov, M. A. Taratenkava, G. O. Naumchik

Abstract

This article contains information about the application of the ozone flotation method for wastewater treatment, which is new and promising at the present time. This method allows not only to disinfect wastewater, but also to oxidize compounds resistant to biological oxidation, including drugs. Flotation treatment also allows you to solve the issue of wastewater treatment from activated sludge, in case of its removal from the secondary settling tanks. The paper presents a diagram of an ozone flotation plant and contains a detailed description of the principle of operation of this plant.

Keywords: wastewater, drugs, ozonoflotation, defoaming.

Введение

В последние годы появился интерес к применению озона для обработки сточных вод, в связи с его меньшим воздействием на водные объекты, которые являются приемниками сточных вод. Дезинфекция озоном идет намного быстрее,

чем хлором. Продолжительность контакта обрабатываемой воды с озоном 5-10 минут. В отличие от хлора, озон кроме бактерий также уничтожает вирусы [3, 5, 6]. Озон не только обеззараживает обрабатываемую сточную воду, но и окисляет содержащиеся в ней органические вещества, которые не могут быть удалены биологической очистки [1, 3, 8]. Использование озонофлотационных камер для введения озона позволяет повысить эффективность озонирования в связи с тем, что процесс флотации обеспечит дополнительную очистку и гарантирует задержание взвешенных веществ, которые могут выноситься из вторичных отстойников при сбоях в работе сооружений биологической очистки воды.

Еще одной проблемой является наличие в природных водах лекарственных препаратов. Причинами тому является неправильная утилизация фармацевтических препаратов (происходит непосредственный слив данных препаратов в канализацию), а также не оспорим тот факт, что после приема внутрь многие лекарственные препараты проходят через организм человека и выводятся вместе с мочой и попадают в канализацию. Поэтому полностью исключить попадание фармацевтических препаратов в городские сточные воды невозможно [7]. Начиная с середины 1990-х присутствие лекарственных препаратов в природных экосистемах стали рассматривать как новую экологическую проблему. Этот период ознаменовался не только развитием производства и ростом потребления лекарств, но и активным внедрением новых аналитических методов, в частности высокочувствительной и высокоселективной хроматографии и масс-спектрометрии, позволяющих выявлять даже следовые количества лекарственных средств. Фармацевтическое загрязнение окружающей среды тесно связано с ростом потребления медикаментов, чему в свою очередь, способствуют такие факторы как демографическое старение, все большее распространение хронических заболеваний, доступность недорогого лечения и появления новых лекарственных препаратов. С экологической точки зрения ключевые этапы жизненного цикла лекарственных средств включают производство и потребление, а также управление отходами. Загрязнение окружающей среды возможно на каждом из этапов, однако, основная часть приходится на процесс использования. Установлено, что от 30 до 90% орально применяемых препаратов и их производных попадают в виде активных метаболитов во внешнюю среду в составе мочи (в среднем $64 \pm 27\%$); часть продуктов метаболизма лекарственных препаратов выводится с каловыми массами (в среднем $35 \pm 26\%$). Причиной загрязнения воды нередко становится некорректная утилизация неиспользованных медикаментов [2, 7]. Результаты проведенного опроса населения крупных городов показали, что ненужные и просроченные лекарственные препараты чаще всего выбрасываются в общие бытовые отходы (около 80 %), а более 15 % потребителей отправляют их в канализацию. При этом около 50 % граждан осознают, что такие способы утилизации могут нанести вред окружающей среде и готовы поддержать инициативу по сбору просроченных и ненужных лекарств в специальные контейнеры, установленные в аптеках, с целью их дальнейшей безопасной переработки. Очень неблагоприятная ситуация с утилизацией медикаментов складывается в лечебно-профилактических учреждениях. Исследования показывают, что несмотря на наличие адекватных систем безопасного удаления медицинских отходов, возврат медикаментов реализуется не всегда,

и порядка 50% неиспользованных медицинских продуктов не собирается. Даже в лечебно-профилактических учреждениях Германии, оказывающих медицинскую помощь населению, около 60...80 % неиспользованных лекарственных препаратов спускаются в канализацию или выбрасываются вместе с обычным бытовым мусором. Имеющиеся на городских очистных станциях сооружения биологической очистки не могут обеспечить эффективное удаление фармацевтических субстанций [5, 7]. Например, уровень ибупрофена, который присутствует в значительных количествах в сточных водах, снижается после прохождения очистки на 60...96%, в то время, как уровень очистки сточных вод от карбомазепина существенно ниже. Вследствие этого, лекарственные препараты все чаще обнаруживаются в поверхностных и грунтовых водах и даже в питьевой воде. Лёгкость распространения лекарственного загрязнения в водных объектах, негативное воздействие на гидробиоту и, наконец, возможность попадания лекарственных средств в питьевую воду позволяют считать водное загрязнение лекарственными препаратами наиболее опасным [2, 5, 7]. Если же очистные сооружения имеют в качестве системы доочистки озонофлотационную установку, то проблема загрязнения лекарственными препаратами будет решена, поскольку озон эффективно разрушает лекарственные препараты.

Основная часть

На рисунке 1 представлена схема озонофлотационной установки, разработанная кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов, Брестского государственного технического университета.

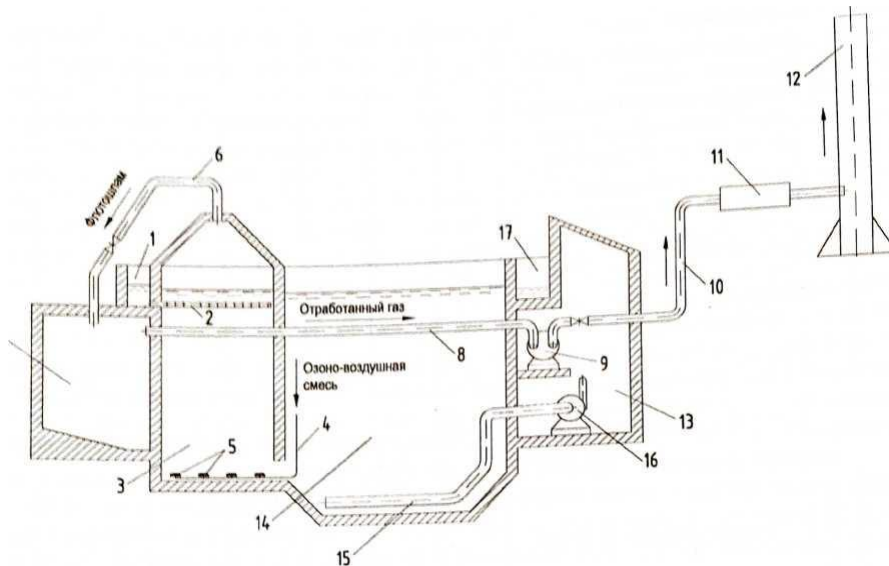


Рисунок 1 – Схема озонофлотационной установки:

- 1 – лоток подачи сточной воды в озонофлотатор; 2 – перфорированная труба подачи сточной воды в озонофлотационную камеру; 3 – озонофлотационная камера;
- 4 – трубопровод подачи озоновооздушной смеси к диспергаторам; 5 – диспергаторы;
- 6 – трубопровод отвода флотошлама, 7 – камера пеногашения; 8 – всасывающий трубопровод откачивания отработанного газа; 9 – вакуумная вихревая воздушная дувка;
- 10 – напорный трубопровод выброса отработанного газа; 11 – термический деструктор остаточного озона; 12 – вытяжная труба выброса отработанного газа в атмосферу;
- 13 – помещение насосной станции; 14 – камера реакции с озоном; 15 – перфорированная труба удаления осадка из камеры реакции с озоном; 16 – насос удаления осадка из камеры реакции с озоном; 17 – лоток отвода очищенной сточной воды из озонофлотатора

К озонофлотатору подведен лоток для подачи осветленной воды из вторичных отстойников. Общий подводящий лоток возле озонофлотатора делится на две равные части для подвода воды к каждой секции озонофлотатора с фронтальной стороны. На каждом лотке, подводящем воду к секциям озонофлотатора, установлен шибер, позволяющий перекрыть подачу воды в секцию. На случай возникновения расхода, значительно превышающего расчетный расход, предусмотрен боковой перелив с обводным трубопроводом, позволяющим пропустить избыточный расход мимо озонофлотаторов. Вода из подающих лотков поступает в соответствующие озонофлотационные камеры через затопленные перфорированные трубы. Отверстия в подающих перфорированных трубах расположены по бокам труб и в верхней части труб. Отверстия по бокам труб распределяют воду равномерно по площади озонофлотационной камеры. Отверстия в верхней части труб служат для удаления газа, который может попасть в подающие трубы в процессе озонофлотации. Вода после попадания в верхнюю часть озонофлотационной камеры движется вниз навстречу газовым факелам, выходящим из диспергаторов. Пневматические диспергаторы озono-воздушной смеси присоединены к подводящим трубам, проложенным по дну озонофлотационных камер. Противоточная система движения обрабатываемой воды и газовой дисперсии позволяет достичь максимального массопереноса озона из озонированного воздуха в воду. После прохождения озонофлотационной камеры вода с растворенным озоном через окно, расположенное в нижней части озонофлотационной камеры, попадает в камеру реакции.

Газовые пузырьки, выходя на поверхность камеры озонофлотации, сорбируют на себя механические и растворенные загрязнения и образуют флотошлам, который отводится через верхнюю часть пирамидального конуса. Для отвода пенного продукта из верхней части конуса в камеру гашения пены служит труба из нержавеющей стали. На трубе, выходящей из каждой секции, установлен шаровый кран, соответствующего диаметра, для возможности перекрытия данного трубопровода при опорожнении отдельной секции.

Вода из озонофлотационных камер с растворенным озоном через окна, расположенные в нижней части данных камер, поступает в камеры реакции. Объем камер реакции принимается из условия обеспечения продолжительности реакции растворенного озона с окисляемыми веществами и микроорганизмами, с целью максимального снижения показателей ХПК, БПК₅ и полного обеззараживания. В мировой практике принято, что время, необходимое для снижения ХПК и надежного обеззараживания должно быть не менее 15...20 минут [5, 6]. Ширина камеры реакции равна ширине озонофлотационной камеры. Глубина прямоугольной части камеры реакции равна глубине озонофлотационной камеры. Время пребывания обрабатываемой воды в озонофлотаторе складывается из продолжительности ее пребывания в озонофлотационной камере и времени пребывания в камере реакции установки.

После камеры реакции очищенная вода собирается в сборных лотках. Каждая секция имеет свой сборный лоток, оборудованный шибером. Вода из сборных лотков от каждой секции поступает в общий сборный лоток, из которого она поступает на сброс в водоприёмник.

Нижняя часть камер реакции имеет пирамидальное дно для сбора осадка и возможности полного опорожнения секции озонофлотатора. В нижней части пирамидального дна каждой камеры реакции проложена перфорированная труба для удаления осадка по всей длине камер реакции. Перфорированная труба связана со всасывающим трубопроводом насосов, служащих как для удаления осадка из камер реакции, так и для полного опорожнения любой секции озонофлотатора.

Камера пеногашения служит для сбора флотошлама, образующегося в озонофлотационных камерах. Как было указано ранее, образующийся флотошлам под действием вакуума по трубам отводится из верхней части пирамидальных конусов в камеру пеногашения. Данная камера расположена перед озонофлотационной камерой под подводящими лотками. В верхней части камеры пеногашения установлен датчик пены, при срабатывании которого включается система пеногашения на 20 минут. Вода для пеногашения специальным насосом забирается из средней части камеры реакции и подается в распределительную систему пеногашения. Гашение пены происходит за счет разбрызгивания воды по площади камеры пеногашения. Система для гашения пены представляет собой перфорированный трубопровод, проложенный у потолка камеры, отверстия в котором направлены так, чтобы орошать всю площадь камеры пеногашения.

Уровень концентрата погашенной пены по мере накопления растет и при достижении грушевидного датчика верхнего уровня жидкости происходит включение системы взмучивания осадка. После пятиминутного взмучивания происходит выкачивание концентрата погашенной пены из камеры пеногашения с помощью того же насоса, который предназначен для выкачивания осадка из камеры реакции и для полного опорожнения секции озонофлотатора. Насос подает концентрат погашенной пены по напорному трубопроводу в начало очистных сооружений в лоток перед вторичными отстойниками. Этот же трубопровод служит для подачи осадка из камеры реакции в начало сооружений и для полного опорожнения озонофлотаторов. Откачивание концентрата пены прекращается при срабатывании грушевидного датчика нижнего уровня жидкости. После завершения процесса перекачки на ответвлении от напорного трубопровода открывается кран с электроприводом на период, равный 30-ти минутам. За это время жидкость, оставшаяся в напорном трубопроводе после перекачки в начало очистных сооружений, самотеком сливается в камеру пеногашения. Поскольку напорный трубопровод проложен с противоуклоном и объем жидкости, содержащийся в нем, составляет примерно 1 м^3 , времени 30-ти минут будет достаточно для полного опорожнения данного трубопровода. Опорожнение необходимо для предотвращения промерзания находящейся в нем жидкости в зимний период.

Для удобства эксплуатации дно камеры пеногашения имеет пирамидальную форму. Воду для взмучивания осадка в камере пеногашения подает тот же насос, который служит для подачи воды в систему пеногашения. Забор воды для взмучивания осадка также, как и для гашения пены осуществляется из средней части камеры реакции. Распределительная система взмучивания осадка

представляет собой перфорированный трубопровод, проложенный по периметру камеры пеногашения у нижнего основания прямоугольной части камеры. Отверстия перфорированного трубопровода направлены вниз вдоль стенок пирамидальной части камеры пеногашения.

Помещение насосной станции заглубленного типа заблокировано с торцевой частью камер реакций. В верхнем перекрытии данного помещения установлен люк с размером, позволяющим загружать и выгружать любое установленное в помещении оборудование. В нижней части помещения насосной станции установлены основные насосы консольного типа, изготовленные из нержавеющей стали, которые служат для удаления осадка из любой камеры реакции, для полного опорожнения любой секции озонофлотатора, а также для удаления погашенной пены из камеры пеногашения. На полке, расположенной приблизительно на середине высоты данного помещения, установлен вспомогательный насос, служащий для подачи воды как в систему пеногашения, так и в систему взмучивания осадка. Обе вышеуказанные системы расположены в камере пеногашения. Вспомогательный насос также изготовлен из нержавеющей стали. Вода для подачи в системы пеногашения и взмучивания осадка отбирается из средней части камеры реакции.

На железобетонной полке, расположенной у верхнего перекрытия помещения насосной станции, установлены вакуумные вихревые воздуходувки, создающие вакуум в камере пеногашения. Расчетный расход вакуумных воздуходувок должен превышать расход озоновоздушной смеси, подаваемый в озонофлотационные камеры. Вакуум, создаваемый вихревыми вакуумными воздуходувками, должен обеспечивать транспортирование флотошлама из озонофлотационной камеры в камеру пеногашения по трубе. После гашения пены воздух освобождается и отводится под действием того же вакуума, создаваемого вакуумными вихревыми воздуходувками, за пределы озонофлотатора. Однако сбрасывать данный воздух непосредственно в окружающую воздушную среду нельзя, поскольку он содержит остатки не вступившего в реакцию озона. Поэтому предусмотрена система обезвреживания данного воздуха, заключающаяся в деструкции остаточного озона с помощью деструктора. Из деструктора воздух попадает в вытяжную трубу для выброса в атмосферу. Высокая вытяжная труба делает выброс отработанного воздуха безопасным даже в случае неисправности деструктора.

Пол помещения насосной станции выполнен с уклоном в сторону дренажного приямка, который расположен в одном из углов помещения. В дренажном приямке расположен погружной насос, позволяющий удалять загрязненные грунтовые воды, который оборудован датчиком уровня. При срабатывании автоматики дренажного насоса он включается и перекачивает дренажные воды из приямка в общий водоотводящий лоток озонофлотатора.

На рисунке 2 представлена аксонометрическая схема вышеописанной озонофлотационной установки.

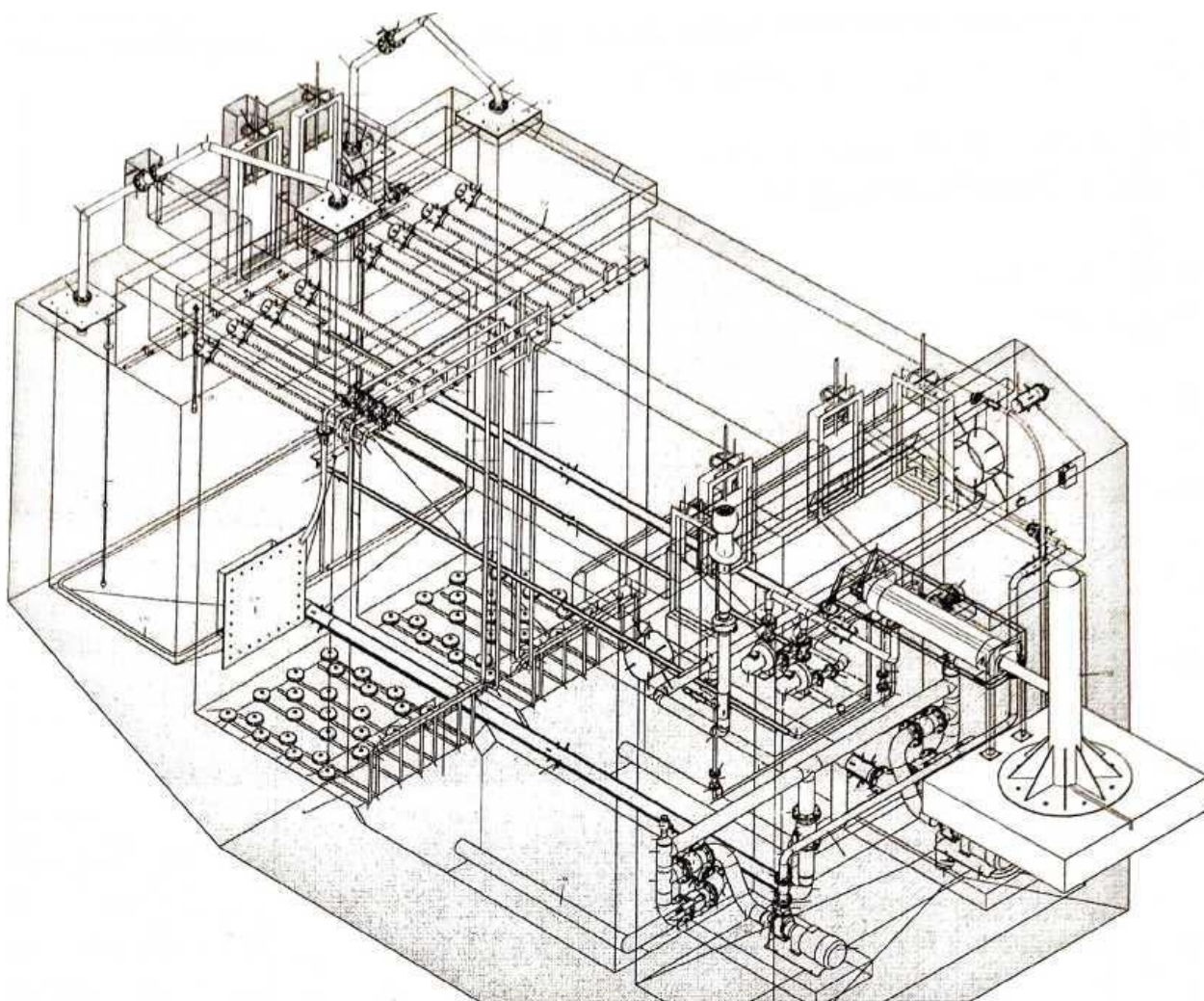


Рисунок 2 – Аксонометрическая схема камеры озонофлотации, совмещенная с камерами реакции и пеногашения

Заключение

Озонирование является самым перспективным методом обеззараживания городских сточных вод при его введении методом озонофлотации. При этом происходит не только обеззараживание воды и окисление стойких к биологическому окислению веществ, но и флотационная очистка сточной воды от активного ила, в случае его выноса из вторичных отстойников, происходящего при сбоях в работе сооружений биологической очистки. Также озон эффективно разрушает лекарственные вещества, которые попадают в городские сточные воды.

Список цитированных источников

1. Алексеев С.Е. Оценка эффективности применения озона при очистке воды сильнозагрязненных источников водоснабжения / С.Е. Алексеев, Е.В. Корса-Вавилова, А.Я. Шмелёв // Водоснабжение и санитарная техника. – 2021. – №6. – С. 8–17.
2. Баренбойм Г.М. Загрязнения поверхностных и сточных вод лекарственными препаратами / Г.М. Баренбойм, М.А Чиганова // Вода: химия и экология. – 2012. – №10. – С. 40-46.
3. Белов, С.Г. Перспективы применения озона вместо гипохлорита для обеззараживания питьевой воды при централизованном водоснабжении / С.Г. Белов, Г.О. Наумчик. Международная научно-техническая конференция «Современные тенденции в развитии водоснабжения

и водоотведения»: материалы Междунар. конф., посвященной 145-летию УП «Минскводоканал», Минск, 13–14 февраля 2019 г. : в 2 ч. – Минск : БГТУ, 2019 – Ч. 2 – 324 с. – ISBN 978-985-530-738-0.

4. Драгинский, В. Л. Озонирование в процессах очистки воды / В.Л. Драгинский, Л.П. Алексеева, В.Г. Самойлович. – М.: ДеЛи принт, 2007. – 400 с.

5. Мухутдинова А.Н. Фармацевтические соединения на основе азотосодержащих гетероциклов - новый класс загрязнителей окружающей среды / А.Н. Мухутдинова, М.И. Рычкова, Е.А. Тюмина, Е.В. Вихарева // Вестник Пермского университета. – 2015. – №1. – С. 65–76.

6. Орлов, В.А. Озонирование воды / В.А. Орлов. - М.: Стройздат, 1984. – 88 с.

7. Прожерина Ю. Фармацевтические отходы как новая экологическая проблема / Ю. Прожерина // Водопользование. Водоотведение. Водоподготовка. – 2021. – № 1. – С. 31–40.

8. Разумовский, С.Д. Озон и его реакции с органическими соединениями / С.Д. Разумовский, Г.Е. Зайков. – М.: Наука, 1974. – 324 с.

УДК 631.423.3

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГРУНТОВЫХ ВОД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ ОАО «ПЛЕМЗАВОД МУХАВЕЦ»

А. А. Волчек¹, Н. Н. Костюченко², А. М. Подлужная³

*¹ Доктор географических наук, профессор, профессор
кафедры природообустройства факультета инженерных систем и экологии
УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail : volchak@tut.by*

*² Научный сотрудник Полесского аграрно-экологического института
НАН Беларуси, Брест, Беларусь, e-mail : kost-n@rambler.ru*

*³ Младший научный сотрудник Полесского аграрно-экологического
института НАН Беларуси, Брест, Беларусь*

Реферат

В статье рассматривается химический состав грунтовых вод сельскохозяйственных угодий на территории предприятия интенсивного животноводства и растениеводства ОАО «Племзавод Мухавец». Наиболее распространенными загрязнителями грунтовых вод являются соединения азота, фосфор, цинк, медь, хром и кобальт. Наблюдается сезонность в содержании некоторых элементов: марганец обнаружен только в весенних и осенних пробах, хром – в летних и осенних пробах, кобальт – в летних пробах и одной осенней, свинец – в летних и одной весенней. На склоновых агроландшафтах крутизной 0,10° разница в концентрации элементов наиболее выражена у кальция, фосфора, никеля и железа, причем концентрация кальция преобладала в верхней части склона, а фосфора, никеля и железа – в нижней части.

Ключевые слова: грунтовые воды, загрязнение, азот, фосфор, калий, тяжелые металлы.

CHEMICAL COMPOSITION OF GROUNDWATER OF AGRICULTURAL LAND JSC «BREEDING PLANT MUHAVETS»

A. A. Volchek, N. N. Kostiuchenko, A. M. Podluzhnaya

Abstract

The article discusses the chemical composition of groundwater of agricultural lands on the territory of the enterprise of intensive animal husbandry and crop production JSC «Plemzavod Mukhavets». The most common groundwater pollutants are nitrogen compounds, phosphorus, zinc, copper, chromium and cobalt. Seasonality is observed in the content of some elements: manganese was found only in spring and autumn samples, chromium - in summer and autumn samples, cobalt - in summer samples and one autumn sample, lead - in summer and one spring sample. On slope agricultural landscapes with a steepness of 0,10°, the difference in the concentration of elements is most pronounced in calcium, phosphorus, nickel and iron, with the concentration of calcium predominating in the upper part of the slope, and phosphorus, nickel and iron in the lower part.

Keywords: groundwater, pollution, nitrogen, phosphorus, potassium, heavy metals.

Введение

Интенсивное развитие сельскохозяйственного производства приводит к ежегодному поступлению в окружающую среду большого количества разнообразных веществ: отходов животноводства, удобрений, пестицидов и др. [1–4]. Попадая в почву, растения, а затем в грунтовые и поверхностные воды экотоксиканты изменяют химический состав природных объектов, оказывая негативное воздействие на здоровье животных и человека.

Среди огромного многообразия поллютантов особое внимание следует обратить на соединения азота: аммиак, ионы аммония, нитриты, нитраты, поскольку они наиболее подвижны и небезопасны для людей. Чаще всего загрязнение этими элементами происходит вследствие интенсивного разложения органических веществ, или в результате искусственной концентрации отходов животноводства и растениеводства (штабеля навоза, соломы, малоценной части урожая и т.п.). В агроландшафтах наиболее распространенными являются загрязнения поверхностных и подземных вод именно промежуточными продуктами разложения органики, а не техногенным азотом минеральных удобрений как считалось ранее [5, 6]. Поступление избытка нитратного азота через продукты питания и питьевую воду в организм человека вызывает такое заболевание как метгемоглобинемия, которая является наиболее опасной для пожилых людей и детей.

Загрязнение агроландшафтов связано и с применением фосфорных удобрений, которые содержат широкий спектр химических элементов. Так, в суперфосфате кроме фосфора обычно содержится до 1,5% фтора, 0,005% кадмия, 0,005–0,03% мышьяка, а также стронций, медь, свинец [7]. Таким образом внося в почву фосфорные удобрения, мы загрязняем ее тяжелыми металлами – высокотоксичными соединениями, попадание которых в организм вызывает

различные заболевания [8]. Вместе с калийными удобрениями в почву попадает кадмий, органические удобрения служат источником поступления в почву меди и цинка. [9]. На сегодняшний день загрязнение почвы фосфором и калием не нормируется. Однако, подвижные соединения вышеуказанных элементов, присутствующие в минеральных и органических удобрениях, а также сопутствующие им тяжелые металлы, в процессе фильтрации поступают в нижележащие почвенные слои, а затем и в грунтовые воды, что может привести к их загрязнению и выведению из строя эксплуатационных скважин и крупных водозаборов. Исходя из вышесказанного, можно подытожить, что химический состав грунтовых вод – один из важнейших показателей экологического состояния территории, так как является результатом взаимодействия всех компонентов ландшафта [10].

Объекты и методы

Исследования химического состава грунтовых вод сельскохозяйственных угодий проводили в 2022 г. на территории ОАО «Племзавод Мухавец» – аграрного предприятия, специализирующегося в получении племенной продукции животноводства. Помимо этого данная организация занимается производством растениеводческой продукции.

В течение года отбора проб грунтовых вод проводился 3 раза: весной (19.05.), летом (12.07.), осенью (19.09.) в соответствии с требованиями ГОСТ 17.1.5.05-85. Отбор образцов осуществляли с колодцев местных жителей. Образцы № № 1–4 отобраны выше по склону в деревне Вулька Заставская, пробы № № 5–8 – ниже по склону в д. Заболотье. Уклон местности составляет 0,10°. Уклон местности рассчитан с помощью топографической карты масштаба 1:50000. Карты уточнены спутниковым снимком. Пробу № 9 отбирали в 160 м от штабеля подстилочного навоза (105×12×1,5 м). Глубина залегания грунтовых вод: № 1 – 6 м, № 2 – 5 м, № 3 – 5 м, № 4 – 5 м, № 5 – 3 м, № 6 – 3 м, № 7 – 3 м, № 8 – 3 м, № 9 – 1,5 м. Всего отобрано 27 образцов грунтовых вод.

Химический анализ воды выполняли фотометрическим методом согласно следующим методикам: массовая концентрация нитратов – ГОСТ 33045-2014 метод Д с использованием салициловокислого натрия, массовая концентрация аммиака и ионов аммония – ГОСТ 33045-2014 метод А с использованием реактива Несслера, концентрация ортофосфата – ГОСТ 18309-2014 метод Б с аскорбиновой кислотой на спектрофотометре СФ-56. калия – на пламенном фотометре М-1382. Тяжелые металлы определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES) на приборе iCAP-7200 согласно СТБ ISO 11885-2011.

Результаты и их обсуждение

Химический анализ показал, что концентрации веществ в грунтовых водах соответствовали установленным нормативам для воды питьевого назначения за исключением железа, кобальта и хрома. содержание которых в 1,03–5,17 раз, 2,10–4,20 раз и 1,20–8,60 раз, соответственно, превышала допустимый уровень.

В течение исследований показатель кислотности грунтовых вод находился в пределах установленной нормы и составил 7,6–8,0 единиц в верхней части

склона, 6,6–7,3 единиц в нижней части склона, в 160 м от хранения навоза – 7,9 единиц.

Наибольшая концентрация железа – 1,55 мг/дм³ – зафиксирована в весенний период в пробе № 3, отобранной выше по склону. Содержание данного элемента в 5,2 раза превышало ПДК. Осенью в пробе № 6 зарегистрировано превышение содержания железа в 1,3 раза. Незначительно увеличена концентрация железа в пробе № 8: весной данный показатель составил 0,32 мг/дм³, осенью – 0,31 мг/дм³ при ПДК=0,315 мг/дм³.

Загрязнение грунтовых вод кобальтом отмечено только в летний период в одной пробе, отобранной выше по склону (№ 3), в двух пробах, отобранных ниже по склону (№ 5, № 8), и в пробе № 9. Содержание кобальта в вышеуказанных пробах превышало допустимый уровень в 2,1–4,2 раза. Наибольшая концентрация отмечена в пробе № 8 – 0,42 мг/дм³, а в остальных находилась на уровне 0,21–0,29 мг/дм³.

Превышение допустимой концентрации хрома в грунтовых водах зафиксированы в летний период ниже по склону, за исключением пробы № 7. Максимальное содержание данного элемента оказалось в пробе № 8 – 0,43 мг/дм³, что в 8,6 раз выше ПДК. В пробах № 5 и № 6 концентрация хрома оказалась равной 0,12 мг/дм³ и в 2,4 раза превышала установленную норму. В пробе № 9 его количество составило 0,06 мг/дм³ при ПДК=0,05 мг/дм³.

При оценке грунтовых вод в соответствии с нормативами качества воды поверхностных водных объектов, используемых для размножения, нагула, зимовки, миграции рыб, установлено превышение содержания азота аммонийного, азота нитратного, фосфора, калия, железа, алюминия, меди, цинка, марганца, кобальта и хрома.

Повышенная концентрация азота аммонийного зафиксирована в течение всего периода исследований в пробах грунтовых вод, отобранных в 160 м от места хранения подстилочного навоза и в осенней пробе № 1. В первом случае количество данного соединения с мая по сентябрь повышалось с 0,64 до 1,01 мг/дм³ в 1,6–2,6 раз превышая допустимую концентрацию; во втором случае отмечено разовое увеличение количества азота аммонийного в 2,2 раза.

В тоже время содержание азота нитратного в пробах воды, отобранных недалеко от штабеля навоза, находилось в пределах установленной нормы и с мая по сентябрь понижалось с 2,45 до 1,17 мг/дм³. Превышение ПДК азота нитратного отмечено во всех пробах грунтовых вод, отобранных на верхней и нижней частях склона, за исключением № 1, отобранной весной и осенью и № 5, отобранной летом. Наиболее загрязненной оказалась проба № 2, в которой концентрация вышеуказанного соединения в период исследований находилась на уровне 21,13–36,73 мг/дм³ и в 2,3–4,1 раз превышала допустимую норму. Максимальная концентрация азота нитратного в грунтовых водах зарегистрирована весной – 7,72–36,73 мг/дм³ выше по склону и 9,83–34,76 мг/дм³ ниже по склону. Летом его содержание снизилось: в пробе № 5 с 9,83 до 8,70 мг/дм³, в пробах № 4 и № 9 количество азота нитратного уменьшилось в 1,3 раза, а в пробах № 2, № 3, № 6, № 7, № 8 – 1,6–2,0 раз. Осенью отмечено повышение

концентраций данного соединения, однако их численные значения не превышали весенние показатели, за исключением пробы № 4. Значительной разницы между количеством азота нитратного на разных частях склона не обнаружено.

Концентрация фосфора превышала допустимый уровень во всех пробах грунтовых вод за исключением пробы № 2 и пробы № 9, отобранных в июле. Содержание фосфора, в отличие от предыдущего соединения, преобладало в грунтовых водах, отобранных ниже по склону. Если в верхней части склона его количество в период исследований находилось в пределах 0,05–0,83 мг/дм³ в зависимости от пробы, и существенно не отличалось по сезонам, то ниже по склону оно составило 0,65–3,33 мг/дм³ и лишь 0,35 мг/дм³ в весенней пробе № 6. Самое высокое содержание фосфора зарегистрировано в пробе № 8 – 2,35–3,33 мг/дм³, что в 35,6 – 50,5 раз выше ПДК. Наименьшее количество данного элемента зафиксировано в пробе № 2 – 0,05–0,09 мг/дм³ при ПДК=0,066 мг/дм³. Незначительно отличалось по сравнению с данной пробой содержание фосфора в пробе № 9 – 0,06–0,09 мг/дм³.

Содержание калия в грунтовых водах находилось в пределах нормы, исключение составила проба № 7 отобранная в весенний период, где количество данного элемента достигало 55,0 мг/дм³ при ПДК=50,0 мг/дм³. Наибольшая концентрация калия в течение исследований зафиксирована в пробе № 7 – 49,75–55,0 мг/дм³, а наименьшая – в пробе № 2 – 6,23–8,30 мг/дм³.

В период с мая по сентябрь в грунтовых водах отмечено значительное колебание содержания железа. Повышенные концентрации его выявлены в осенней пробе № 6, весенних пробах № 3 и № 8. Минимальные концентрации данного показателя зарегистрированы летом – 0,002–0,004 мг/дм³ выше по склону и 0,007–0,016 мг/дм³ ниже по склону, что на порядок ниже весенних и осенних значений. Разница между количеством железа по склонам более четко выражена в летний и осенний периоды и составляет 2,2–3,5 раз.

Устойчивое загрязнение алюминием обнаружено в пробе грунтовых вод № 6: весной зарегистрировано превышение концентрации в 2,5 раза, летом – в 8,25 раз, осенью – в 7,25 раз. В двух пробах повышенное содержание данного показателя отмечено весной и осенью и составило в среднем в 4,6 раз в пробе № 8 и в 2,4 раза в пробе № 9. В пробе № 3 численные значения алюминия превышали норму в 5,25 раз весной и в 2,18 раз летом. Разовые превышения концентрации алюминия зарегистрированы в пробах № 7 (в 2,9 раз летом) и в пробе № 4 (в 1,3 раза осенью).

Таблица 1 – Содержание химических веществ в грунтовых водах сельскохозяйственных угодий ОАО «Племзавод Мухавец»

Пробы воды	pH	NH ⁺	NO ₃	P	K	Ca	Mg	Fe	Al	Cu	Zn	Mn	Ni	Co	Cr	Pb	Cd
Весна																	
Выше по склону																	
1	7,7	0,13	7,72	0,5	16,4	–	–	0,06	нпо	нпо	0,02	0,01	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо
2	7,6	0,05	36,73	0,07	8,3	–	–	0,05	нпо	нпо	0,12	0,01	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо
3	7,7	0,08	33,20	0,12	22,4	–	–	1,55	0,21	нпо	0,27	0,01	нпо	нпо	нпо	0,01	нпо
4	7,7	0,19	14,42	0,66	25,8	–	–	0,06	нпо	нпо	0,03	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо
Ниже по склону																	
5	6,9	0,20	9,83	1,2	16,1	–	–	0,07	0,27	0,01	0,50	0,05	0,01	нпо	нпо	нпо	нпо
6	7,0	0,12	31,79	0,35	15,1	–	–	0,24	0,10	0,01	0,10	0,01	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо
7	6,9	0,17	33,42	0,7	55,0	–	–	0,09	нпо	0,02	0,40	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо
8	6,6	0,13	34,76	2,9	35,0	–	–	0,32	0,19	0,01	0,04	0,01	0,01	нпо	нпо	нпо	нпо
В 160 м от места складирования подстильного навоза																	
9	7,9	0,64	2,45	0,08	8,9	–	–	0,30	0,09	0,02	0,05	нпо	0,01	нпо	нпо	нпо	нпо
Лето																	
Выше по склону																	
1		0,13	9,35	0,51	12,52	119,4	6,77	0,004	0,004	0,032	0,002	нпо	0,001	нпо	0,03	0,006	нпо
2		нпо	21,13	0,05	6,58	105,2	5,64	0,003	0,039	0,001	0,001	нпо	0,001	0,04	0,05	нпо	нпо
3		0,02	20,87	0,07	18,21	109,5	7,17	0,002	0,087	0,011	0,001	нпо	0,001	0,29	0,04	нпо	нпо
4		0,09	11,34	0,71	22,32	107,5	7,96	0,003	0,016	0,002	0,001	нпо	нпо	0,02	нпо	нпо	нпо
Ниже по склону																	
5		0,29	8,70	0,65	11,05	41,3	4,2	0,008	нпо	0,004	0,003	нпо	0,001	0,24	0,12	0,006	нпо
6		0,06	16,29	0,96	14,82	15,5	0,68	0,007	0,330	0,041	0,008	нпо	0,001	0,03	0,12	нпо	нпо
7		0,18	19,21	0,65	49,89	71,4	11,3	0,016	0,115	0,003	0,005	нпо	нпо	нпо	0,03	нпо	нпо
8		0,18	18,00	2,35	35,25	45,8	8,23	0,007	0,013	0,008	0,005	нпо	0,001	0,42	0,43	0,001	нпо
В 160 м от места складирования подстильного навоза																	
9		0,79	1,83	0,06	7,15	61,0	2,12	0,015	0,013	0,002	0,008	нпо	0,002	0,21	0,06	нпо	нпо
Осень																	
Выше по склону																	
1	7,8	0,86	3,29	0,81	11,33	111,1	6,22	0,08	0,01	0,002	0,019	0,049	0,003	нпо	0,022	нпо	нпо
2	8,0	нпо	30,15	0,09	6,23	100,3	5,78	0,06	0,03	0,001	0,077	0,001	0,003	нпо	0,023	нпо	нпо
3	7,8	0,04	23,49	0,09	18,19	92,4	6,00	0,08	0,02	0,001	0,044	0,001	0,003	нпо	0,024	нпо	нпо
4	7,7	0,09	17,72	0,83	23,64	113,6	8,63	0,13	0,05	0,004	0,073	0,014	0,004	нпо	0,022	нпо	нпо

Продолжение таблицы

Пробы воды	pH	NH ⁺	NO ₃	P	K	Ca	Mg	Fe	Al	Cu	Zn	Mn	Ni	Co	Cr	Pb	Cd
Осень																	
Ниже по склону																	
5	7,3	0,21	9,17	1,03	15,91	22,0	1,44	0,13	0,04	0,005	0,416	0,048	0,012	нпо	0,024	нпо	нпо
6	7,0	0,11	15,56	1,10	11,36	39,4	4,28	0,38	0,29	0,008	0,047	0,005	0,007	нпо	0,024	нпо	нпо
7	7,0	0,19	26,97	0,71	49,75	75,1	11,08	0,14	0,01	0,016	0,086	0,004	0,016	нпо	0,023	нпо	нпо
8	7,0	0,16	19,63	3,33	34,74	45,0	7,44	0,31	0,18	0,006	0,095	0,004	0,011	нпо	0,024	нпо	нпо
В 160 м от места складирования подстилочного навоза																	
9	7,9	1,01	1,17	0,09	8,21	74,7	3,18	0,27	0,10	0,014	0,076	0,020	0,012	0,001	0,025	нпо	нпо
ПДК для питьевой воды	6–9	2,0	45,0	3,5	–	–	–	0,3	0,5	1,0	5,0	0,1	0,1	0,1	0,05	0,03	0,001
ПДК для поверхностных вод	6,5–8,5	0,39	9,03	0,066	50,0	180,0	40,0	0,315	0,04	0,004	0,012	0,028	0,034	0,01	0,005	0,014	0,005

Примечания:

Нпо – ниже предела обнаружения прибора

Полужирным цветом выделены значения, превышающие ПДК для воды питьевого назначения

На сером фоне значения, превышающие ПДК поверхностных водных объектов, используемых для размножения

Повышенное содержание меди зарегистрировано в мае и сентябре в пробах, отобранных ниже по склону и в пробе № 9. Весной концентрация меди в них находилась в пределах 0,01–0,02 мг/дм³, что в 2,5–5 раз выше ПДК, а осенью варьировала в более широких пределах 0,005–0,016 мг/дм³, в 1,25–4,0 раз превышая нормативное значение. Наибольшее содержание меди выявлено летом в пробе № 6 – 0,041 мг/дм³, что в 10,3 раза выше ПДК. Высокая концентрация меди оказались в пробе № 1, отобранной выше по склону – 0,032 мг/дм³ (ПДК= 0,004 мг/дм³). В пробах № 3 и № 8 обнаружено превышение допустимой концентрации в 2,8 раз и 2,0 раза, соответственно. В пробе № 9 концентрация меди в 5 раз превышала установленную норму в весенний период и в 3,5 раз – в осенний и составила, соответственно, 0,02 мг/дм³ и 0,014 мг/дм³.

Загрязнение цинком отмечалось в весенних и осенних пробах грунтовых вод. Концентрация данного элемента между пробами различается в десятки раз. Например, в пробах отобранных весной концентрация цинка находилась в пределах 0,02–0,27 мг/дм³ выше по склону и 0,04–0,50 мг/дм³ – ниже по склону при ПДК=0,012 мг/дм³. Летом она снижается до минимальных значений и составляет 0,001–0,002 мг/дм³ выше по склону и 0,003–0,008 мг/дм³ ниже по склону. В пробе № 9 содержание цинка в данный период оказалось равным 0,008 мг/дм³. К осени количество цинка в грунтовых водах возросло и в 1,6–6,4 раза превышало значение ПДК в верхней части склона, в 3,9–7,9 раз в нижней части, в 6,3 раза в пруду. Исключение составила проба № 5, где в осенний и весенний периоды зафиксирована максимальная концентрация цинка – 0,416 мг/дм³ и 0,50 мг/дм³ в 34,7 раз и 41,7 раз, соответственно, превышая ПДК.

Марганец обнаружен в весенних и осенних пробах грунтовых вод. Превышение установленной концентрации данного элемента выявлено в пробах № 5 весной и осенью и в пробе № 1 осенью и составило в среднем 1,8 раз.

Кобальт зарегистрирован только в летний период, причем его количество во всех пробах оказалось повышенным. Содержание кобальта в грунтовых водах варьировало в широких пределах 0,02–0,29 мг/дм³ выше по склону и 0,02–0,42 мг/дм³ ниже по склону при ПДК 0,01 мг/дм³. Максимальная концентрация отмечена в пробе № 8 (в 42 раза выше ПДК), минимальная – в пробе № 4 (в 2 раза выше ПДК). В пробе № 9 содержание кобальта составило 0,21 мг/дм³ и в 21 раз превышало нормативное значение.

Хром зафиксирован в летний и осенний периоды, в концентрациях превышающих установленную норму. В июле в верхней части склона его количество находилось на уровне 0,03–0,05 мг/дм³, что 6–10 раз выше нормы. В пробе № 4 данного элемента не выявлено. В нижней части склона содержание хрома оказалось более высоким по сравнению с верхней частью и достигало 0,43 мг/дм³ (проба № 8) при ПДК= 0,005 мг/дм³. Осенью разница в концентрации хрома на разных частях склона не выражена и находилась в пределах 0,022–0,024 мг/дм³, причем в некоторых образцах она снизилась, а в некоторых повысилась по сравнению с предыдущими значениями. В пруду содержание данного элемента в июле составило 0,06 мг/дм³, а к осени оно снизилось в 2,4 раза, однако, несмотря на это, его численное значение в 5 раз превышало допустимую концентрацию.

Остальные элементы соответствовали нормам, установленным для поверхностных вод, и находились в следующих пределах: кальций – 92,4–119,4 мг/дм³ выше по склону и 15,5–75,0 мг/дм³ ниже по склону, 61,0–74,7 мг/дм³ в 160 м от места хранения навоза (ПДК= 180,0 мг/дм³), магний – 5,64–8,63 мг/дм³ выше по склону, 0,68–11,8 мг/дм³ ниже по склону, 2,12–3,18 мг/дм³ в 160 м от места хранения навоза (ПДК=40 мг/дм³), никель – 0,001–0,004 мг/дм³ выше по склону, 0,007–0,016 мг/дм³ ниже по склону, 0,002–0,012 мг/дм³ в 160 м от места хранения навоза (ПДК= 0,034 мг/дм³), свинец – 0,006 мг/дм³ и ниже в летний период, 0,01 мг/дм³ в весенней пробе № 3 (ПДК= 0,014 мг/дм³). Кадмий в грунтовых водах не обнаружен.

Заключение

При оценке грунтовых вод сельскохозяйственных угодий ОАО «Племзавод Мухавец» установлено, что концентрации веществ в них соответствовали установленным нормативам для воды питьевого назначения за исключением железа, кобальта и хрома, содержание которых в 1,03–5,17 раз, 2,10–4,20 раз и 1,20–8,60 раз, соответственно, превышала допустимый уровень.

При оценке грунтовых вод в соответствии с нормативами качества воды поверхностных водных объектов, используемых для размножения, нагула, зимовки, миграции рыб, выявлено превышение содержания соединений азота, фосфора, калия, железа, алюминия, меди, цинка, марганца, кобальта и хрома. Наиболее распространенными загрязнителями грунтовых вод являются соединения азота, фосфор, цинк, медь, хром и кобальт.

Наблюдается сезонность в содержании некоторых элементов: марганец обнаружен только в весенних и осенних пробах, хром – в летних и осенних пробах, кобальт – в летних пробах и одной осенней, свинец – в летних и одной весенней.

Разница в концентрации элементов склоновых агроландшафтов крутизной 0,10° наиболее выражена у кальция, фосфора, никеля и железа, причем концентрация кальция преобладала в верхней части склона, а фосфора, никеля и железа – в нижней части.

Таким образом, для разработки приемов рационального природопользования необходимо осуществить переоценку запасов грунтовых вод с учетом их соответствия стандартам качества, а также совершенствовать технологии земле- и водопользования для сельскохозяйственных предприятий.

Список цитированных источников

1. Смирнова И.Р. Антропогенное воздействие отходов животноводства на окружающую среду / И.Р. Смирнова., М.Г. Киселева // Ветеринария. – 2011. – № 11. – С.45–49.
2. Иванов Ю.А. Экологичное животноводство, проблемы и вызовы / Ю.А. Иванов, В.В. Миронов // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2015. – № 87. – С. 35–48.
3. Волчек, А.А. Влияние бесподстилочного навоза на загрязнение окружающей среды при его использовании в агроландшафтах / А.А. Волчек, Н.Н. Костюченко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2021. – № 2 (125). – С. 70–74.
4. Костюченко Н.Н. Влияние штабелей подстилочного навоза на химический состав почвы / Н.Н. Костюченко, А.А. Волчек // Плодородие почв – основа продовольственной без-

опасности государства : мат. VI съезда почвоведов и агрохимиков / Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси. – Минск, 2022. – С. 163–166.

5. Забулис Р.М. Модели миграции азотистых соединений в грунтовых водах в районах жи-вотноводческих комплексов / Р.М. Забулис // Изучение условий защищенности поземных вод: сб. науч. трудов. – Москва, 1986. – С. 69–80.

6. Коломієць С.С. Просторова оцінка ризику забруднення біогенними елементами ґрунтових вод агроландшафтів / С.С. Коломієць // Агроекологічний журнал. – 2013. – № 1. – С. 35–38.

7. Геохимия ландшафта / Н. К. Чертко [и др.]. – Минск : БГУ, 2011. – 303 с.

8. Амосов Н.А. Алгоритм здоровья / Н.А. Амосов. – М., АСТ, 2002. – 590 с.

9. Обухов А.И. Баланс тяжелых металлов в агроценозах дерново-подзолистых почв и проблемы мониторинга / А.И. Обухов, А.А. Попова // Вест. МГУ. Сер. 17, Почвоведение. – 1992. – № 3. – С. 31–39.

10. Шилькрот Г.С. О миграции фосфора и других химических элементов с грунтовым стоком в сельских ландшафтах / Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.» : сб. науч. тр. / Карельский научный центр РАН. – Петрозаводск, 2015. – Том 1. – С. 386–394.

УДК 556.5

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ГОДОВОЙ И МАКСИМАЛЬНЫЙ СТОК РЕК БЕЛАРУСИ: ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ

А. А. Волчек¹, С. В. Сидак², С. И. Парфомук³, Н. Н. Шешко⁴

¹ Доктор географических наук, профессор, профессор кафедры природообустройства факультета инженерных систем и экологии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : volchak@tut.by

² Ассистент кафедры информатики и прикладной математики УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : harchik-sveta@mail.ru

³ К. т. н., доцент, заведующий кафедрой информатики и прикладной математики УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : parfom@mail.ru

⁴ К. т. н., доцент, начальник научно-исследовательской части УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : optimum@tut.by

Реферат

В статье выполнена оценка изменений характеристик годового стока, максимального стока весеннего половодья и основных стокоформирующих факторов за период 1988–2018 гг. по отношению к периоду 1949–1987 гг. Установлено, что отмечаемые за последние десятилетия климатические изменения существенно меняют картину пространственно-временной изменчивости максимального стока. Изменения же годового стока для большинства водосборов Беларуси носят статистически незначимый характер. Основными климатическими факторами, определяющими сток весеннего половодья, являются осадки

за зимний и весенний периоды, температура воздуха зимнего периода. С учетом мультимодельного ансамбля из четырех сценариев изменения климата получены прогнозные оценки годового и максимального стока на период до 2035 г.

Ключевые слова: расходы речного стока, осадки, температура воздуха, прогнозные оценки, потепление климата, многолетняя изменчивость.

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE ANNUAL AND MAXIMUM RIVER RUNOFF IN BELARUS: ASSESSMENT AND FORECAST

A. A. Volchak, S. V. Sidak, S. I. Parfomuk, N. N. Sheshko

Abstract

The article evaluates the changes in the parameters of the annual runoff, the maximum spring flood runoff and the main runoff-forming factors for the period 1988-2018 in relation to the period 1949-1987. The observed over the past decades climatic changes significantly change the situation of the spatio-temporal variability of the maximum runoff. Changes in the annual runoff for most catchments of Belarus are statistically insignificant. The main climatic factors determining the spring flood runoff are precipitation during the winter and spring periods, and the air temperature of the winter period. Taking into account the multimodal ensemble of four climate change scenarios, the forecast estimates of the annual and maximum runoff for the period up to 2035 are obtained.

Keywords: river flow rates, precipitation, air temperature, forecast estimates, climate warming, long-term variability.

Введение

Рациональное управление водными ресурсами в современных условиях является одной из приоритетных задач в области водных ресурсов не только в Беларуси, но и во всем мире. Надежное водообеспечение населения и отраслей экономики, заблаговременное предупреждение о опасных природных явлениях является необходимым условием устойчивого развития общества. В процессе разработки стратегии управления водными ресурсами, планировании и реализации водохозяйственных мероприятий, решении задач оптимального регулирования речного стока, необходимо, в первую очередь, иметь научно-обоснованные оценки происходящих и ожидаемых в будущем изменений гидрологических характеристик под влиянием непрерывного и возрастающего антропогенного воздействия, и меняющегося климата. Сложность решения этих вопросов на современном этапе развития общества в значительной мере обусловлена особенностями социально-экономических и климатических условий последних трех десятилетий. В последние 30 лет на территории Беларуси, как и во всем мире, наблюдается существенная динамика климатических показателей, которая вызывает ответную реакцию в гидрологических процессах [1–3]. Так как речной сток относится к климатически обусловленным возобновляемым водным ресурсам, изменение режима речного стока влияет не только на возможность его использования в качестве источников водоснабжения, но и на сохранение (или на нарушение) экологического равновесия водных объектов.

Речной сток представляет собой сложный многофакторный процесс. В работах [4, 5] приведен подробный анализ влияния каждого из них. Несмотря на большое множество стокоформирующих факторов, в настоящих условиях именно климатический фактор выходит на передний план. Изучению закономерностей формирования стока рек Беларуси, изменчивости характеристик стока в пространственно-временном аспекте посвящено множество работ [6, 7]. Однако данные исследования не охватывают последние годы наблюдений, когда произошло глобальное изменение климата. Методы теории вероятностей и математической статистики, используемые в выполненных ранее исследованиях по оценке многолетней изменчивости стока и стокообразующих факторов, применимы преимущественно к однородным данным. Происходящие скачкообразные, ступенчатые изменения в рядах характеристик стока делают их неоднородными, или нестационарными, и требуют других подходов к анализу. В условиях нестационарного климата, антропогенной нагрузки на водосборы, неравномерного размещения гидрологических постов и станций, а также уменьшения их количества, оценка многолетней изменчивости стока, установление количественных связей между характеристиками стока и совокупностью определяющих его факторов, оценка изменений стока на перспективу является, несомненно, одной из наиболее актуальных проблем, решаемых современной научной и прикладной гидрологией.

Целью данного исследования является оценка современной трансформации годового стока, максимального стока весеннего половодья рек Беларуси, а также получение прогнозных оценок их изменений при вероятных климатических сценариях будущего.

Для достижения поставленной цели потребовалось решение ряда задач:

- оценка изменений основных характеристик исследуемых в работе видов стока за период 1949–1987 гг. (базовый период) по отношению к периоду 1988–2018 гг. (современный период);
- анализ изменения основных климатических факторов формирования годового и максимального стока;
- получение прогнозных оценок изменения речного стока до 2035 г.

Исходные данные

Для решения указанных выше задач в исследовании использованы материалы наблюдений Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь по действующим гидрологическим постам за период инструментальных наблюдений, опубликованные в материалах государственных кадастров. Для выявления пространственно-временной изменчивости речного стока, температуры воздуха и атмосферных осадков обработаны временные ряды за период с 1949 по 2018 гг. ($n = 70$ лет). В качестве исходной гидрометеорологической информации использованы данные наблюдений за месячными и годовыми суммами атмосферных осадков, среднемесячными и среднегодовыми температурами атмосферного воздуха на 50 метеостанциях,

среднемесячными расходами речного стока на 84 гидрологических постах, равномерно расположенных по территории Беларуси. Приведение рядов с малой продолжительностью периодов наблюдений по выбранным для исследования гидропостам произведено с помощью компьютерного программного комплекса «Гидролог-2» [8].

Методы исследования

В основе методологии исследования лежит систематизация и анализ многолетних рядов наблюдений за среднегодовыми расходами и максимальными расходами весеннего половодья рек Беларуси. Анализ многолетней изменчивости характеристик стока изучаемых рек проводился дифференцированно, так как гидрологический режим средних и особенно малых рек не идентичен таковому крупных рек. Малые реки особенно чувствительны к условиям их формирования и служат интегральным индикатором сложных природно-антропогенных процессов, происходящих на их водосборах. Условно реки отнесены к следующим группам:

- реки с площадью водосбора более 30 000 км²;
- реки с площадью водосбора от 10 000 км² до 30 000 км²;
- реки с площадью водосбора от 2 000 км² до 10 000 км²;
- реки с площадью водосбора до 2 000 км².

В силу того, что одним из основных факторов, определяющих общую величину и внутригодовое распределение стока, является климат, целесообразно изучать весь гидрологический цикл в речном бассейне, включая изменение во времени и пространстве количества атмосферных осадков и температуры воздуха.

Полученные результаты

Наблюдаемые изменения климата

За период 1949–2018 гг. средняя скорость роста температуры на территории Беларуси составила около 0,31°C/10 лет, тогда как в течение периода с 1969 по 2018 гг. она увеличилась до 0,46°C /10 лет.

Для выявления особенностей колебания температуры воздуха в бассейнах крупных рек Беларуси построены разностные интегральные кривые за 1949-2018 гг. по 8 метеостанциям (рисунок 1).

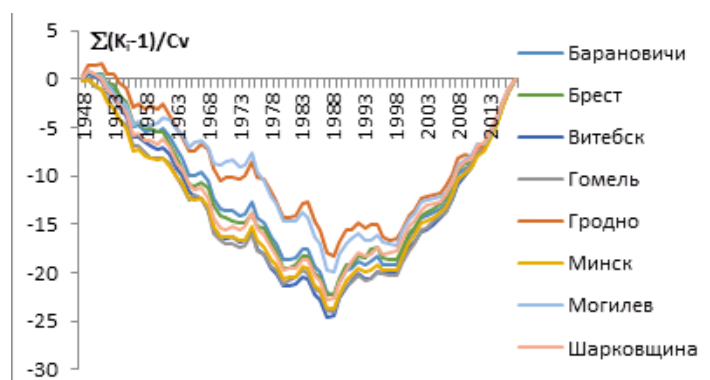


Рисунок 1 – Разностные интегральные кривые среднегодовых температур воздуха по метеостанциям Беларуси

Ординаты разностно-интегральных кривых вычислены как нарастающая сумма $\sum(K_i - 1)/c_v$, где $K_i = Q_i/\bar{Q}$ – модульный коэффициент, Q_i – среднегодовые температуры воздуха, i – номер вычисляемого члена последовательности, $\bar{Q}$ – среднемноголетнее значение температуры воздуха, c_v – коэффициент вариации.

Построенные разностные интегральные кривые среднегодовой температуры атмосферного воздуха показывают, что расчетный период 1949–2018 гг. включает периоды понижения и повышения температуры, причем с 1988 года находится в положительной фазе – тенденции повышения. Из рисунка 1 видно, что 1988 год соответствует началу интенсивного роста среднегодовых температур воздуха. Для оценки климатических изменений в соответствии с рекомендациями Всемирной метеорологической организации исходный ряд был разбит на два периода продолжительностью 30 лет и более: 1) с 1949 по 1987 гг. и 2) с 1988 по 2018 гг.

Анализ данных о температуре воздуха за период 1988–2018 гг. по сравнению с периодом 1949–1987 гг. указывает на её рост по всей территории Беларуси. Рост среднегодовой температуры по территории Беларуси за второй исследуемый период составил $1,31^\circ\text{C}$.

Так как изменение температуры носит неравномерный характер как внутри года, так и в пространстве, дальнейшее исследование температур атмосферного воздуха выполнено по группам, показанным на рисунке 2.

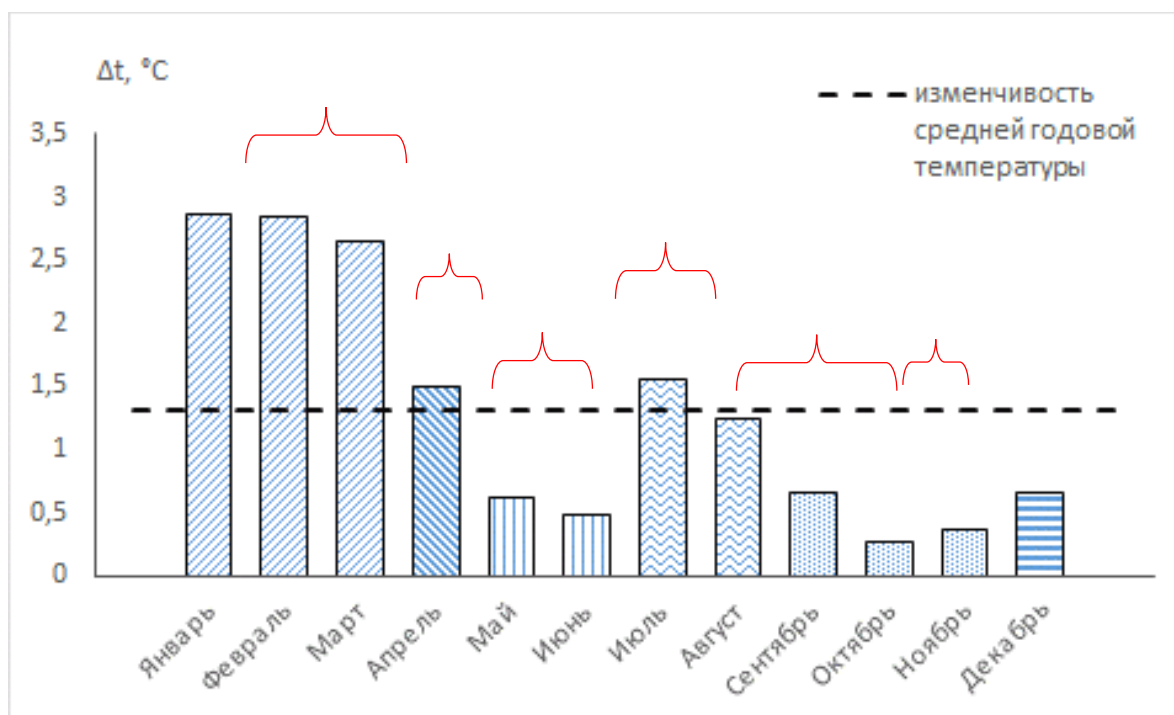


Рисунок 2 – Изменение среднегодовой и среднемесячных температур воздуха по за период 1988–2018 гг. по отношению к периоду 1949–1987 гг., °C

Результаты пространственного обобщения изменений температуры воздуха по выделенным группам представлены в виде карт, подготовленных в ArcGIS (рисунок 3).

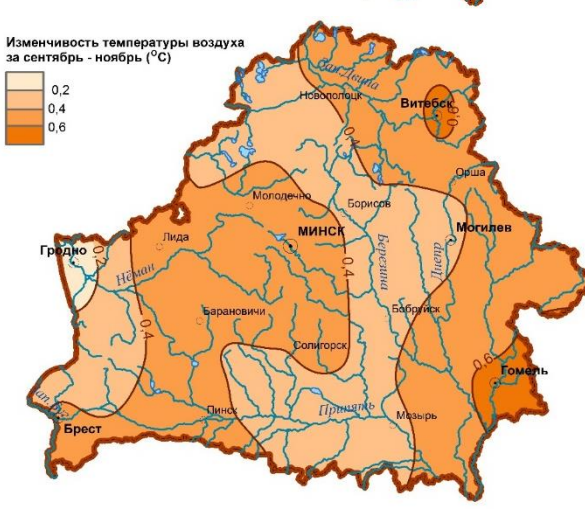
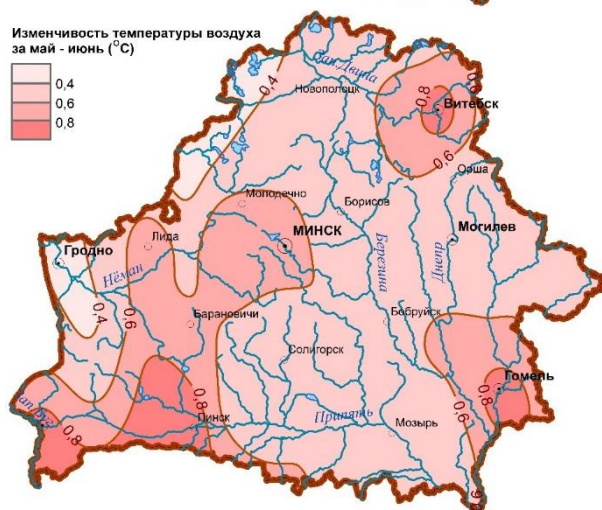
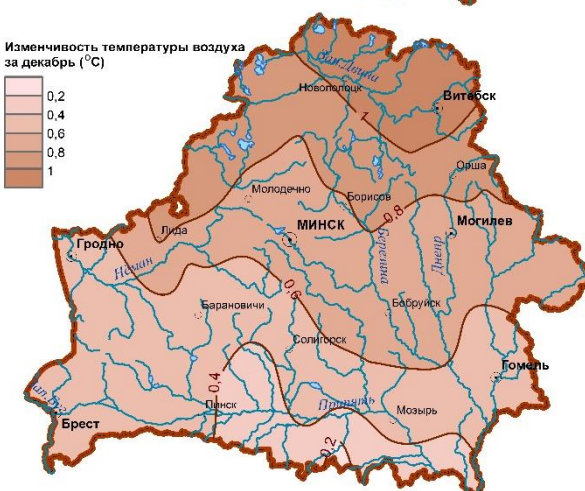
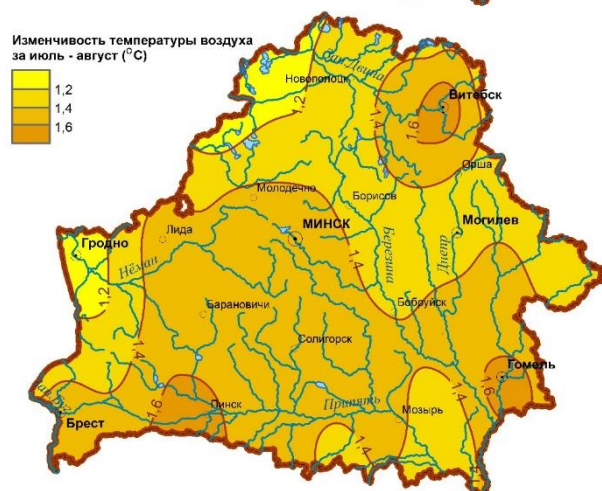
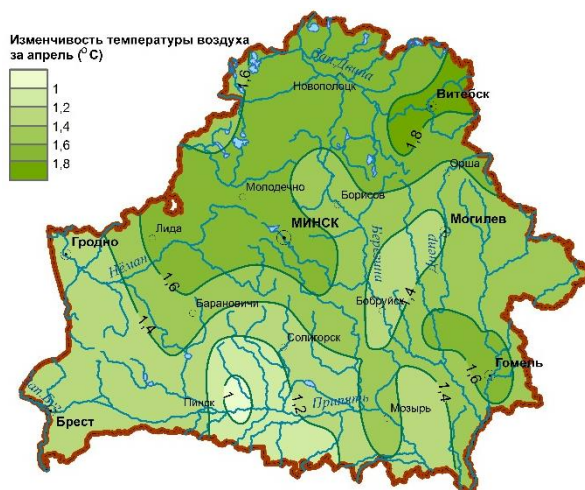
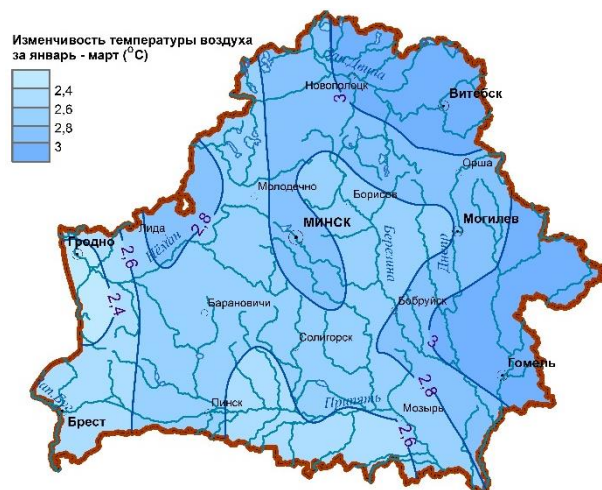


Рисунок 3 – Изменчивость температур воздуха за период 1988–2018 гг. по отношению к периоду 1949–1987 гг., °C

В отличие от изменения температуры воздуха, существенного изменения суммарного количества осадков в годовом разрезе не произошло. Стоит отметить, что изменение количества осадков, как и температуры, характеризуется неоднозначностью по бассейнам и месяцам. Наибольшая положительная динамика в изменении осадков (ΔP) наблюдается в феврале, марте, июле. В октябре увеличение осадков наблюдается в бассейнах рек Березина, Днепр, Западная Двина и Сож. Отрицательная тенденция в изменении количества

осадков характерна для апреля и августа (кроме бассейна реки Западная Двина).

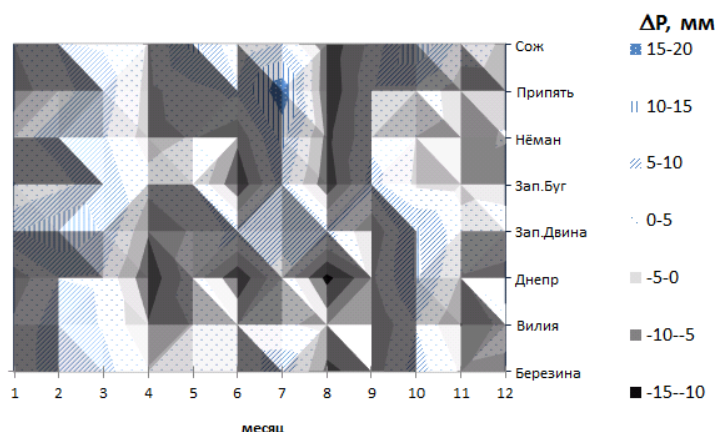


Рисунок 4 – Изменение количества осадков по месяцам для бассейнов рек Беларуси за период 1988–2018 гг. по отношению к периоду 1949–1987 гг.

Изменение годового и максимального стока

Количественные показатели изменчивости стока за два исследуемых периода приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Изменчивость исследуемых видов стока рек Беларуси за современный период по отношению к базовому периоду, %

Река-створ	Площадь водосбора, км ²	Средние годовые расходы воды	Максимальные расходы воды весеннего половодья
<i>реки с площадью водосбора > 30 000 км²</i>			
р. Припять – г. Мозырь	101000	11	-33
р. Днепр – г. Речица	58200	6	-42
р. Западная Двина – г. Полоцк	41700	12	-19
р. Сож – г. Гомель	38900	8	-49
р. Неман – г. Гродно	33600	4	-44
<i>реки с площадью водосбора > 10 000 км²</i>			
р. Березина – г. Бобруйск	20300	-2	-53
р. Днепр – г. Орша	18000	12	-31
р. Сож – г. Славгород	17700	13	-48
р. Неман – с. Белица	16700	-8	-53
р. Виля – с. Михалишки	10300	-6	-57
<i>реки с площадью водосбора > 2 000 км²</i>			
р. Мухавец – г. Брест	6590	-18	-64
р. Березина – г. Борисов	5690	2	-42
р. Ясельда – д. Сенин	5110	-4	-49
р. Дисна – г. п. Шарковщина	4720	-2	-38
р. Неман – г. Столбцы	3070	-8	-59
<i>реки с площадью водосбора ≤ 2 000 км²</i>			
р. Виля – с. Стешицы	1230	4	-52
р. Цна – с. Дятловичи	1100	1	-4
р. Ясельда – г. Береза	1040	6	-67
р. Уза – с. Прибор	760	9	-55
р. Полота – с. Янково	618	15	-18

Как показал анализ изменения стока на исследуемых гидропостах наибольшее изменение среднегодового стока произошло для крупных рек (в среднем по Беларуси составляет 6%), а изменение максимального стока наиболее выражено для мелких и средних рек (снижение стока в среднем на 43%). Для крупных рек снижение максимального стока достигает 37%. Результаты пространственного обобщения изменений среднего годового стока и максимального стока весеннего половодья представлены на рисунке 5. Анализ полученных карт позволяет сделать вывод, что увеличение годового стока произошло для бассейнов рек Западной Двины и Днепра. Для остальной части Беларуси в основном характерно незначительное снижение годового стока.

Рассмотренные выше климатические изменения оказывают непосредственное влияние на водный режим рек Беларуси. Для оценки зависимости между величинами стока, температурами воздуха и осадками определены коэффициенты корреляции в рамках корреляционных матриц между этими величинами. Анализ тесноты связи расходов речного стока с метеопараметрами показал, что основными климатическими факторами, определяющими сток весеннего половодья, являются осадки за зимний и весенний периоды и температура воздуха за январь–март и август. Коэффициенты корреляции среднегодовых расходов с суммарным количеством осадков за январь–сентябрь для большинства рядов стока статистически значим и достигает наибольших значений.

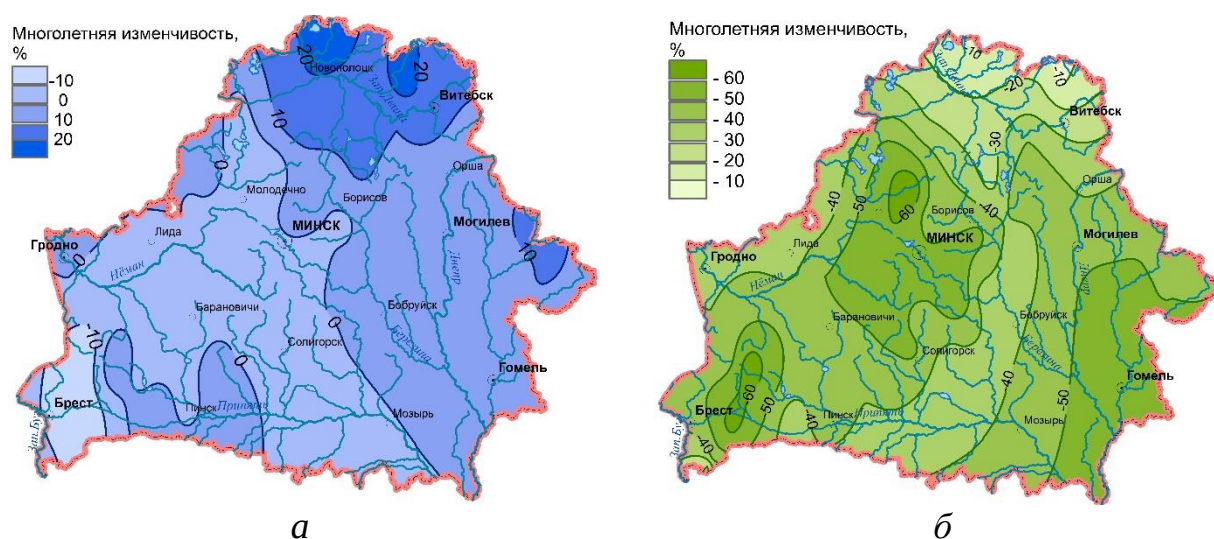
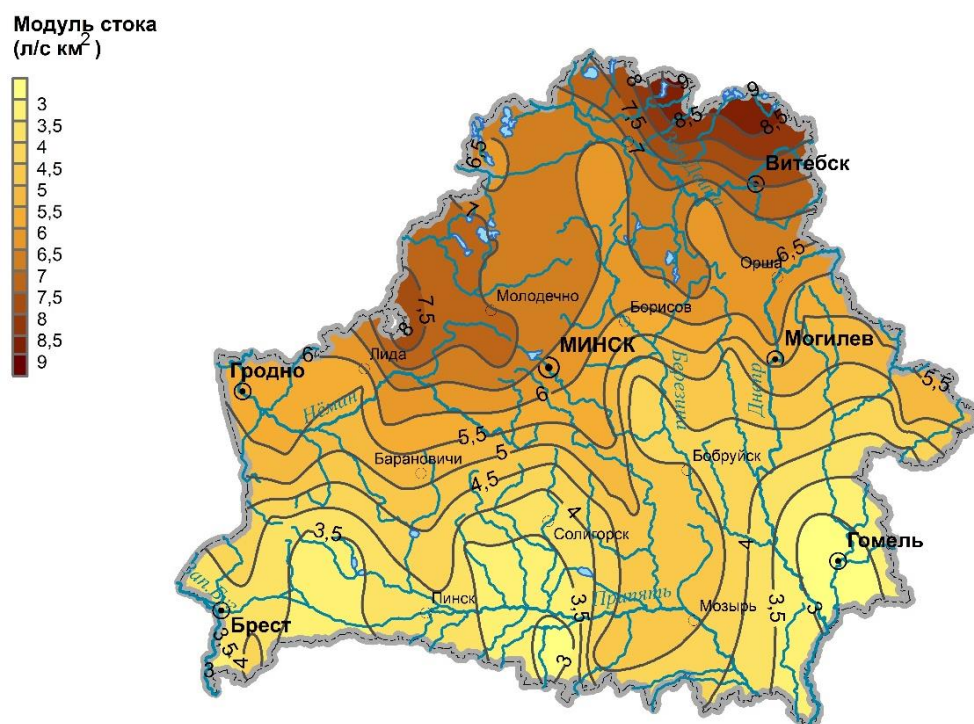


Рисунок 5 – Изменение стока (%) за период 1988–2018 гг. по отношению к периоду 1949–1987 гг.: а – среднегодовой сток, б – максимальный сток весеннего половодья

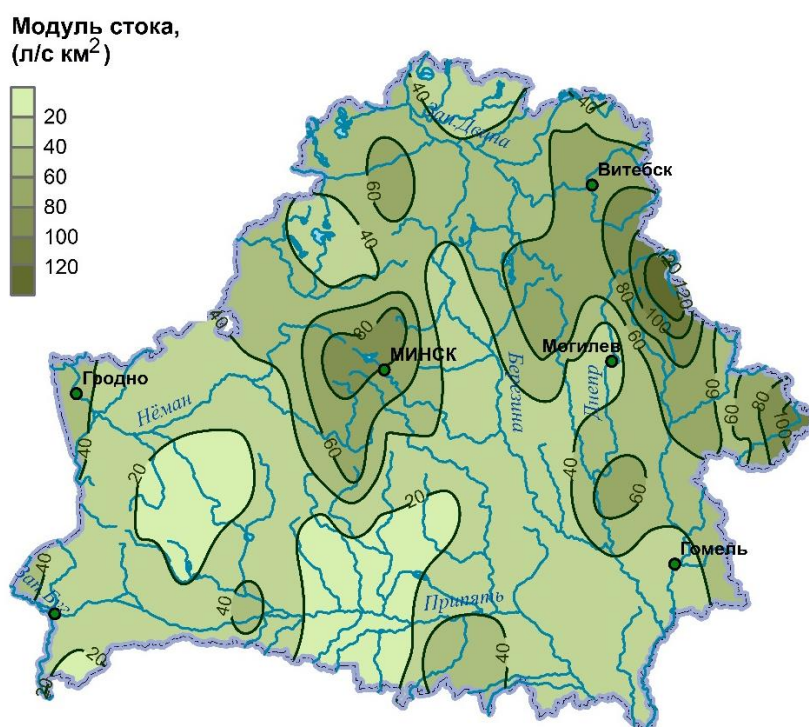
Оценки возможных изменений стока рек Беларуси в XXI веке на основе моделей климата

Для получения прогнозных оценок изменения стока рек Беларуси на период до 2035 г. адаптирован метод гидролого-климатических расчетов, предложенный В. С. Мезенцевым, основанный на совместном решении уравнений водного и теплоэнергетического балансов [10]. Разработанная модель использована для оценки возможных изменений водных ресурсов рек в зависимости от климатических колебаний и антропогенных воздействий на характеристики водосборов. Обобщенные прогнозные оценки изменения стока получены с учетом

комбинации сценариев A1B и B1 изменения климата, а также уточнения с использованием мультимодельного ансамбля из четырех сценариев CMIP5, предложенного Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) в 2013 году в Пятом докладе по изменению климата [11]. Карты прогнозных оценок стока рек Беларуси на период до 2035 года приведены на рисунке 6.



а



б

Рисунок 6 – Прогнозные оценки изменения стока рек Беларуси до 2035 года:
а – среднегодовой сток, б – максимальный сток весеннего половодья

Заключение

Из результатов оценок тенденций изменения климатических характеристик следует, что за период 1988–2018 гг. в среднем на 1,3°C произошло повышение температуры воздуха на территории Беларуси. При этом отмечается существенная неравномерность внутригодового распределения повышения температуры воздуха с максимальным повышением в зимний период (до 3,2°C в бассейне р. Западная Двина и до 2,4 °C на юго-западе Беларуси), с минимальным повышением в осенний период (до 0,8°C). В отличие от изменения температуры воздуха существенного изменения суммарного количества осадков в годовом разрезе не произошло.

В результате выполненных исследований по динамике стока установлено, что максимальный сток весеннего половодья рек Беларуси за 1988–2018 гг. уменьшился по сравнению со стоком базового периода (1949–1987 гг.) в среднем на 41%, а среднегодовой сток увеличился в среднем на 3,5%.

По результатам полученных прогнозных оценок можно сделать следующие выводы о изменении стока рек Беларуси до 2035 года:

- среднемноголетнее значение годового стока рек Беларуси в целом изменится от -10% (в бассейне Припяти) до 10 % (в бассейне Западной Двины);
- для среднемноголетних значений максимального стока рек Беларуси характерно снижение до 5 % для бассейнов Днепра и Припяти, увеличение на 5 % в бассейнах Западной Двины и Немана.

Работа выполнена в рамках задания 1.04 НИР «Оценка гидролого-климатических режимов территории Беларуси в современных условиях» (подпрограммы «10.1 Природные ресурсы и их рациональное использование» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021-2025 годы).

Список использованных источников

1. Логинов, В. Ф. Современные изменения климата Беларуси / В. Ф. Логинов // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2022. – Т. 8, № 1. – С. 51–74.
2. Лысенко, С. А. Пространственно-временные изменения начальной фазы современного потепления климата / С. А. Лысенко, В. Ф. Логинов // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2021. – Т. 65, № 5. – С. 618–627.
3. Георгиевский, В. Ю. Оценка влияния возможных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы рек территории бывшего СССР / В. Ю. Георгиевский // Метеорология и гидрология. – 1996. – № 11. – С. 89–99.
4. Комлев, А. М. Закономерности формирования и методы расчетов речного стока / А. М. Комлев. – Пермь : Изд-во ПГУ, 2002. – 162 с.
5. Волчек, А.А. Закономерности формирования элементов водного баланса речных водосборов Беларуси в современных условиях: автореф. дис. докт. геогр. наук: 25.00.27 / А.А. Волчек; Институт географии РАН. – М., 2006. – 38 с.
6. Волчек, А. А. Изменения стока рек Беларуси в условиях современного потепления / А. А. Волчек, О. П. Мешик // Актуальные научно-технические и экологические проблемы мелиорации земель : сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию мелиоративного образования в Горках, 14–15 марта 2019 г. / под ред. В. И. Желязко. – Горки : РПЦ «Печатник», 2019. – С. 14–18.
7. Бусько, Е. Г. Особенности трансформации стока рек Беларуси / Е. Г. Бусько, А. А. Волчек // Актуальные проблемы экологии : сборник научных статей по материалам XII Международной научно-практической конференции, Гродно, 4–6 окт. 2017 г. / Гродн. гос.

ун-т ; ред. кол. : В. Н. Бурдь (отв. ред.), Г. Г. Юхневич, И. М. Колесник, О. М. Третьякова. – Гродно : ЮрСаПринт, 2017. – С. 173–178.

8. Волчек, А. А. Автоматизация гидрологических расчетов / А. А. Волчек // Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды: Труды междунар. науч.-практ. конф. по проблемам водохозяйственного, промышленного и гражданского строительства и экономико-социальных преобразований в условиях рыночных отношений / Брест. политехн. институт. – Биберах– Брест–Ноттингем, 1998. – С. 55–59.

9. Кузьменко, Я. В. Оценка и прогнозирование стока малых рек в условиях антропогенных воздействий и изменений климата / Я. В. Кузьменко, Ф. Н. Лисецкий, В. И. Пичура // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – Выпуск № 6. – С. 1–9.

10. Мезенцев, В.С. Гидролого-климатическая гипотеза и примеры ее использования / В.С. Мезенцев // Водные ресурсы, 1995. – Том 22, №3. – С. 299 – 301.

11. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата/ А. А. Волчек, В. Н. Корнеев, С. И. Парфомук, И. А. Булак // под общ. ред. А. А. Волчек, В. Н. Корнеева. — Брест : Издательство «Альтернатива», 2017. – 225 с.

УДК 502.63

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЧНЫХ ВОД

А. А. Волчек¹, М. А. Таратенкова²

¹ Доктор географических наук, профессор, профессор кафедры природообустройства факультета инженерных систем и экологии
УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail : volchak@tut.by

² Старший преподаватель кафедры водоснабжение, водоотведение и охраны водных ресурсов УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail : taratenkava@mail.ru

Реферат

Данная статья содержит сведения вероятностный прогноз гидрохимического режима речных вод на примере реки Мухавец. Анализ проведенных данные позволил получить закон распределения гидрохимических параметров и рассчитать 5 % и 95 % обеспеченные величины по таким показателям, как растворенный кислород, БПК₅, взвешенные вещества, общая минерализация, удельная электропроводность, ХПК, рН, магний-ион, гидрокарбонат-ион, кальций-ион, сульфат-ион, хлорид-ион. Проведенные исследования также позволили выявить изменение закономерностей между макро-ионами и общей минерализацией по сравнению с фоновыми значениями. Выявленные закономерности распределения обеспеченности гидрохимических показателей позволяет проектировать водоочистные сооружения с необходимой степенью надежности и экономической обоснованности, а также дает возможность прогнозирования динамики гидрохимических параметров речных вод.

Ключевые слова: гидрохимический режим, обеспеченность, коэффициент вариации, коэффициент асимметрии.

PREDICTION OF HYDROCHEMICAL PARAMETERS OF RIVER WATERS

A. A. Volchak, M. A. Taratenkava

Abstract

This article contains information about the probabilistic forecast of the hydrochemical regime of river waters on the example of the Mukhavets River. The analysis of the data made it possible to obtain the law of distribution of hydrochemical parameters and calculate 5% and 95% secured values for such indicators as dissolved oxygen, BOD₅, suspended solids, total mineralization, electrical conductivity, COD, pH, magnesium ion, hydrocarbonate ion, calcium -ion, sulfate ion, chloride ion. The conducted studies also revealed the change in patterns between macro-ions and total mineralization compared to background values. The revealed patterns of the distribution of the availability of hydrochemical indicators make it possible to design water treatment facilities with the required degree of reliability and economic feasibility, and also makes it possible to predict the dynamics of hydrochemical parameters of river waters.

Keywords: hydrochemical regime, availability, coefficient of variation, coefficient of asymmetry.

Введение. Интенсификация антропогенного воздействия на водные ресурсы требует изменения к нормированию и методологическому подходу при определении количественных характеристик. Зачастую, использование среднегодовых гидрохимических параметров не дает возможность адекватной оценки состояния водных экосистем и не позволяет сделать адекватный прогноз на ближайшую перспективу.

При проектировании водохозяйственных, строительных и дорожных сооружений широко применяется критерий обеспеченности гидрологических величин. Данный показатель отражает вероятность превышения характеристики среди возможных ее значений. Чаще всего требуется определить гидрологическую характеристику заданной обеспеченности, что легко решается, если известен закон распределения данной величины. Однако, на практике закон распределения чаще всего не известен. Что же касается определения обеспеченности гидрохимических величин, то упоминай в литературе, не встречается. Поэтому исследование данного вопроса представляет практический интерес для инженерно-технических расчетов при водохозяйственном проектировании.

Целью данной работы является выявление закономерностей пространственно-временной структуры гидрохимического режима, которые позволяют выявить прогнозные тенденции в зависимости от преобладающих сценариев развития климата в будущем.

В качестве объекта исследования выбрана реки Мухавец. Река Мухавец является типичной рекой Полесья, испытывающей нагрузку антропогенного характера от урбанизированной территории. На водосборе реки расположены: г. Брест, г. Жабинка и г. Кобрин.

Основная часть

В качестве исходного материала использованы статистические данные Государственного водного кадастра Республики Беларусь за период с 2013 по 2019 гг. по таким компонентам как содержанию растворенного кислорода, взвешенные вещества, БПК₅ (биологическое потребление кислорода за 5 суток), рН, общая минерализация, удельная электропроводность, кальций-ион, магний-ион, гидрокарбонат-ион, хлорид-ион, сульфат-ион, ХПК (химическое потребление кислорода) в воде по створам реки Мухавец [1].

Эмпирическая обеспеченность определялась по формуле:

$$p = \frac{m}{(n+1)} \cdot 100\% \quad (1)$$

где m – порядковый номер x в ранжированном ряду;
 n – длина ряда.

По вышеперечисленным показателям построены эмпирические кривые обеспеченности, по которым подобран закон распределения обеспеченности. Соответствие эмпирического закона распределения обеспеченности осуществлялось для логнормального распределения по критерию согласия χ^2 . Общий вид уравнения распределения плотности вероятности показателей имеет вид:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ \frac{1}{\sigma_z x} f(u) = \frac{1}{\sigma_z x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right), & x > 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$u = \frac{(z - m_z)}{\sigma_z} \quad (3)$$

где s – интегрированная переменная;

m_z – математическое ожидание случайной величины Z ;

σ_z – среднее квадратическое отклонение случайной величины Z .

В качестве примера на рисунке 1 представлены динамика содержания взвешенных веществ, приведена гистограмма распределения и кривая распределения, построенная по логнормальному закону распределения для створа р. Мухавец выше г. Брест. Ряды наблюдений гидрохимических параметров имеют, как правило, ограниченную длину, что не позволяет определить значения максимальной или минимальной обеспеченности. Для решения этой задачи построена аналитическая кривая распределения, которая логически определяет значение параметра любой обеспеченности.

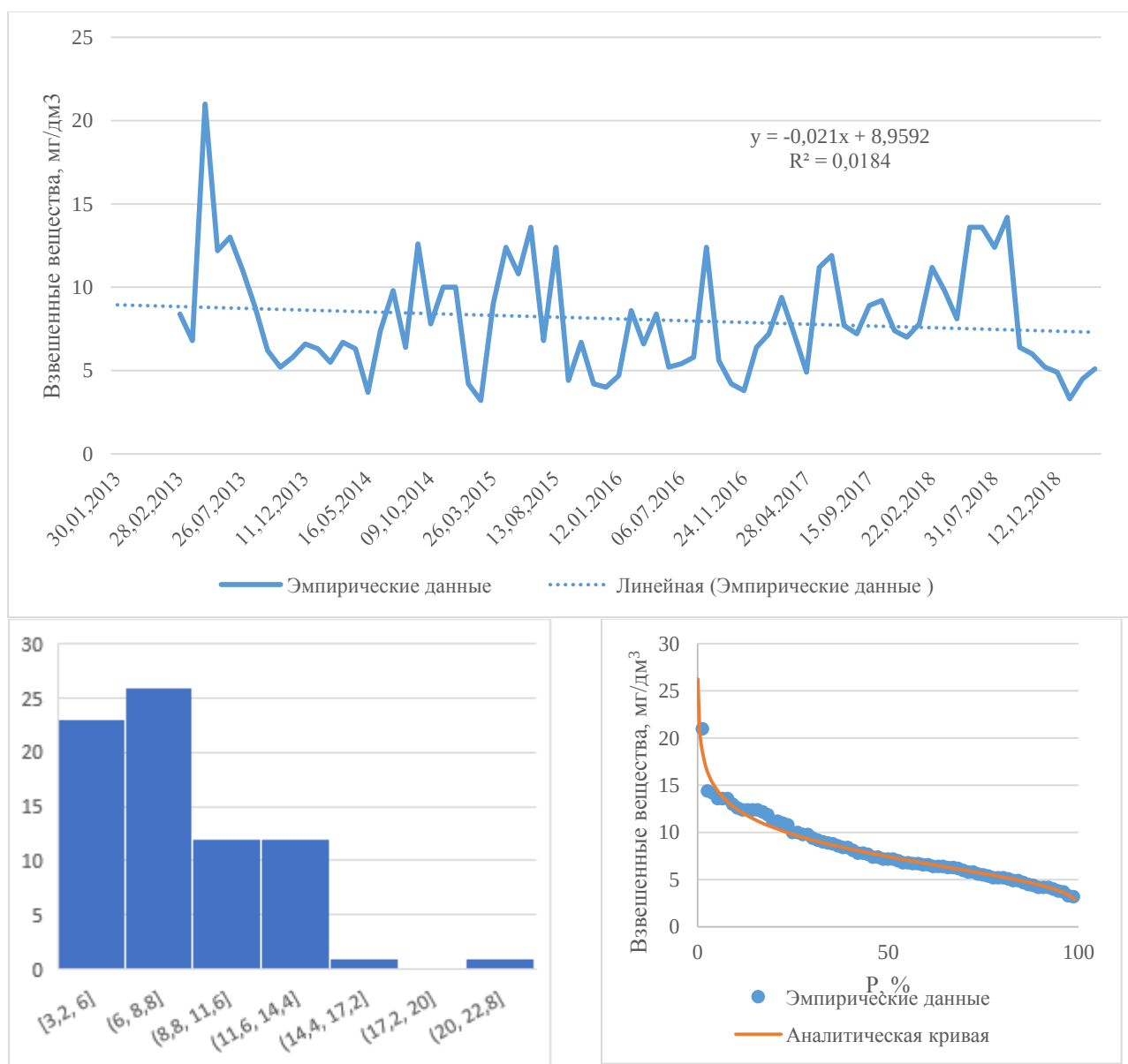


Рисунок 1 – Динамика содержания взвешенных веществ, гистограмма распределения и кривая распределения

По аналитической кривой, представленной на рисунке 1 были найдены величины гидрохимических параметров с обеспеченностью 5 % и 95 %. Эти данные сведены в таблицу 1.

Сравнивая средние данные по гидрохимическим показателям из таблицы 1 с 95 % обеспеченными величинами, прослеживается значительная разница, что сказывается на водохозяйственных расчетах при проектировании сооружений водоподготовки.

Таблица 1 – Обеспеченные величины гидрохимических параметров

Показатель	р. Мухавец выше Кобрина			р. Мухавец ниже Кобрина			р. Мухавец выше Жабинки			р. Мухавец ниже Жабинки			р. Мухавец выше Бреста		
	Среднее	Обес- печенность		Среднее	Обес- печенность		Среднее	Обес- печенность		Среднее	Обес- печенность		Среднее	Обес- печенность	
		5 %	95 %		5 %	95 %		5 %	95 %		5 %	95 %		5 %	95 %
Растворен- ный кисло- род, мгО ₂ /дм ³	7,3	13,0	3,6	8,2	12,8	5,0	8,4	12,6	5,3	8,2	12,6	5,0	8,6	12,0	6,0
БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	1,8	2,7	1,1	2,3	3,3	1,5	2,0	3,1	1,3	2,1	3,1	1,2	1,9	2,6	1,3
Взвешенные вещества, мг/дм ³	8,4	16,0	3,5	9,6	19,0	3,9	9,2	17,8	4,2	9,5	17,0	4,5	8,1	14,6	3,8
рН	7,6	7,9	7,3	7,7	8,1	7,2	7,7	8,1	7,3	7,7	8,1	7,3	7,7	8,1	7,4
ХПК, мгО ₂ /дм ³	43,0	54,5	33,2	47,0	58,5	37,1	44,8	57,3	34,2	46,4	58,1	36,4	45,1	58,7	33,6
Общая минерализа- ция мг/дм ³	354	418	297	354	417	296	347	401	298	351	410	298	338	398	285
Удельная электропро- водность,	478	543	418	475	547	410	468	547	397	474	552	403	456	528	391
Кальций- ион, мг/дм ³	85,8	107,1	67,4	86,2	107,4	67,9	88,3	112,8	67,5	89,4	115,1	67,7	85,8	111,3	64,3
Магний-ион, мг/дм ³	11,2	18,4	2,9	10,9	18,2	5,8	11,6	18,7	6,6	11,7	19,2	6,5	10,7	18,2	5,6
Гидрокарбо- нат-ион, мг/дм ³	190,7	228,1	157,6	193,4	229,3	161,3	189,2	228,6	154,5	192,3	237,4	153,3	181,0	217,5	148,8
Сульфат- ион, мг/дм ³	38,9	60,0	23,3	39,8	59,8	24,8	41,0	61,8	25,3	42,8	62,2	27,8	42,0	61,9	26,8
Хлорид- ион, мг/дм ³	32,0	43,6	22,6	31,5	45,2	20,8	88,3	112,8	67,5	30,6	44,1	20,1	28,5	39,4	19,8

Как видно из таблицы 1, средние значения показателей превышают их обеспеченные величины, что ведет к завышению объемов сооружений водоподготовки и увеличению объемов реагентов, применимых в технологических схемах подготовки воды, что в свою очередь ведет и к увеличению осадков, образующихся в результате реагентной обработки.

Для более точного анализа данные в таблице 2 подсчитаны статистические показатели, характеризующие ряды данных по гидрохимическим показателям.

Таблица 2 – Основные статистические показатели

Показатели	Коэффициент вариации	Коэффициент асимметрии
1	2	3
р. Мухавец выше Кобрин		
Растворенный кислород	0,33	0,03
БПК ₅	0,25	1,22
Взвешенные вещества	0,50	1,40
рН	0,03	0,31
ХПК	0,14	-0,41
Минерализация	0,11	2,47
Электропроводность	0,07	-0,25
Кальций-ион	0,14	0,19
Магний-ион	0,32	0,45
Гидрокарбонат-ион	0,11	-0,70
Сульфат-ион	0,28	0,51
Хлорид-ион	0,18	-0,23
р. Мухавец ниже Кобрин		
Растворенный кислород	0,27	0,02
БПК ₅	0,24	1,00
Взвешенные вещества	0,45	0,68
рН	0,04	0,87
ХПК	0,13	-0,45
Минерализация	0,11	1,64
Электропроводность	0,09	-0,20
Кальций-ион	0,14	0,29
Магний-ион	0,33	0,77
Гидрокарбонат-ион	0,10	-0,80
Сульфат-ион	0,26	0,43
Хлорид-ион	0,23	0,61
р. Мухавец выше Жабинки		
Растворенный кислород	0,24	-0,37
БПК ₅	0,29	0,93
Взвешенные вещества	0,41	0,55
рН	0,03	0,05
ХПК	0,15	-0,08
Минерализация	0,09	0,29
Электропроводность	0,10	-0,05
Кальций-ион	0,15	0,14
Магний-ион	0,28	-0,01
Гидрокарбонат-ион	0,11	-1,58
Сульфат-ион	0,27	0,61
Хлорид-ион	0,23	0,31
р. Мухавец ниже Жабинки		
Растворенный кислород	0,25	-0,39
БПК ₅	0,27	1,08
Взвешенные вещества	0,42	1,20
рН	0,03	0,89
ХПК	0,14	0,45
Минерализация	0,10	-0,13
Электропроводность	0,09	-0,27
Кальций-ион	0,16	0,18
Магний-ион	0,30	0,19
Гидрокарбонат-ион	0,12	-1,42
Сульфат-ион	0,24	0,43
Хлорид-ион	0,43	0,04

Продолжение таблицы 2

1	2	3
р. Мухавец выше Бреста		
Растворенный кислород	0,21	0,14
БПК ₅	0,23	0,78
Взвешенные вещества	0,41	1,00
pH	0,03	0,25
ХПК	0,17	1,24
Минерализация	0,09	-0,27
Электропроводность	0,09	-0,72
Кальций-ион	0,16	0,41
Магний-ион	0,33	0,49
Гидрокарбонат-ион	0,10	-1,36
Сульфат-ион	0,26	0,74
Хлорид-ион	0,19	-0,66

Анализируя данные таблицы 2, можно говорить о том, что коэффициент вариации не превышает 10 % для таких показателей как удельная электропроводность и pH на всех створах реки Мухавец. Это подтверждает незначительную степень рассеивания данных и их однородность. По всем остальным показателям коэффициент вариации не превышает 33 %, что означает среднюю и значительную степень рассеивания и однородность. Исключение составляет коэффициент вариации по взвешенным веществам, который превышает 33 %, что свидетельствует о неоднородности данных. Если рассматривать значения этого коэффициента относительно параметров по створам, то здесь тоже прослеживается однородность здесь разбежка составляет не более 6 %.

Коэффициент асимметрии показывает скос распределения данных, а знак – его направление. Исходя из данных таблицы 2 можно сделать вывод о том, что на всех створах наблюдения распределение имеет скос влево по таким показателям как гидрокарбонат-ион и удельная электропроводность, а по показателям взвешенные вещества, БПК₅, pH, Сульфат-ион, кальций-ион – влево. Что же касается градации по значениям этих коэффициентов, то значительная асимметрия наблюдается на всех створах по таким параметрам как, БПК₅, взвешенные вещества и гидрокарбонат-ион. На всех остальных створах значение асимметрии носит разнонаправленный характер.

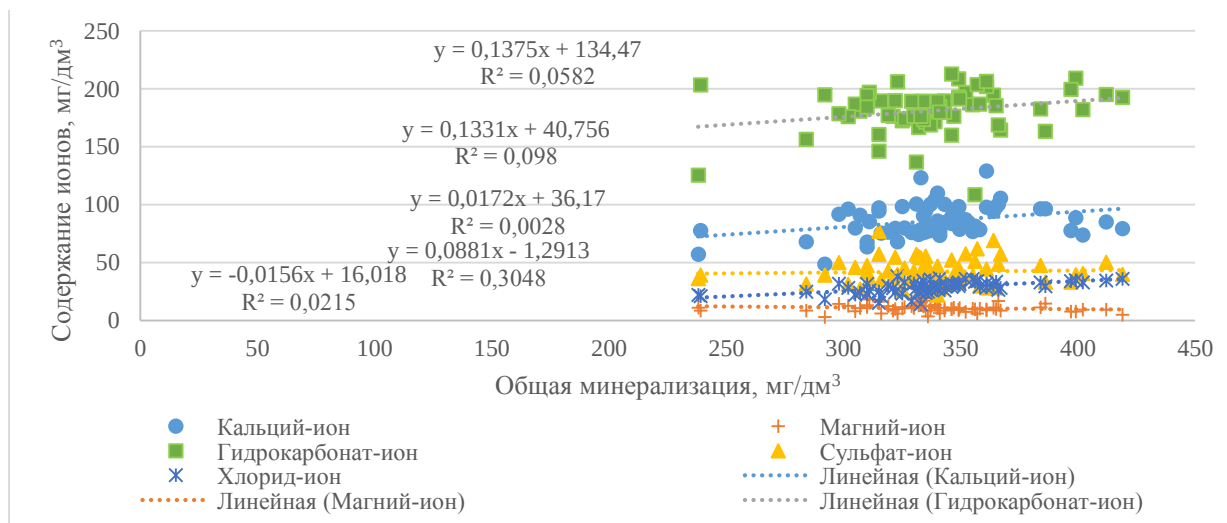


Рисунок 2 – График зависимости макро-ионов от общей минерализации

По результатам таблицы 2 видно, что временные ряды по магний-иону, кальций-иону, сульфат-иону, гидрокарбонат-иону, хлорид-иону по разным створам одной реки ведут себя по-разному. Направление асимметрии и значение данного критерия значительно отличается от створа к створу, например, незначительная асимметрия наблюдается по такому показателю как растворенный кислород на створах выше и ниже г. Кобрин, однако на створах ниже и выше г. Жабинка асимметрия становится значительной и меняет свое направление. На створе выше г. Бреста коэффициент асимметрии снова меняет свой знак, и его значение снова попадает в область незначительных значений. Если проследить их зависимость от общей минерализации, представленной на рисунке 2 (здесь график приведен только по створу выше г. Брест), то здесь отчетливо видно отсутствие линейной зависимости от общей минерализации. Отсутствие линейной связи уже исследовалось по некоторым створам реки Мухавец в работе авторов [2, 3]. Проводя сравнение данных с фоновыми значениями, за которые можно принять наблюдения 1959-1960 гг.[4], можно отметить повышение минерализации и содержания ионов в воде реки Мухавец, а также изменения закономерностей между ионами и общей минерализацией. По данным [4] закономерность между общей минерализацией и макро-ионами носила линейный характер, чего не скажешь сейчас. Данные факт можно объяснить интенсивным освоением водных ресурсов и влиянием человеческой деятельности на гидрохимический режим реки Мухавец.

Заключение

Получен вероятностный прогноз: поопределенным законом распределения были построены аналитические кривые по всем створам наблюдения р. Мухавец по таким показателям как растворенный кислород, взвешенные вещества, БПК₅, ХПК, общая минерализация, удельная электропроводность, pH, магний-ион, кальций-ион, гидрокарбонат-ион, сульфат-ион, хлорид-ион и определены 5% и 95 % обеспеченные величины данных показателей. Сравнивая средние значения и обеспеченные величины можно сделать вывод об использовании в водохозяйственном проектировании завышенных значений данных показателей, что ведет собой дополнительные экономические издержки. Выполнен анализ статистических показателей таких, как коэффициент вариации и коэффициент асимметрии. На всех створах наблюдения распределение скошено влево по таким показателям как гидрокарбонат-ион и удельная электропроводность, а по показателям взвешенные вещества, БПК₅, pH, сульфат-ион, кальций-ион – вправо.

Выявленные закономерности распределения обеспеченности гидрохимических показателей позволяет проектировать водоочистные сооружения с необходимой степенью надежности и экономической обоснованности, а также дает возможность прогнозирования динамики гидрохимических параметров речных вод.

Список цитированных источников

1. Государственный водный кадастр: Водные ресурсы, их использование и качество воды (за 2006-2019 гг.). – Минск, ЦНИИКИВР, 2020. – 172 с
2. Волчек, А.А. Статистическое моделирование изменения макроионного состава рек на примере реки Мухавец / А.А. Волчек, М.А. Таратенкова // Сборник материалов IV Междуна-

родной научно-практической конференции, приуроченной к 1000-летию города Бреста «Актуальные проблемы наук о Земле исследования трансграничных регионов» в двух частях. Часть 2. – Брест: ,2019 года. С. 6–10.

3. Волчек, А.А. Моделирование гидрохимических показателей качества реки Мухавец // А.А. Волчек М.А. Таратенкова / Сборник материалов региональной научно-практической конференции, приуроченной к 50-летию кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов «Перспективные методы очистки природных и сточных вод». – Брест: БрГТУ, 2019. С. 18-23.

4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озер и расчеты основных характеристик их режима. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – Т.5 : Белоруссия и Верхнее Поднепренье / под ред. К.А. Ключевой. – 1107 с.

УДК 556.182

ОСОБЕННОСТИ ОПТИМАЛЬНОЙ СТРАТЕГИИ ВОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РЕГИОНАХ

А. А. Волчек¹, П. В. Шведовский², Л. В. Образцов³, Л. Г. Срывкина⁴

¹ Доктор географических наук, профессор, профессор
кафедры природообустройства факультета инженерных систем и экологии
УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail : volchak@tut.by

² К. т. н., профессор, профессор кафедры геотехники и транспортных
коммуникаций УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail : ofig@bstu.by

³ К. т. н., доцент, доцент кафедры экономики и организации строительства
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
e-mail : leonwladobr1@gmail.com

⁴ Старший преподаватель кафедры экономики и организации строительства
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
e-mail: lgsryvkina@mail.ru

Реферат

Рассмотрена методология построения математических моделей по выбору оптимальной стратегии водоохранной деятельности в регионах и для водопотребителей. При этом водная среда рассматривается как единое целое со всеми техническими, экологическими, экономическими и другими, связанными с ней, проблемами.

Особое внимание уделено увязке и оптимизации инвестиций на водоохраные мероприятия с максимизацией темпов роста экономики регионов при заданной динамике загрязнений водной среды при планируемых темпах роста экономики.

Приведен также анализ математических моделей оптимальной стратегии водоохранной деятельности и на уровне предупреждений – водопотребителей.

Ключевые слова: моделирование, стратегия, регион, водная среда, водохозяйственная деятельность, речной бассейн, водопотребители.

OPTIMAL STRATEGY FOR WATER PROTECTION ACTIVITY IN REGIONS

A. A. Volchak, P. V. Shvedovsky, L. V. Obrazcov, L. G. Sryvkina

Abstract

The methodology for constructing mathematical models to select the optimal strategy for water protection activity in the regions and for water consumers is considered. At the same time, the water environment is considered as a whole with all technical, environmental, economic and other problems associated with it.

Particular attention is paid to linking and optimizing investments in water protection measures with maximizing the growth rates of the regional economy in the conditions of a given dynamics of water pollution at the planned growth rates of the economy.

An analysis of mathematical models of the optimal strategy for water protection activities at the level of water consumer warnings is also given.

Key words: modeling, strategy, region, water environment, water management activities, river basin, water consumers.

Введение

Сегодня проблема оптимального водопользования стала актуальной как никогда ранее.

Новая экономическая политика и современные требования по экологизации производств и технологий требуют не столько сохранения водных ресурсов в состоянии, близком к сложившемуся, сколько восстановления их естественного потенциала.

Современные изменения скорости протекания большинства природных и техногенных процессов привели к нарушению биологического, геохимического, генетического, ресурсно-сырьевого и многих других видов природного равновесия и неопределенности состояния водной среды, стратегии и тактики взаимодействия населения, производства, экономики и природы [1, 2, 3].

Возрастающие в геометрической прогрессии масштабы антропогенного воздействия на водную среду, его отрицательные последствия и необходимость оптимизации этого воздействия требуют активного поиска путей решения сложившихся проблем.

Обоснование структуры моделей водоохранной деятельности

Распространенные сегодня модели экономического развития водных регионов обычно априорно предполагают неограниченность природных ресурсов либо не учитывают возможные потери, связанные с нарушением естественных процессов в природной среде, и затраты на предотвращение этих нарушений через комплекс водоохранных мероприятий.

Для понимания пределов возможностей разрабатываемых моделей необходимо отметить, что включение в них экономических характеристик сказывается на качестве информационного обеспечения, поскольку подобные показатели, входя в целевые функции и ограничения большинства задач оптимизации, оказываются заведомо наиболее неточной и неопределенной информацией, даже на фоне недостаточности или неадекватности других данных.

Уникальность водных систем практически исключает возможность активного эксперимента, поэтому важное значение для прогнозирования и оценки состояния водных ресурсов приобретает построение и использование соответствующих математических моделей.

В зависимости от пространственного и временного масштабов антропогенных воздействий модели могут иметь локальный, региональный или глобальный характер.

Базовый вариант структуры моделей для выбора стратегий водоохранной деятельности в речном бассейне (регионе) приведен на рис. 1 [4].

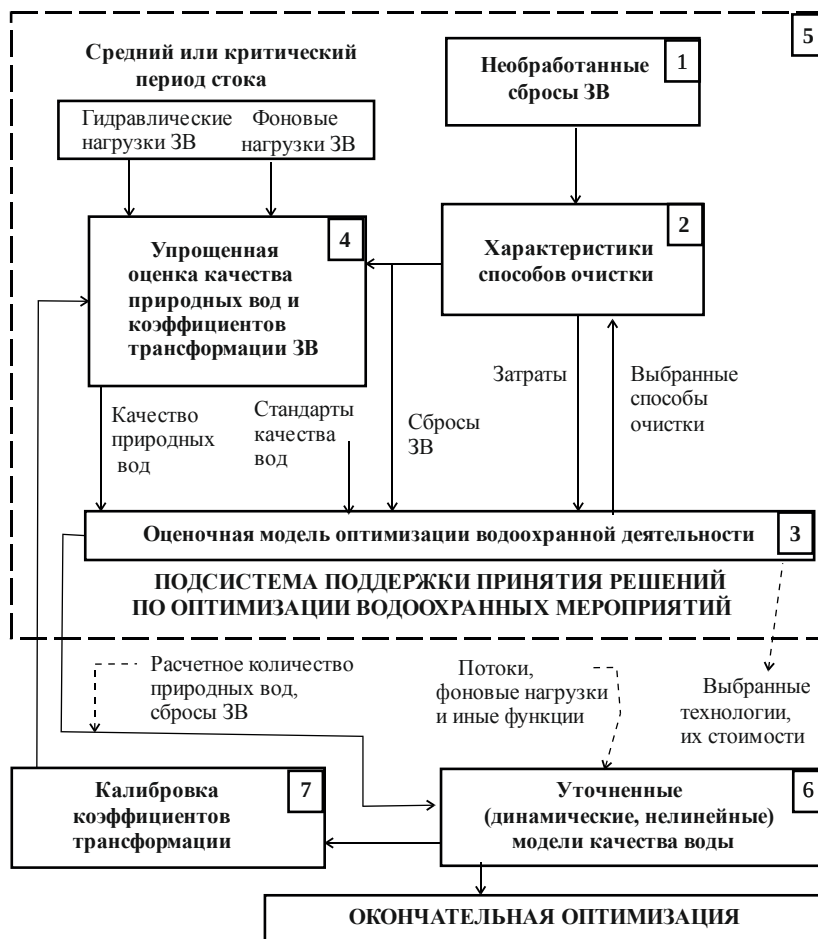


Рисунок 1 – Базовый вариант структуры моделей водоохранной деятельности

Блок 1 объединяет информацию по составу, объемам и режимам сбросов загрязняющих веществ (ЗВ). Возможные мероприятия по обработке этих сбросов систематизированы в блоке 2. При этом для каждого способа очистки сточных вод в разрезе учитываемых ЗВ или их групп заранее составляются производственные функции (ПФ), характеризующие связь между затратами на проведение соответствующих водоохранных мероприятий и степенью очистки.

Оценка качества природных вод должна базироваться на агрегированных уравнениях переноса и трансформации загрязняющих веществ и коэффициентах их трансформации, с учетом суммарного стока ЗВ и усредненной антропогенной нагрузки за критический (обычно маловодный) период времени. Генерируются оценочные коэффициенты трансформации ЗВ на участках реки и

оценивается качество природных вод (блок 4). Затем, зная качество природных вод в створах расчетных участков, можно провести сопоставление его с требованиями соответствующих стандартов, используя оценочную модель оптимизации водоохранной деятельности (блок 3), что позволяет выбрать рекомендуемые технологии очистки, допустимые объемы сбросов ЗВ и требуемые затраты на реализацию мероприятий.

Совокупность математических моделей, представленных блоками 1 – 4 (блок 5), формирует систему обоснования решений по оптимизации водоохранной деятельности. Поиск оптимальных решений здесь сводится к выбору состава мероприятий, обеспечивающих заданное качество вод при минимальных затратах.

Однако такие решения далеко не всегда могут приниматься как окончательные, поскольку они получены на основе приближенной и неполной информации. Поэтому целесообразно уточнить эти решения с помощью моделей (блок 6), учитывающих нелинейность зависимостей, характеризующих качество вод, динамические связи между многими параметрами и пр. Как правило, приходится оперировать временными рядами речного стока и сбросов ЗВ, а прогноз качества воды поступает в эти модели из результатов расчетов по оценочной модели оптимизации. Эти модели позволяют так же уточнить и сами коэффициенты трансформации различных веществ по участкам реки (блок 7). При возникновении существенных невязок между ними и оценочными значениями коэффициентов, полученными при реализации упрощенных моделей блоков 4 и 5, целесообразно вернуться к оценочной модели оптимизации с уточненными показателями качества природных вод, то есть возникает итеративный процесс применения оценочных и детальных моделей.

Принятие решений на уровне водопользователя может быть представлено моделями, в которых, при различных ограничениях в условиях действия экономического механизма платы за загрязнение и мотивов их принятия, оптимизируется целевая функция, включающая не только затраты на проведение мероприятий, но и изменяющиеся при этом платежи за загрязнение водных ресурсов.

Особенности выбора оптимальной стратегии

При выборе оптимальной стратегии водоохранной деятельности как в регионе, так и отдельного водопользователя, в ретроспективном периоде определяющим фактором является взаимосвязь и взаимозависимость экологических и экономических показателей и критериев [5, 6, 7].

Существует ряд исследований, в которых предложены подходы, позволяющие оценить экологическое состояние водной среды в зависимости от факторов, определяющих экономическое развитие регионов и их экологическую политику [8, 9].

Наиболее распространен подход, основанный на функциях загрязнения, которые позволяют анализировать различные варианты распределения инвестиций, оценивать влияние изменения структуры экономики и учитывать влияние экологической политики, рассматривая динамику инвестиций и затрат, связанных с охраной водной среды:

$$E(t) = A(t) \cdot X_1^\mu(t) \cdot X_2^{-\eta}(t), \quad (1)$$

$$E(t) = A(t) \cdot X_1^\mu(t) \cdot X_2^{-\eta}(t) \cdot X_3^\nu(t), \quad (2)$$

где $E(t)$ – исследуемый экологический показатель (выбросы загрязняющих веществ, концентрация загрязняющих веществ, сброс загрязненных сточных вод, образование отходов и другие показатели);

$X_1(t)$ – фактор, отражающий развитие экономики и, как правило, отрицательно влияющий на водную среду (инвестиции в производственный сектор, инвестиции в новое строительство, основные фонды и другие показатели);

$X_2(t)$ – фактор, отражающий водоохранную деятельность и положительно влияющий на окружающую среду (инвестиции в охрану окружающей среды, текущие затраты на охрану окружающей среды и другие показатели);

$X_3(t)$ – фактор, отражающий развитие экономики, который может влиять и положительно, и отрицательно на окружающую среду в зависимости от осуществляемой эколого-экономической политики (инвестиции в модернизацию экономики, в машины и оборудование, индекс структурных сдвигов в экономике и другие показатели);

$A(t)$ – нейтральный экологический прогресс (снижение уровня загрязнений за счет других факторов, прежде всего структурных сдвигов);

μ, η, ν – постоянные параметры (факторные эластичности по загрязнению);

t – время.

Так как эти функции используют показатели инвестиций, основной целью будет поиск оптимального распределения инвестиций при ограничениях на общий объем.

При этом оптимальное распределение инвестиций должно быть увязано с максимизацией темпов роста экономики при заданной динамике загрязнений или, наоборот, минимизацией загрязнений при заданном темпе роста экономики [10, 11, 12].

Для трехфакторных экологических инвестиционных функций (Z_3) и двухфакторных функций загрязнения (Z_2) можно рассматривать оптимизационные модели двух типов. В первом случае, когда инвестиции разделяются на три составляющих (новое строительство, модернизация и охрана водной среды), возникает задача оптимального распределения инвестиций по трем направлениям. Оптимальное решение минимизирует загрязнения при обеспечении определенного объема производства $Y_0(t)$.

$$E(t) = F(X_1(t), X_2(t), X_3(t), t) \rightarrow \min, \quad (3)$$

при ограничениях

$$Y(t) = G(X_1(t), X_3(t)) \geq Y_0(t),$$

$$X_1(t) + X_2(t) + X_3(t) = U(t),$$

$$X_1(t) \geq 0, \quad X_2(t) \geq 0, \quad X_3(t) \geq 0, \quad \varepsilon_1 > 0, \quad \varepsilon_2 > 0,$$

где $Y(t)$ – ограничение роста объемов производства;

$U(t)$ – ограничение объема инвестиций;

G – функция роста экономики от объема инвестиций по направлениям.

Следует отметить, что исследуемые направления распределения инвестиций имеют разную эффективность с точки зрения минимизации загрязнений. Инвестиции в новое строительство, как правило, ведут к росту загрязнений, модернизация чаще всего немного уменьшает объем загрязнений, а водоохранная деятельность в большинстве случаев наиболее эффективна и всегда ведет к снижению загрязнений.

При отсутствии ограничений на рост объемов производства или его темпы имеет место достаточно простая ситуация: все ресурсы направляются в наиболее эффективное направление с точки зрения критерия, имеющего максимальное по модулю отрицательное значение полученного по функции (2) параметра (или водоохранная деятельность, или модернизация). Если есть ограничение на рост объемов производства или его темпы, зависящее от объемов нового строительства и модернизации, то решение определяется по изложенной ниже процедуре.

Первый случай – влияние модернизации на загрязнения отрицательно (параметр v отрицателен). Тогда максимум вложений делается в модернизацию, и если нужный темп достигается, то остальные инвестиции направляются на охрану водной среды или новое строительство в зависимости от величины соответствующего параметра. Если заданный темп не достигается за счет вложений только в модернизацию, то определяется соотношение инвестиций между направлениями на новое строительство и модернизацию, обеспечивающее достижение нужного темпа роста.

Второй случай – модернизация ведет к росту загрязнений (параметр v положителен). Как правило, коэффициент для нового строительства больше, чем для модернизации. Если при максимальных вложениях средств в модернизацию заданный темп роста достижим, то все оставшиеся ресурсы следует направить на охрану водной среды и природы в целом. Если заданный темп не достижим, то определяем соотношение инвестиций между направлениями на новое строительство и модернизацию, обеспечивающее достижение нужного темпа роста экономики.

Для двухфакторной функции оптимальное распределение минимизирует загрязнения:

$$E(t) = \sum_i E_i(t) = \sum_i F_i(X_{1,i}(t), XU_{2,i}(t), t) \rightarrow \min, \quad (4)$$

при ограничениях:

$$X_1(t) = \sum_i X_{1,i}(t), X_2(t) = \sum_i X_{2,i}(t), \\ X_{1,i}(t) \geq 0, X_{2,i}(t) \geq 0, X_{1,i}(t) \geq 0, \varepsilon_{1,i} > 0, \varepsilon_{2,i} \leq 0, i = \overline{1, N},$$

где i – сектор;

N – количество секторов.

Данную модель можно строить для двухфакторных и трехфакторных функций, также возможно найти оптимальное решение в общем случае и при некоторых ограничениях [13].

Если экономика региона достигает достаточно высокого уровня, то ее раз-

витие может описываться экологической кривой Кузнецца, когда с ростом инвестиций объем загрязнений падает. В случае, если обе факторные эластичности отрицательны, то, построив Лагранжиан на основе (1), получим условия оптимального распределения ресурсов:

$$\begin{aligned} \frac{\varepsilon_{1i} \cdot E_i(t)}{X_{1i}} &= \frac{\varepsilon_{1j} \cdot E_j(t)}{X_{1j}}, \quad \overline{i, j = 1, N}, \\ \frac{\varepsilon_{2i} \cdot E_i(t)}{X_{2i}} &= \frac{\varepsilon_{2j} \cdot E_j(t)}{X_{2j}}, \quad \overline{i, j = 1, N}, \end{aligned} \quad (5)$$

где i, j – сектора;

N – количество секторов по степени и характеру загрязнения водной среды.

Подставляя в (5) мультипликативные функции (1) и балансовые соотношения из (4), можно получить систему двух нелинейных уравнений с двумя неизвестными, легко решаемую стандартными методами. Если принять, что сумма факторных эластичностей секторов одинакова (при расчетах функций можно ввести такое ограничение), данная система преобразуется в уравнение относительно соотношения двух факторов. В результате оптимальное распределение ресурсов находится при последовательном решении нелинейных уравнений. Для других видов функций, а также при более сложных критериях получается система нелинейных уравнений [14, 15, 16].

Учитывая, что для функций (5) рассматриваются кумулятивные инвестиции или объемы производства, что усложняет перемещение ресурсов (затраченные несколько лет назад инвестиции неперемещаемы), можно перейти к функциям приростным или темповым.

Оптимальное решение может быть найдено и в общем случае, когда инвестиции можно распределять и по направлениям, и по секторам:

$$E(t) = \sum_i E_i(t) = \sum_i F_i \left(X_{1,i}(t), X_{2,i}(t), X_{3,i}(t) \right) \rightarrow \min, \quad (6)$$

при ограничениях

$$X_1(t) = \sum_i X_{1,i}(t), \quad X_2(t) = \sum_i X_{2,i}(t), \quad X_3(t) = \sum_i X_{3,i}(t),$$

$$Y(t) = G(X_1(t), X_3(t)) \geq Y_0(t),$$

$$X_{1,i}(t) \geq 0, \quad X_{2,i}(t) \geq 0, \quad X_{3,i}(t) \geq 0, \quad \varepsilon_{1,i} > 0, \quad \varepsilon_{2,i} \leq 0, \quad i = \overline{1, N}.$$

Не менее существенна и проблема поиска путей сокращения сбросов ЗВ водопотребителями. Отсюда стратегию водоохранной деятельности нужно формулировать в виде оптимизационной задачи с критерием минимизации суммарных приведенных затрат при условии достижения комплекса требуемых стандартов качества водных ресурсов и, соответственно, с учетом ограничений на концентрацию и массу сброса ЗВ. Расчетная система уравнений имеет вид [15, 17]:

$$S = \sum_{i \in I} \sum_{t \in T_i} (S_{it} \cdot x_{it}) \rightarrow \min; \quad (7)$$

при ограничениях

$$C_{jr} = C_{jr}^0 + \sum_{i \in I} \sum_{t \in T_i} (m_{ijt} \cdot \theta_{ir} \cdot x_{it}) \leq \bar{C}_{jr}, \quad j \in J, \quad r \in R, \quad (8)$$

$$M_{jr} = \sum_{i \in I} \sum_{t \in T_i} (m_{ijt} \cdot x_{it}) \leq \bar{M}_{jr}, \quad M_j = \sum_{i \in I} \sum_{t \in T_i} (m_{ijt} \cdot x_{it}) \leq \bar{M}_j, \quad j \in J, \quad r \in R, \quad (9)$$

где M_{jr} , M_j – соответственно, суммарные массы сбросов ЗВ в пределах отдельных секторов и в пределах всего бассейна;

C_{jr} – предельно допустимая концентрация (ПДК) i -ой компоненты;

m_{ijt} – масса минимально возможного сброса, соответствующая технологии очистки с максимальными затратами S_{it} .

Следует отметить, что в целом не существует особых гарантий повышения эффективности водоохранной деятельности только за счет использования экономических механизмов. Более того, последние не исключают традиционного планирования стратегии улучшения качества природных вод. Экономические механизмы могут быть только одним из важных компонентов, позволяя повысить рентабельность водоохранных мероприятий.

Простейший способ отражения в математических моделях экономических механизмов – это введение в целевую функцию штрафных платежей. Тогда задача оптимизации водоохранной деятельности формулируется в виде:

$$\hat{S} = \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} (S_{it} \cdot x_{it}) + \sum_{r \in R} \sum_{j \in J} (\Delta c_{jr} \cdot p_{jr}) \rightarrow \min, \quad (10)$$

при ограничениях

$$c_{jr} = c_{jr}^0 + \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} (m_{ijt} \cdot \theta_{ir} \cdot x_{it}), \quad \Delta c_{jr} = \max(0; c_{jr} - \bar{C}_j); \quad (11)$$

$$j \in J, \quad r \in R, \quad c_{jr} = \Delta c_{jr} \leq \bar{C}_{jr},$$

где Δc_{jr} – возможное нарушение норматива ПДК (величины $\bar{C}_j$) по j -му ЗВ в створе r .

Заключение

Интенсификация хозяйственной деятельности и соответствующее технологическое усложнение схем функционирования водохозяйственных объектов и систем достигли к настоящему времени такого уровня, что детерминистское описание причинной обусловленности всех процессов оказалось несоответствующим действительности. Всегда имеется элемент случайности, который зачастую приводит к возникновению нежелательных, в том числе и катастрофических ситуаций.

Анализ представленных моделей показывает, что базовый вариант внутренней структуры системы математических моделей по выбору оптимальной стратегии водоохранной деятельности в бассейне реки в общем случае должен включать в себя:

- модели механизмов управления водопользованием;
- целевые функции сторон – участников процесса;
- производственные функции различных видов водоохраной деятельности,

учитывающие связь затрат на очистку со степенью очистки ЗВ.

Список цитированных источников

1. Волчек, А. А. Оценка и прогноз воздействия природопользования и природообустройства на окружающую среду / А. А. Волчек, П. В. Шведовский. – Рязань : РГТУ, 2015. – 117 с.
2. Кудинов, Г. А. Инновационные подходы в обеспечение устойчивого развития экономико-экологических систем региона / Г. А. Кудинов // Труды института экологии. – Тольятти, 2011. – С. 267 – 269.
3. Калинин, М. Ю. Чрезвычайные ситуации и их последствия: мониторинг, оценка, прогноз и предупреждение / М. Ю. Калинин, А. А. Волчек, П. В. Шведовский. – Минск : Белсэньс, 2010. – 275 с.
4. Пряжинская, В. Г. Концепция планирования водоохранной деятельности / В. Г. Пряжинская, Л. К. Левит-Гуревич // Обоснование стратегии управления водными ресурсами. – Москва : Научный мир, 2006. – С. 206 – 217.
5. Бурлибаев, М. Ж. Проблемы оптимизации природопользования и природообустройства в математических моделях и методах / М. Ж. Бурлибаев, А. А. Волчек, П. В. Шведовский. – Алматы : Каганат, 2003. – 532 с.
6. Волчек, А. А. К проблемам моделирования динамики развития и локализации экологических последствий / А. А. Волчек, П. В. Шведовский // Вестник БГТУ. – 2002. – Сер. 2. – № 2(14). – С. 45–46.
7. Волчек, А. А. Математические модели в природопользовании / А. А. Волчек, П. В. Шведовский, Л. В. Образцов. – Минск : БГУ, 2002. – 281 с.
8. Кротов, В. Ф. Методы и задачи оптимального управления / В. Ф. Кротов, В. И. Гурман. – Москва : Наука, 1973. – 309 с.
9. Левит-Гуревич, Л. К. Основные положения перспективного планирования и систем принятия решений / Л. К. Левит-Гуревич // Обоснование стратегии управления водными ресурсами. – Москва : Научный мир, 2006. – С. 66 – 77.
10. Иванчук, А. В. Актуальные вопросы экономической оценки ущерба вследствие загрязнения водных объектов / А. В. Иванчук // Вестник Саратовского государственного социально-экономического института. – 2010. – № 5(34). – С. 76-79.
11. Гурман, В. И. Моделирование процессов в природно-экономических системах / В. И. Гурман, – Новосибирск : Наука, 1982. – 175 с.
12. Методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды, 1986.
13. Ивченко, Б. П. Теоретико-информационные методы анализа и статистической интерпретации результатов экологического мониторинга / Б. П. Ивченко, Л. А. Мартыщенко // Сборник докладов Межд. научно-техн. конференции «Экология и развитие Северо-запада России». – Санкт-Петербург, 1998. – С. 39 – 47.
14. Пряжинская, В. Г. Современные методы управления качеством речных вод урбанизированных территорий / В. Г. Пряжинская // Водные ресурсы. – 1996. – Т. 23, № 2. – С. 168 – 176.
15. Пряжинская, В. Г. Компьютерное моделирование в управлении водными ресурсами / В. Г. Пряжинская, Д. М. Ярошевский, Л. К. Левит-Гуревич. – Москва : Физматлит, 2002. – 493 с.
16. Райфа, Г. Анализ решений. Введение в проблему выбора в условиях неопределенности / Г. Райфа. – Москва : Наука, 1970. – 402 с.
17. Савичев, О. Г. Управление водными ресурсами / О. Г. Савичев, О. Г. Токаренко. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 126 с.

АСИНХРОННОСТЬ В КОЛЕБАНИЯХ МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ РЕК БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ И БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ

А. А. Волчек¹, Д. А. Шпока²

¹ Доктор географических наук, профессор, профессор кафедры природообустройства факультета инженерных систем и экологии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : volchak@tut.by

² Исследователь, ведущий специалист по организации учебного процесса факультета инженерных систем и экологии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : daryashpoka@rambler.ru

Реферат

Выполнен сравнительный анализ формирования максимальных уровней воды рек Белорусского Поозерья и Белорусского Полесья за период с 1946 по 2015 гг. Исследовалось три периода: с 1946 по 1965 гг. период до начала массовых мелиораций, т.е. период минимальных антропогенных воздействий, условно можно принять как естественный водный режим, с 1966 по 1987 гг. – период массовых мелиораций, с 1988 по 2015 гг. – период современных климатических воздействий. Методологической основой исследований явились научные положения о стохастической природе изменчивости уровня режима рек и сравнительно-географический метод.

Установлено, для рек Белорусского Поозерья имеет место устойчивая тенденция к снижению максимальных уровней воды со скоростью -31 см/10 лет в целом для всего рассматриваемого периода, в то время как для рек Белорусского Полесья наблюдаются незначительное снижение.

Ключевые слова: уровни, половодье, тренды, асинхронность, Белорусское Полесье, Белорусское Поозерье.

ASYNCHRONY IN FLUCTUATIONS OF THE MAXIMUM WATER LEVELS OF THE RIVERS IN THE BELARUSIAN POLESIE AND THE BELARUSIAN LAKELAND DISTRICT

A. A. Volchak, D. A. Shpoka

Abstract

A comparative analysis of the maximum water levels formation of the rivers in the Belarusian Lakeland and the Belarusian Polesie for the period from 1946 to 2015 was carried out. Three periods were studied: from 1946 to 1965 – the period before the start of mass reclamation, i.e. the period of minimal anthropogenic impacts, can be conditionally accepted as a natural water regime, from 1966 to 1987 – the period of mass reclamation, from 1988 to 2015 – the period of modern climatic impacts. The methodological basis of the research was the scientific provisions on the stochastic

nature of the variability of the river level regime and the comparative geographical method.

It is established that for the rivers of the Belarusian Lakeland there is a steady tendency to decrease the maximum water levels at a rate of -31 cm / 10 years in general for the entire period under review, while there is a slight decrease for the rivers of the Belarusian Polesie.

Key words: water lever, trend, asynchrony, Belarusian Polesie, Belarusian Lakeland.

Введение

Уровенный режим является основной гидрологической характеристикой рек и широко используется при решении как теоретических, так и практических задач. Так ежегодное затопление поймы благоприятно влияет на пойменные экосистемы, происходит увлажнение почв, формируются зоны нерестилищ, очищается прибрежная зона и т.п. Половодья постоянны во времени, поэтому население прибрежных зон адаптировались сами и свою хозяйственную деятельность к этому явлению. Хуже обстоит дело, когда половодье переходит в наводнение, что приводит к экономическому ущербу и даже человеческим жертвам. Что касается естественных речных экосистем, то наводнения скорее надо рассматривать как механизм, способствующий их оздоровлению, так как выживают, как правило, более сильные представители флоры и фауны. Современные климатические колебания и антропогенные воздействия, несомненно, оказали определенное влияние на уровенный режим рек. Поэтому по характеру изменений уровенного режима можно в той или иной степени оценить влияние различных факторов.

Целью работы является пространственно-временные оценки колебаний уровней воды рек Белорусского Полесья и Белорусского Поозерья на примере рек бассейнов Западная Двина и Припять протекающих в различных природно-климатических зонах.

Материалы и методы исследований

В исследованиях использованы данные наблюдений за максимальными уровнями воды рек бассейна Западной Двины в створах (г.п. Сураж, г. Витебск, г.п. Улла, г. Полоцк, г. Верхнедвинск) и бассейна р. Припяти в створах (г. Пинск (мост Любанский), д. Черничи, г. Петриков, г. Мозырь, г.п. Наровля). Всего 10 гидрологических постов с 70-летним периодом наблюдений с 1946 по 2015 гг. за исключением створов р. Западная Двина – г. Верхнедвинск с 1955 по 2015 гг. и р. Припять – г. Пинск (мост Любанский) опубликованных в [1]. Детальная характеристика водного режима исследуемых рек и гидрографических характеристик водосборов представлены в работах [2, 3, 4, 5, 6]. Имеющиеся пропуски в рядах наблюдений за максимальными уровнями воды были восстановлены общепринятыми методами гидрологической аналогии с использованием рек-аналогов [7, 8].

Исходные временные ряды разбиты на три интервала: с 1946 по 1965 гг. период до начала массовых мелиораций, т.е. период минимальных антропогенных воздействий, условно можно принять как естественный водный режим, с 1966

по 1987 гг. – период массовых мелиораций, с 1988 по 2015 гг. – период современных климатических воздействий.

Методологической основой исследований являются научные положения о стохастической природе изменчивости уровня режима рек, что позволило использовать статистические методы анализа временных рядов, а именно корреляционный и регрессионный анализы, функции пространственной асинхронности, пространственных корреляционных функций и др. Системный анализ накопленной информации и сравнительно-географический метод позволили синтезировать наиболее важные закономерности пространственно-временных колебаний уровней воды рек.

Оценка однородности рядов гидрометрических наблюдений осуществляется на основе генетического анализа условий формирования речного стока путем выявления причин, обуславливающих неоднородность исходных данных наблюдений.

Первичный анализ однородности гидрологических рядов рекомендуется проводить графическими методами, которые предусматривают построение суммарных (интегральных) кривых связей от времени [8]:

$$\sum_{t=1}^T H_{max t} = f(t), \quad (1)$$

где $\sum_{t=1}^T H_{max t}$ – нарастающее значение максимальных уровней воды во времени;

t – текущий год;

T – период наблюдений.

Динамику максимальных уровней воды использовались линейные тренды [9, 10]

$$H_{max}(t) = H_{max}(0) \pm \Delta H_{max} \cdot t, \quad (2)$$

где $H_{max}(t)$ – значение максимального уровня в расчетный год, см,

$H_{max}(0)$ – значение максимального уровня в начальный момент времени, см;

t – текущий год.

Статистическая однородность рядов наблюдений относительно естественного уровня режима рек оценивалась параметрическими тестами, в частности различия в средних с помощью критерия Стьюдента, а различия в характере колебаний уровня режима – критерия Фишера [9, 10]:

$$t = \frac{\overline{H}_{max 1} - \overline{H}_{max 2}}{\sqrt{n_1 \cdot \sigma_1^2 + n_2 \cdot \sigma_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (3)$$

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}, \quad (4)$$

где $\overline{H}_{max 1}, \overline{H}_{max 2}$ – выборочные средние максимальных уровней воды;

σ_1^2, σ_2^2 – выборочные дисперсии;

n_1 и n_2 – объемы выборок.

Полученное значение t -критерия Стьюдента и F -критерия Фишера сравнивалось с их критическими значениями при заданном уровне значимости $\alpha=5\%$. Если $t > t_{\alpha}$, принимается гипотеза статистического различия двух выборочных средних, а при $F > F_{\alpha}$ принимается гипотеза статистического различия в колебаниях рассматриваемых рядов.

Эффект асинхронности определялся по методу Н.В. Сомова. Особенность метода заключается в возможности однозначного определения количественных параметров эффекта асинхронности в любых зонах кривой обеспеченности в отдельности и для всей совокупности значений исследуемой величины. В основу предложенной методики положено определение эффекта асинхронности по совмещенным кривым обеспеченности суммарных хронологического и равнообеспеченного ряда значений уровней воды. При построении кривых обеспеченности суммарного равнообеспеченного ряда значения уровней воды располагаются в убывающем порядке и суммируются, затем в зависимости от места, занимаемого каждым членом такого суммарного убывающего ряда, ему присваивается соответствующая обеспеченность. При построении кривой обеспеченности суммарного хронологического ряда, суммирование модульных коэффициентов уровней воды производится за соответствующие годы в хронологическом порядке, затем выполняется ранжирование ряда в убывающем порядке. В качестве количественного показателя степени асинхронности уровней воды используется отношение [11]:

$$K_{ac}(P) = \frac{\sum_{j=1}^k (k_{xp}(j))}{\sum_{j=1}^k (k_{po}(j))}, \quad (5)$$

где $\sum_{j=1}^k k_{xp}(j)$ – сумма хронологических ранжированных модульных коэффициентов;

$\sum_{j=1}^k k_{po}(j)$ – сумма равнообеспеченных ранжированных модульных коэффициентов;

K – количество постов;

P – обеспеченность.

Результаты и обсуждения

В бассейне р. Западная Двина весеннее половодье развивается довольно быстро в связи с короткими путями склонового стекания и значительными уклонами, максимум держится недолго, обычно не более суток, после чего следует сравнительно быстрый спад. Для реки Припять протекающей в южной части, не характерны резкие и высокие половодья.

Рассматриваемые реки принадлежат к типу равнинных с преобладанием снегового питания. Распределение весеннего стока в году находится в прямой зависимости от физико-географических факторов, таких как рельеф, характер почво-грунтов, распределения по территории осадков, геологического строения местности.

Наибольшее отличие имеют реки северо-восточных и южных районов. Реки

северо-восточных районов (р. Западная Двина) расположены в наиболее возвышенной части страны, текущие в узких четко выраженных долинах, характеризуются более резкими и значительными колебаниями уровней воды и расходов. Южные реки (реки Полесья), расположенные в условиях равнинной сильно заболоченной местности, протекающие в широких долинах с обширными поймами, отличаются наибольшей сглаженностью хода уровней и невысоким очень растянутым половодьем.

Весенний подъем уровней воды начинается за несколько дней до вскрытия. Средние сроки начала весеннего подъема уровней отмечаются на юге страны в конце февраля – начале марта, на севере – в конце марта – начале апреля. Наивысшие уровни воды весеннего половодья в пределах всей страны в основном наблюдаются в третьей декаде марта – второй декаде апреля.

В таблице 1 представлены максимальные уровни воды весеннего половодья за рассматриваемый период с 1946 по 2015 гг. В бассейне р. Западная Двина по всем исследуемым постам максимальные уровни воды наблюдались в период весеннего половодья весной 1956 г. в период с 23 по 26 апреля, которое развивалось в низ по течению. Абсолютный максимальный уровень воды сформировался на р. Западная Двина в створе г.п. Сураж и достиг 146,10 м. В Белорусском Полесье картина формирования максимальных уровней воды более сложная, чем на севере страны. Весеннее половодье более растянуто, имеет место несколько волн максимальных уровней. За исследуемый период максимальные уровни воды наблюдались весной 1979 г. с 29 марта по 10 апреля. Растянutosть половодья вызвано малыми уклонами водосборов, что обуславливает малую скорость добегания талых вод. Меньшей продолжительностью половодья наблюдалось в 1999 г. и максимальные уровни воды с 21 по 22 марта. Абсолютный максимальный уровень воды сформировался на р. Припять в створе г. Пинск (Любанский мост) и достиг 136,20 м. На рисунке 1 показаны фрагменты затопления в 1999 г. на р. Припять. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами исследований по максимальным расходам воды, приведенным в работе [12].

Таблица 1 – Максимальные уровни воды весеннего половодья за многолетний период

Река – пост	Высший уровень в абсолютных величинах, м	Дата наступления высшего уровня (число случаев)
Белорусское Поозерье		
р. Западная Двина – г.п. Сураж	146,10	23.04.1956 (1)
р. Западная Двина – г. Витебск	135,32	24.04.1956 (1)
р. Западная Двина – г. п. Улла	124,28	24.04.1956 (1)
р. Западная Двина – г. Полоцк	119,32	25.04.1956 (1)
р. Западная Двина – г. Верхнедвинск	112,90	25.04.1956 – 26.04.1956 (2)
Белорусское Полесье		
р. Припять – г. Пинск (мост Любанский)	136,20	29.03.1979 (1)
р. Припять – д. Черничи	128,28	21.03.1999 – 22.03.1999 (2)
р. Припять – г. Петриков	121,88	03.04.1979 – 04.04.1979 (2)
р. Припять – г. Мозырь	118,22	08.04.1979 – 10.04.1979 (3)
р. Припять – г.п. Наровля	117,01	1979



Рисунок 1 – Наводнение на реке Припять 1999 года (Фото А. Дубровского)

С использованием интегральных кривых (формула (1)) исследуемые ряды проверяли на однородность. Как показал анализ исследуемые ряды наблюдений за максимальными уровнями воды являются однородными, за исключением р. Припять в створе д. Черничи (рисунок 2), нарушение однородности приурочено к 1986 г.

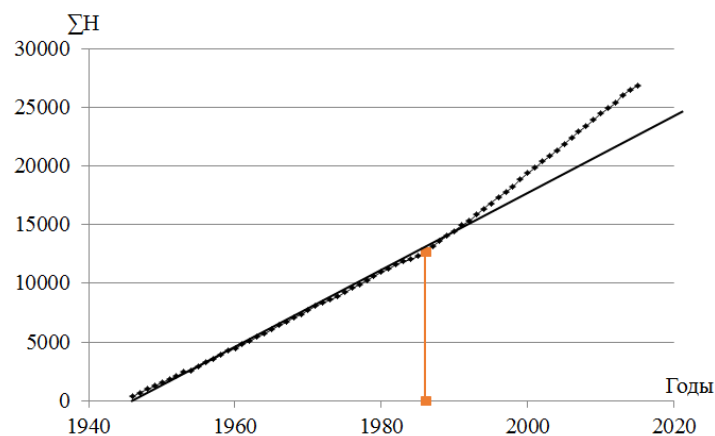
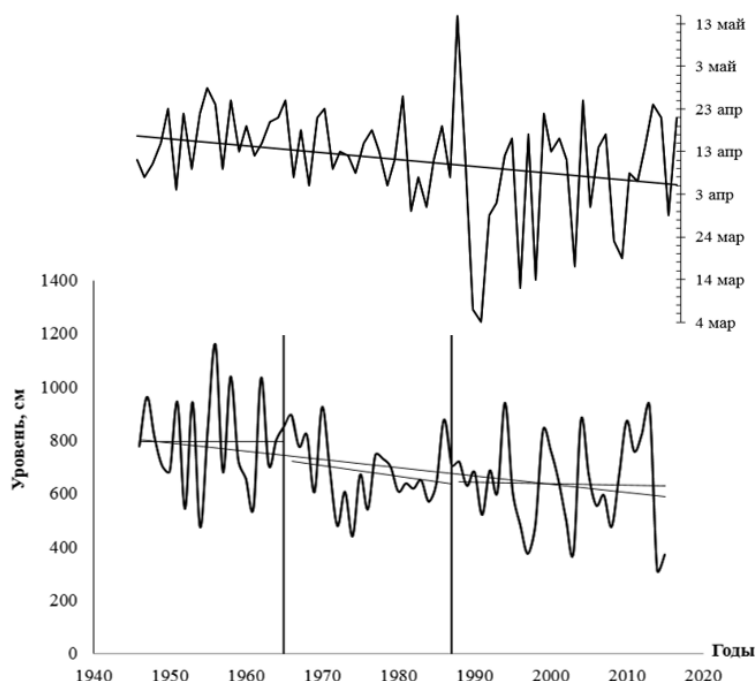


Рисунок 2 – Изменение нарастающей суммы максимальных уровней воды весеннего половодья во времени р. Припять створ д. Черничи

Хронологический ход максимальных уровней воды, даты их наступления, а также линии трендов для рассматриваемых временных интервалов представлены на рисунке 3. В целом наблюдается статистически значимая (коэффициент корреляции $r=-0,36$) тенденция к снижению максимальных уровней воды со скоростью -31 см/10 лет. В период 1946 – 1965 гг. характеризуется стабильными максимальными уровнями воды, скорость снижения уровня составляла $-0,30$ см/10 лет, что находится в пределах ошибки. Надо отметить, средний максимальный уровень статистически значимо больше от среднего максимального уровня за весь период наблюдений, в тоже время характер колебаний не изменился. Период интенсивных мелиоративных преобразований характеризуется снижением максимальных уровней воды со скоростью -39 см/10 лет, при этом статистически значимых различий как в средних значениях, так и характере колебаний не наблюдалось. В период современных климатических изменений имеет место незначительное снижение максимальных уровней воды со скоро-

стью -6 см/10 лет, без изменений средних максимальных уровней воды и характера их колебаний. Наблюдается устойчивая тенденция смещения дат наступления максимальных уровней воды на более ранние сроки в среднем на 10 дней. Схожая картина наблюдается и по другим рекам Белорусского Поозерья (таблица 2).



— — линии трендов; вертикальные линии: первая линия – год начала крупномасштабной мелиорации, вторая линия – год начала современного потепления
Рисунок 3 – Многолетние колебания максимальных уровней воды и дат их наступления р. Западная Двина – г. Витебск

Таблица 2 – Статистические параметры максимальных уровней воды рек бассейнов р. Западная Двина и р. Припять

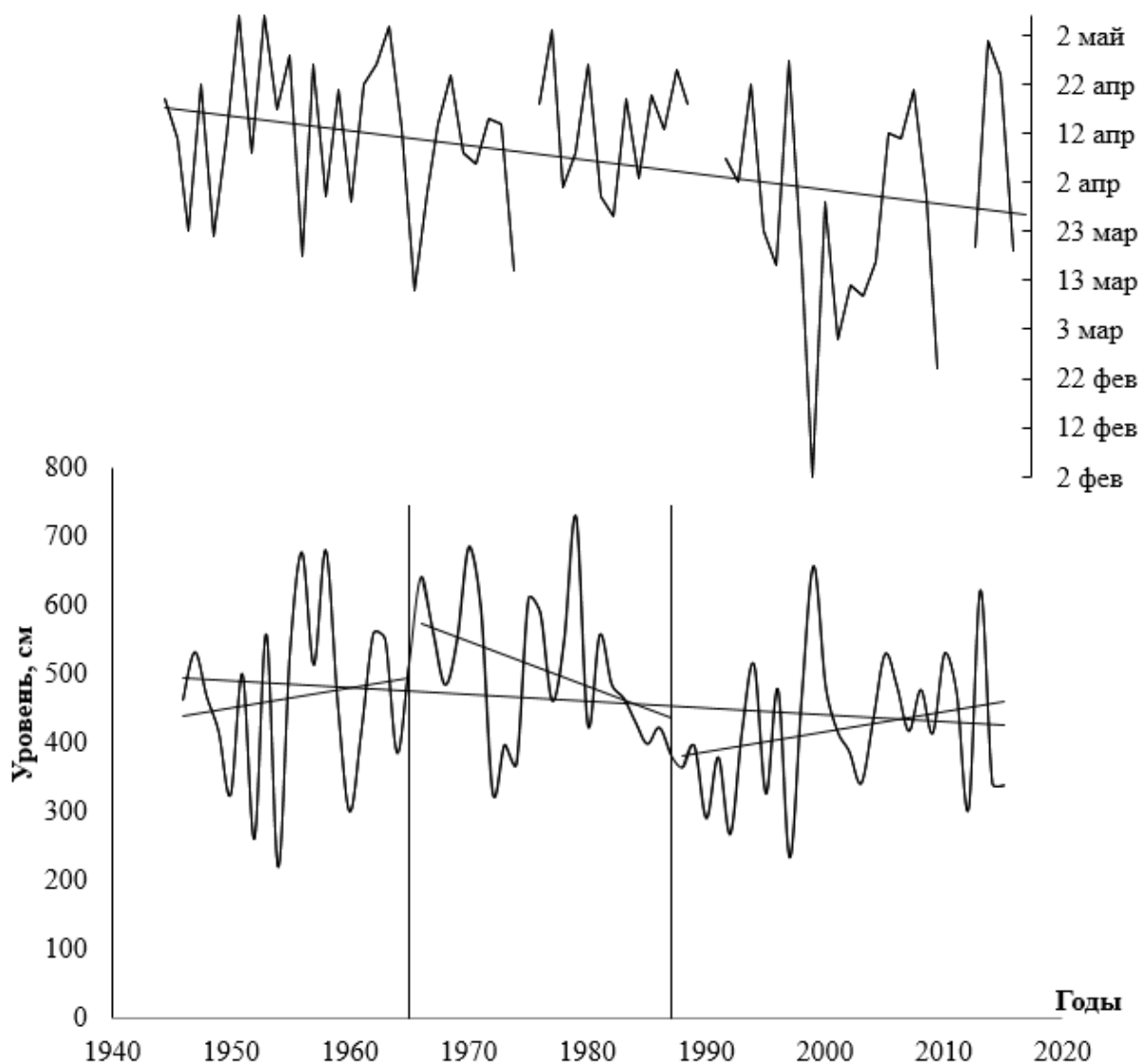
Интервал осреднения	Уровень воды, $H_{абс}$, м			Коэффициент вариации	Градиент изменения уровня воды, Δh , см/10 лет / r	Критерий	
	$H_{ср}$	H_{max}	H_{min}			Стьюдента $t_{ст} / t_{кр}$	Фишера $F/F_{кр}$
Белорусское Поозерье							
р. Западная Двина – г.п. Сураж							
1946-2015	142,80	146,10	139,62	0,20	-24,6 / - 0,36	–	–
1946-1965	143,60	146,10	141,41	0,17	-24,7 / -0,11	- 2,31 / 2,04	1,03 / 1,97
1966-1987	142,65	144,50	140,78	0,15	-20,8 / -0,13	0,53 / 2,01	1,78 / 1,90
1988-2015	142,34	144,72	139,62	0,22	-7,6 / -0,04	1,45 / 2,01	0,94 / 0,61
р. Западная Двина – г. Витебск							
1946-2015	130,66	135,32	126,85	0,25	-30,8 / - 0,36	–	–
1946-1965	131,66	135,32	128,46	0,22	-0,3 / 0,00	- 2,20 / 2,04	0,93 / 0,58
1966-1987	130,51	132,96	128,12	0,18	-39,1 / -0,20	0,46 / 2,01	1,91 / 1,90
1988-2015	130,07	133,13	126,85	0,27	-5,7 / -0,03	1,50 / 2,01	0,98 /

Интервал осреднения	Уровень воды, $H_{абс}$, м			Коэффициент вариации	Градиент изменения уровня воды, Δh , см/10 лет / r	Критерий	
	$H_{ср}$	H_{max}	H_{min}			Стьюдента $t_{ст} / t_{кр}$	Фишера $F/F_{кр}$
							0,61
р. Западная Двина – г. п. Улла							
1946-2015	119,18	124,28	114,98	0,25	-30,7 / -0,33	–	–
1946-1965	120,31	124,28	117,22	0,23	-3,4 / -0,01	-2,17 / 2,05	0,85 / 0,58
1966-1987	118,84	121,30	116,59	0,18	-34,8 / -0,17	0,96 / 2,01	2,09 / 1,90
1988-2015	118,66	121,88	114,98	0,27	-0,8 / 0,00	1,24 / 2,01	1,01 / 1,77
р. Западная Двина – г. Полоцк							
1946-2015	114,67	119,32	110,67	0,22	-28,5 / -0,31	–	–
1946-1965	115,68	119,32	112,52	0,21	-2,3 / -0,01	-1,98 / 2,05	0,82 / 0,58
1966-1987	114,47	116,63	112,25	0,17	0,6 / 0,00	0,54 / 2,01	1,75 / 1,90
1988-2015	114,11	117,14	110,67	0,22	2,0 / 0,01	1,38 / 2,01	1,07 / 1,77
р. Западная Двина – г. Верхнедвинск							
1955-2015	107,29	112,90	103,08	0,26	-33,7 / -0,29	–	–
1955-1965	108,79	112,90	105,22	0,24	-151 / -0,21	-1,94 / 2,16	0,73 / 0,50
1966-1987	107,19	109,59	104,15	0,22	12,2 / 0,05	0,24 / 2,02	1,42 / 1,92
1988-2015	106,79	110,36	103,08	0,26	-3,2 / -0,01	1,12 / 2,00	1,12 / 1,79
Белорусское Полесье							
р. Припять – г. Пинск (мост Любанский)							
1979-2015	135,27	136,20	134,09	0,24	-3,0 / -0,05	–	–
1979-1987	135,38	136,20	134,50	0,20	-78 / -0,45	-0,61 / 2,16	1,16 / 3,06
1988-2015	135,23	136,20	134,09	0,25	7,0 / 0,10	0,27 / 2,00	0,95 / 0,56
р. Припять – д. Черничи							
1946-2015	125,75	128,28	123,35	0,27	40,0 / 0,77	–	–
1946-1965	124,92	125,71	123,35	0,17	9,0 / 0,10	4,84 / 2,00	4,01 / 1,97
1966-1987	125,15	126,84	123,86	0,18	-1, / -0,01	3,39 / 2,00	3,21 / 1,90
1988-2015	126,81	128,28	125,54	0,12	17,0 / 0,23	-6,25 / 1,99	1,05 / 1,56
р. Припять – г. Петриков							
1946-2015	120,25	121,88	117,85	0,10	-3,0 / -0,07	–	–
1946-1965	120,18	121,37	117,85	0,11	19,0 / 0,12	0,33 / 2,05	0,79 / 0,58
1966-1987	120,52	121,88	118,43	0,09	-44,0 / -0,38	-1,43 / 2,03	1,15 / 1,90
1988-2015	120,10	121,56	118,26	0,10	12,0 / 0,13	0,92 / 2,01	1,17 /

Интервал осреднения	Уровень воды, $H_{абс}$, м			Коэффициент вариации	Градиент изменения уровня воды, Δh , см/10 лет / r	Критерий	
	$H_{ср}$	H_{max}	H_{min}			Стьюдента $t_{ст} / t_{кр}$	Фишера $F/F_{кр}$
							1,77
р. Припять – г. Мозырь							
1946-2015	115,53	118,22	113,12	0,25	-10,0 / -0,18	–	–
1946-1965	115,59	117,73	113,12	0,26	29,0 / 0,14	-0,20 / 2,05	0,85 / 0,57
1966-1987	115,98	118,22	114,20	0,21	-66,0 / -0,39	-1,66 / 2,03	1,10 / 1,90
1988-2015	115,14	117,50	113,26	0,23	29,0 / 0,24	1,69 / 2,00	1,29 / 1,77
р. Припять - г.п. Наровля							
1946-2015	114,13	117,01	111,24	0,28	-1,0 / -0,02	–	–
1946-1965	113,95	116,49	111,24	0,34	72,0 / 0,30	0,52 / 2,05	0,72 / 0,57
1966-1987	114,61	117,01	112,70	0,25	-70,0 / -0,39	-1,68 / 2,03	1,02 / 1,90
1988-2015	113,88	115,86	112,20	0,23	40,0 / 0,36	1,12 / 2,00	1,63 / 1,77

Примечание: выделены статистически значимые коэффициентов корреляции трендов

Хронологический ход максимальных уровней воды, даты их наступления, а также линии трендов для рассматриваемых временных интервалов представлены на рисунке 4. В целом динамика максимальных уровней на реках Белорусского Полесья более сложная, чем на реках Белорусского Поозерья. Здесь имеет место, как рост максимальных уровней воды, так и спад. За рассматриваемый период по р. Припять в створе г. Мозырь наблюдается незначительное снижение максимальных уровней воды со скоростью -10 см/10 лет, эта величина статистически не значима и можно считать, что в этот период наблюдается устойчивая динамика в колебаниях максимальных уровней воды. В период до массовых мелиораций Белорусского Полесья наблюдался некоторый рост максимальных уровней воды со скоростью 29 см/10 лет. Период крупномасштабных мелиораций Белорусского Полесья характеризовался массовым сбросом вековых запасов грунтовых вод, что привело к освобождению порового пространства, которое аккумулировала талые воды. В результате наблюдалось падение максимальных уровней воды со скоростью -66 см/10 лет. По мере снижения функций мелиоративных систем, в частности снижение пропускной способности регулирующей и проводящей сети, природные экосистемы стали восстанавливаться, что привело к росту максимальных уровней воды со скоростью 29 см/10 лет. Более детальная картина по другим створам представлена в таблице 2. Наблюдается устойчивый сдвиг дат наступления максимальных уровней воды на более ранние сроки в среднем на 15 дней.



— — линии трендов; вертикальные линии: первая линия – год начала крупномасштабной мелиорации, вторая линия – год начала современного потепления
 Рисунок 4 – Многолетние колебания максимальных уровней воды и дат их наступления р. Припять – г. Мозырь

Зависимость коэффициентов асинхронности между максимальными уровнями воды р. Припяти в створе г. Мозырь и р. Западная Двина в створе г. Витебск. Так для очень многоводного года коэффициент асинхронности $K_{ac}(P=5\%) = 0,97$, а для очень маловодного года $K_{ac}(P=95\%) = 1,05$.

В ходе исследований получена зависимость между датами максимальных уровней воды р. Припять в створе г. Мозырь и р. Западная Двина в створе г. Витебск:

$$t_{зан.дв.} = 0,3 \cdot t_{np} + 77, \quad (6)$$

$$r = 0,43,$$

где $t_{зп.дв.}$ – дата наступления максимального уровня воды на р. Западная Двина в створе г. Витебск, считая от 1.01;

t_{np} – временной сдвиг наступления максимальных уровней воды весеннего половодья на р. Припять.

Закключение

Таким образом, на реках Белорусского Поозерья имеет место общая устойчивая тенденция к уменьшению максимальных уровней воды со скоростью -31 см/10 лет и смещение дат их наступления на более ранний период. За рассматриваемый период — это смещение составило около 10 дней. Более сложная картина наблюдается на реках Белорусского Полесья. Здесь имеет место, как рост максимальных уровней воды, так и спад в отдельные исследуемые периоды. Так в целом по региону имеет место незначительное падение максимальных уровней воды со скоростью около -10 см/10 лет. В период до массовых мелиораций Белорусского Полесья наблюдался некоторый рост максимальных уровней воды со скоростью 29 см/10 лет. Крупномасштабные мелиорации вызвали уменьшение максимальных уровней воды. В период современного потепления климата наблюдается некоторый рост максимальных уровней воды на реках Белорусского Полесья. За рассматриваемый период — это смещение составило порядка 15 дней.

Синхронность в колебаниях максимальных уровней воды р. Западная Двина в створе г. Витебск и р. Припять в створе г. Мозырь оценивается коэффициентом корреляции 0,58, а коэффициент асинхронности для очень многоводного года $K_{ac}(P=5\%)=0,97$, а для очень маловодного года $K_{ac}(P=95\%)=1,05$.

Список цитированных источников

1. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод. Ч. 1 Реки и каналы. Ч. 2 Озера и водохранилища. Т. III. – Минск : 1946–2015 гг.
2. Западная Двина – Даугава. Река и время / Л.С. Аносова, И. Анцане, А. Брамбис, Б.А. Булгаков, А. Венскис, А.А. Волчек, А. Зиверт, О.В. Кадацкая, С.В. Какарека, К.К. Красовский, В.Ф. Логинов, Л.Л. Лякмунд, Ю.Ю. Мелконов, А. Пасторс, К. Раман, И. Риекстс, М.Ф. Рогаль, Г.Я. Сегель, В.Г. Соколовский, Ю.Т. Урганс, З.Д. Федотова, Е.Л. Цонева, И. Эйпурс; под общ. ред. В.Ф. Логинова, Г.Я. Сегеля – Минск: Белорус. наука, 2006. – 270 с.
3. Калинин, М.Ю. Водные ресурсы Витебской области / М.Ю. Калинин, А.А. Волчек; под общ. ред. д.т.н. М.Ю. Калинина. – Минск: ООО «Белсэнс», 2004. – 144 с.
4. Мониторинг, использование и управление водными ресурсами бассейна р. Припять / Под общ. ред. М.Ю. Калинина и А.Г. Ободовского. – Минск: Белсэнс, 2003. 269 с.
5. Волчек, А.А. Водные ресурсы Брестской области / А.А. Волчек, М.Ю. Калинин. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2002. – 440 с.
6. Калинин, М.Ю. Водные ресурсы Гомельской области / М.Ю. Калинин, А.А. Волчек // Под общей редакцией д.т.н. М.Ю. Калинина. – Минск: ООО «Белсэнс», 2005. – 144 с.
7. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-168-2009(02250). – Минск: РУП «Стройтехнорм», 2010. – 55 с.
8. Волчек, А.А. Гидрологические расчеты : учебное пособие / А.А. Волчек. – Москва : КНОРУС, 2021. – 418 с.
9. Статистические методы в природопользовании : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В.Е. Валуев, А.А. Волчек, П.С. Пойта, П.В. Шведовский. – Брест: Изд-во Брестского политехнического института, 1999. – 252 с.
10. Логинов, В.Ф. Практика применения статистических методов при анализе и прогнозе природных процессов / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, П.В. Шведовский. – Брест: Изд-во БГТУ, 2004. – 301 с.
11. Логинов, В.Ф. Водный баланс речных водосборов Беларуси / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек. – Минск: Тонпик, 2006 – 160 с.
12. Логинов, В.Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз / В.Ф. Логинов, А.А. Волчек, Ан.А. Волчек – Минск: Беларуская навука, 2014. – 244 с.

ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ БУДУЩИХ ПЕДАГОГОВ В КОНТЕКСТЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Ю. Ю. Гнездовский¹, Н. С. Михайлова²

¹ Декан педагогического факультета УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», Гродно, Беларусь, e-mail : gnezdovsky@grsu.by

² Заместитель декана педагогического факультета УО «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», Гродно, Беларусь, e-mail : n.mihailova@grsu.by

Реферат

В данной статье обсуждаются проблемные вопросы естественнонаучной подготовки будущих педагогов дошкольного, начального и специального образования в контексте экологических проблем сохранения среды обитания. Представлены результаты экспериментального исследования, проводимого авторами на протяжении 2015-2022 гг. Основными задачами исследования были: выявление понимания студентами сущности экологии, степени осознания экологических проблем современного мира, их причин и последствий, роли педагога в формировании экологического мировоззрения детей; выявление отношения студентов к разным областям естественнонаучного знания (математике, физике, химии, биологии); поиск путей повышения качества естественнонаучной подготовки будущих педагогов. В исследовании приняли участие более 500 студентов 1-4 курсов дневной, заочной и дистанционной форм обучения специальностей «Начальное образование», «Дошкольное образование», «Логопедия», «Олигофренопедагогика», «Социальная и психолого-педагогическая помощь», «Социальная работа». Проведенный анализ показал высокую мотивацию будущих педагогов к решению реальных экологических проблем, их вовлеченность в экологическую деятельность и стремление осуществлять экологическое воспитание и образование детей. Вместе с тем, недостаточная естественнонаучная подготовка большей части студентов обуславливает сложности с пониманием современных концепций естествознания, низкую критичность восприятия информации, неготовность самостоятельно ориентироваться в потоке естественнонаучной и экологической информации, систематизировать и эффективно использовать ее в своей будущей профессиональной деятельности. Основываясь на результатах исследования и опыте преподавания математики и естествознания, авторы предлагают пути повышения качества естественнонаучной подготовки будущих педагогов.

Ключевые слова: экологическое образование, естественнонаучная подготовка, студент, педагог, начальное образование, естествознание, математика.

NATURAL SCIENCE EDUCATION OF FUTURE TEACHERS IN THE CONTEXT OF ENVIRONMENTAL EDUCATION

Y. Y. Hniazdouski, N. S. Mikhailava

Abstract

This article discusses the problematic issues of natural science training of future teachers of preschool, primary and vocational education in the field of environmental

problems. The authors conducted a long experimental study (2015-2022). The article presents its results and their analysis. The main objectives of the study were: to identify student's understanding of the essence of ecology, the degree of awareness of the environmental problems of the modern world, their causes and consequences, the role of the teacher in shaping the ecological worldview of children; revealing the attitude of students to different areas of natural science knowledge (mathematics, physics, chemistry, biology); search for ways to improve the quality of natural science training of future teachers. The study involved more than 500 students of 1-4 courses of full-time, part-time and distance learning in the specialties "Primary Education", "Preschool Education", "Speech Therapy", "Oligophrenopedagogy", "Social and psychological-pedagogical assistance", "Social Work". The analysis carried out showed the high motivation of future teachers to solve real environmental problems, their involvement in environmental activities and the desire to carry out environmental education and upbringing of children. At the same time, the insufficient natural science training of some students causes difficulty in understanding modern concepts of natural science, a decrease in the reliability of information detection, unwillingness to be critical on their own to navigate the flow of natural science and environmental information, to systematize and effectively use it in their future professional activities. Based on the results of the study and the experience of teaching mathematics and natural science, the authors suggest ways to improve the quality of the natural science training of future teachers

Keywords: environmental education, natural science training, student, teacher, primary education, natural science, mathematics.

Введение

Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания неизменно обращают нас к образованию. Стремительное развитие науки и технологий актуализирует вопросы рационального использования природных ресурсов на всех уровнях: от бытового до профессионального; поиска возобновляемых источников, энерго- и ресурсосбережения. В настоящее время все более остро стоит вопрос о важности экологической культуры человека, экологическом образовании каждого специалиста, независимо от направленности его профессиональной деятельности, о его способности принимать ответственные решения, не наносящие урон окружающей среде и своему здоровью.

Фундаментальной философской основой экологического образования выступают учение о ноосфере В. И. Вернадского [1] и труды известного математика, философа Н. Н. Моисеева [2-5], автора идей коэволюции человека и биосистемы, нравственного и экологического императива, разработчика математической модели «ядерной зимы» и др. Рассматривая вопросы экологического просвещения Н. Н. Моисеев указывал, что «... все науки, которым мы учим ..., имеют единственную цель — обеспечить будущность существования человека в биосфере, а при современном могуществе цивилизации и сложности взаимоотношения Природы и человека все усилия людей должны основываться на этой реальности. Экологическое образование, если уместен этот термин, должно стать становым хребтом любого современного образования» [3, с. 172].

С начала XXI века ООН и ЮНЕСКО проводят Глобальную программу действий по образованию в интересах устойчивого развития, одной из основных

задач которой является следующая: «Переориентировать образование и обучение таким образом, чтобы каждый человек имел возможность приобрести знания, навыки, ценностные ориентиры и поведенческие установки, дающие возможность участвовать в процессе устойчивого развития» [6, с. 12-13].

Экологическое образование пронизывает все сферы жизни человека и все уровни образования – от дошкольного, начального до высшего и послевузовского. Ведущий принцип экологического образования – непрерывность. На разных уровнях образования решаются разные задачи экологического просвещения и воспитания. Проблемы экологического воспитания и образования отражены в многочисленных работах как зарубежных, так и отечественных исследователей (А. Р. Борисевич [7], Н. Ф. Винокурова [8; 20], А. А. Волчек [9-13], Е. С. Дронова [14], Д. С. Ермаков [15], А. Н. Захлебный [16], Н. К. Катович [17], Н. М. Мамедов [18], Н. Н. Моисеев [3-6], И. Т. Суравегина [15; 20], В. В. Свиридов [19], W. Stapp [21], M. Tan, E. Pedretti [22], R. Stevenson [23] и др.). Раскрыты цели, основные задачи, содержание, средства, формы и методы экологического образования обучающихся на разных уровнях общего среднего образования. Вместе с тем, стремительные процессы информатизации и цифровизации современного общества актуализируют проблему разработки новых концептуальных и технологических оснований, адекватных современным вызовам.

В основе экологического образования находятся естественнонаучные знания и соответствующие ценностные ориентации. Это обращает нас к роли и задачам естественнонаучного образования будущих педагогов, к компетентности и позиции педагога, как центральной фигуры экологического образования. И здесь можно зафиксировать противоречия между:

- государственными приоритетами в области образования, определяющими необходимость подготовки специалистов с высоким уровнем экологической культуры, способных к разработке и внедрению инноваций с учетом последствий и рисков для окружающей среды, признанием особой значимости экологических проблем сохранения среды обитания в жизни современного человека и сокращением объема времени, отведенного на изучение естественнонаучных дисциплин будущими педагогами дошкольного, начального, специального образования и др.;

- высокой ответственностью педагогов дошкольного, начального, специального образования за формирование основ естественнонаучного образования детей, экологических ценностей, бережного отношения к окружающей среде, мотивации к научному познанию окружающего мира и, в ряде случаев, не всегда достаточной компетентностью в области естествознания педагогов дошкольного, начального, специального образования;

- необходимостью обеспечения качества естественнонаучной подготовки будущих педагогов и недостаточностью разработанности проблемы организации естественнонаучной подготовки будущих педагогов дошкольного, начального, специального образования с позиций современных подходов, недостаточной эффективностью применения существующих традиционных средств образования.

Объектом нашего исследования является естественнонаучная подготовка будущих педагогов, работающих с детьми дошкольного и младшего школьного возраста. Цель исследования – выявление отношения студентов педагогических

специальностей («Дошкольное образование», «Начальное образование», «Логопедия», «Олигофренопедагогика» и др.) к естественнонаучному образованию и определение путей повышения качества их естественнонаучной подготовки как основы экологической культуры педагога.

Достижение поставленной цели исследования обеспечивается решением следующих задач:

1) выявление отношения будущих педагогов к современным экологическим проблемам;

2) выявление отношения студентов педагогических специальностей к разным областям естественнонаучного знания (математике, физике, химии, биологии и др.);

3) определение путей мотивации студентов к самостоятельному познанию в области естествознания и повышения качества естественнонаучного образования будущих педагогов.

Материалы и методы

В рамках экспериментальной работы проводилось пролонгированное социологическое исследование, которое по своему характеру являлось комплексным, массовым, многофазовым, последовательно реализуемым, охватившим период с 2015 г. по настоящее время (2022 г.). В качестве методов исследования выбраны опрос, анкетирование, тестирование, анализ продуктов деятельности (результатов выполнения конкретных заданий).

При построении экспериментальной базы нами был использован выборочный метод. В качестве генеральной совокупности выступают студенты педагогического профиля государственных учреждений высшего образования Республики Беларусь. В качестве метода формирования выборочной совокупности использован серийный отбор. Объем выборочной совокупности рассчитывался по следующей формуле:

$$n = \frac{N \times t^2 \times p \times g}{N \times \Delta^2 + t^2 \times p \times g}, \quad (1)$$

где n – объем выборочной совокупности;

N – объем генеральной совокупности;

p, g – выборочные доли;

Δ – предельная ошибка выборки;

t – коэффициент доверия.

Предельная ошибка выборки – 0,05. При такой ошибке коэффициент доверия t равен 1,96. Выборочные доли в нашем случае равны 0,5 и 0,5, поскольку отсутствуют предварительные квоты. Объем генеральной совокупности ежегодно изменялся, в 2022 г. он составил 24 057 студентов педагогического профиля [24]. Расчет показал, что необходимо сформировать выборочную совокупность, включающую не менее 381 респондента. Реальное количество респондентов в 2022 г. составило 544 студента.

В выборку вошли студенты дневной (303 чел., 55,7% от общего количества респондентов), заочной (84 чел., 15,4%), заочной (дистанционной) (157 чел.,

28,9%) полной и сокращенной форм обучения. Среди них: 91 студент первого курса (16,7%), 269 студентов второго курса (49,4%), 98 студентов третьего курса (18%) и 86 (15,8%) – четвертого. В разрезе специальностей: студенты специальности «Дошкольное образование» – 230 чел. (42,3%); «Начальное образование» – 98 чел. (18%); «Логопедия» – 145 чел. (26,7%); «Олигофренопедагогика» – 18 чел. (3,3%); «Социальная и психолого-педагогическая помощь» – 40 чел. (7,4%); «Социальная работа (по направлениям)» – 13 (2,4%). Преобладающее количество – женский пол (97,25%). Средний возраст составил 21,7 лет. 43,6% от общего числа респондентов уже работают (или работали) по специальности, 56,4% - не имеют опыта работы по специальности.

Результаты и обсуждение

Проведенное исследование показало, что все без исключения опрошенные студенты (100%) осознают значимость экологических проблем современного мира и их последствий, признают формирование экологического мировоззрения детей в качестве одной из основных задач педагога. Последнее четко соотносится с задачами, определенными Программой непрерывного воспитания детей и учащейся молодежи в Республике Беларусь [25], поэтому не вызывает сомнений и у студентов. Вместе с тем, у части опрошенных студентов выявлено неоднозначное и, в ряде случаев, обедненное понимание сущности экологии, причин экологических проблем, недостаточная критичность восприятия и неспособность научного объяснения процессов и явлений, обусловленная недостаточным уровнем естественнонаучных знаний.

До 2013 года учебные планы всех специальностей включали в качестве обязательной учебную дисциплину «Основы современного естествознания», что создавало возможность знакомства всех студентов с современными концепциями естествознания, позволяло решать задачу формирования у выпускников ключевых компетенций в области естественнонаучного знания. В настоящее время для будущих педагогов дошкольного, начального, специального образования изучение данной дисциплины может быть предусмотрено только за счет компонента учреждения высшего образования. Несколько лучше обстоит ситуация со студентами специальности «Начальное образование», поскольку они в обязательном порядке изучают дисциплины «Математика», «Основы земледелия» и др. Дополнительно на педагогическом факультете предлагается изучение дисциплины «Основы современного естествознания»: студентам специальности «Начальное образование» – в качестве обязательной; студентам специальности «Дошкольное образование» – в качестве дисциплины по выбору; студентам специальности «Логопедия» – в качестве факультативной дисциплины.

Выявление отношения студентов педагогических специальностей к разным областям естественнонаучного знания (математике, физике, химии, биологии и др.), на наш взгляд, позволяет увидеть степень осознания студентами ценности естествознания как базиса экологической культуры и условия успешности формирования основ экологической грамотности детей в их будущей профессиональной деятельности.

Отметим положительную динамику в целом за последние 7 лет. Так, на вопрос «Нужны ли *специалисту с высшим образованием* знания основ современного

естествознания (современной физики, химии, биологии, географии и др.)?» в 2015 году только 5,06 % опрошенных студентов ответили однозначно утвердительно. Большая часть респондентов (59,49 %) ответили, что знания нужны, но в минимальном объеме, 35,44 % студентов ответило отрицательно [26]. Ежегодно повышалось количество студентов, выбирающих утвердительные ответы. В 2022 году 36,4% дали однозначно утвердительный ответ; 25,7% ответили, что возможно, да, но не уверены; 24,6% указали, что данные знания нужны, но в самом минимальном объеме. И только 13,2% респондентов (что в 2,7 раза меньше, чем в 2015 г.) выбрали отрицательный ответ.

Вместе с тем, в дальнейших ответах зафиксировано дифференцированное отношение опрошенных студентов к разным областям естественнонаучного знания, проявились размытость понимания «естественнонаучные знания» и, в ряде случаев, нежелание и неготовность его использования в будущей профессиональной деятельности.

Распределение ответов респондентов о необходимости естественнонаучных знаний (по областям) *в их будущей профессиональной педагогической деятельности* отражено на рисунке 1.

Анализ ответов отражает наибольшую лояльность к биологическим знаниям (54,2% опрошенных уверены в их необходимости и важности; только 10,1% указали, что им достаточно школьных знаний), наименьшую – к химическим и физическим областям (36,9% и 38,1% отметили, что достаточно школьной базы; только 16,9% и 16,2% соответственно написали о востребованности данных знаний). Отношение к математике и географии примерно одинаковое: уверены в их необходимости в их будущей профессиональной деятельности 41,5% и 40,1% соответственно, примерно четверть считают избыточными освоение нового в данных областях (26,3% и 22,1% опрошенных). Сомневающихся, но склонных к положительному ответу, – примерно равные доли в разрезе всех областей (от 8,3% (математика) до 13,6% (биология)). Аналогично и в отношении тех, кто указал на потребность изучения нового в минимальных объемах (от 22,1% (биология) до 33,5% (химия)).

Биологические знания лидируют по востребованности, что во многом объясняется тем фактом, что при поступлении на данные специальности в качестве первого профильного испытания абитуриенты проходят централизованное тестирование по биологии. Соответственно, именно данному школьному предмету уделяется больше внимания и времени в старших классах, студенты, как правило, имеют глубокие и прочные знания биологии. Кроме того, знакомство детей с окружающим миром начинается со знакомства с природой, что актуализирует биологические знания для профессии.

Низкая доля студентов, убежденных в необходимости физики и математики, может объясняться высоким уровнем трудности и невысокой популярностью данных школьных предметов среди студентов, избравших специальности данного профиля. Так, например, тройку самых трудных, по мнению опрошенных студентов, школьных предметов возглавляют физика (ее указали 72,98% опрошенных), математика (69,5%), химия (59,75%). Для сравнения: биологию указали в качестве наиболее трудного школьного предмета только 6,99% опрошенных студентов, географию – 2,94%. С другой стороны, биология возглавила

рейтинг самых любимых школьных предметов, ее отметили 45,77% респондентов. Более пятой части опрошенных отметили в качестве любимых предметов математику (18,38%), химию (17,83%) и географию (15,07%). Физику в качестве любимых предметов выделили только 17 респондентов, что составило 3,13%.



Рисунок 1 – Распределение ответов респондентов о необходимости естественнонаучных знаний (по областям) в их будущей профессионально-педагогической деятельности

Интерес представляет сравнение отметок по данным предметам и самооценка студентами своих реальных знаний (рис. 2). Наибольшие баллы как в документе об общем среднем образовании, так и по самооценке респондентами своих знаний, умений, навыков и компетенций, имеют биология и география. Наибольшая разность оценки и самооценки – по физике (0,9 балла), по химии (0,8 балла), по географии (0,7 балла).

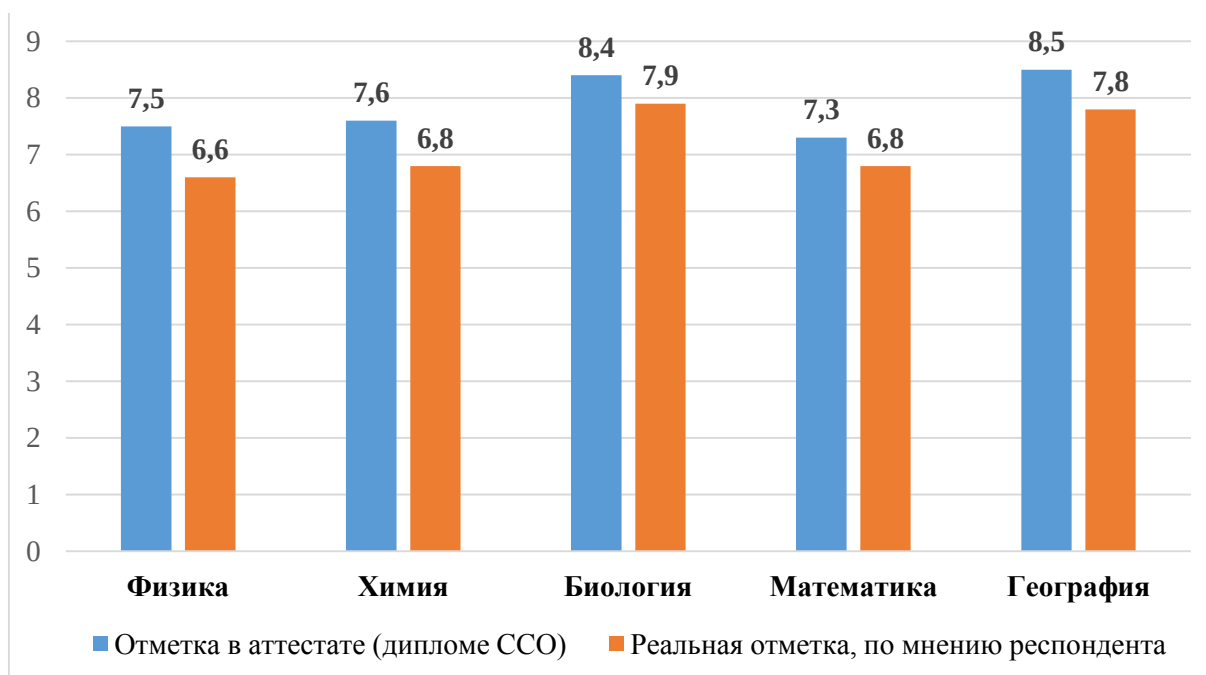


Рисунок 2 – Средний балл отметок респондентов в соответствии с документом об общем среднем образовании и по самооценке опрошенных

Таким образом, естественнонаучные дисциплины, за некоторым исключением (биология, география), уже в средней школе вызвали у подавляющего большинства опрошенных студентов значительные затруднения и по отношению к ним уже сформировано негативное отношение. Отдельные студенты отмечали, что выбор профессии был обусловлен отсутствием физики, математики и химии в будущем образовании и в будущей профессиональной деятельности.

В современных условиях интенсивного развития информационно-коммуникационных технологий в глобальной сети Internet представлено большое количество разнообразных по глубине, уровню сложности, стилю изложения, наглядности (и др.) электронных источников научной и научно-популярной информации. В последние годы большие объемы информации в области естествознания распространяются в социальных сетях. При этом важно, чтобы студенты не только интересовались данного рода информацией и переходили по ссылкам для ее детального изучения, но и были способны критически воспринимать представленное, оценивать достоверность и качество информации. Интересуются ли студенты педагогических специальностей новостями в области естествознания? Это еще один аспект нашего исследования (рис. 3).

К сожалению, можно отметить отсутствие у подавляющего большинства опрошенных студентов стремления к познанию нового в области естествознания. Наиболее оптимистично выглядит ситуация в области биологических наук и географии; математика, физика, химия – в «аутсайдерах»: третья часть опрошенных (29,2%-35,1%) не интересовалась в течение последнего года новостями, фактами данных наук даже случайно или в силу необходимости, для подготовки к занятиям. Сужение кругозора и эрудированности будущих педагогов – опасная тенденция, которая актуализирует проблему определения путей мотивации студентов к самостоятельному познанию в области естествознания.

Каким образом можно изменить ситуацию? Несомненно, вопросы поиска путей оптимизации естественнонаучного содержания подготовки студентов педагогических специальностей, выбора эффективных методов и форм организации обучения, адекватных современным тенденциям развития цифрового образования и общества, требуют более обстоятельного исследования. Вместе с тем, ясны шаги, которые можно предпринять уже сегодня.

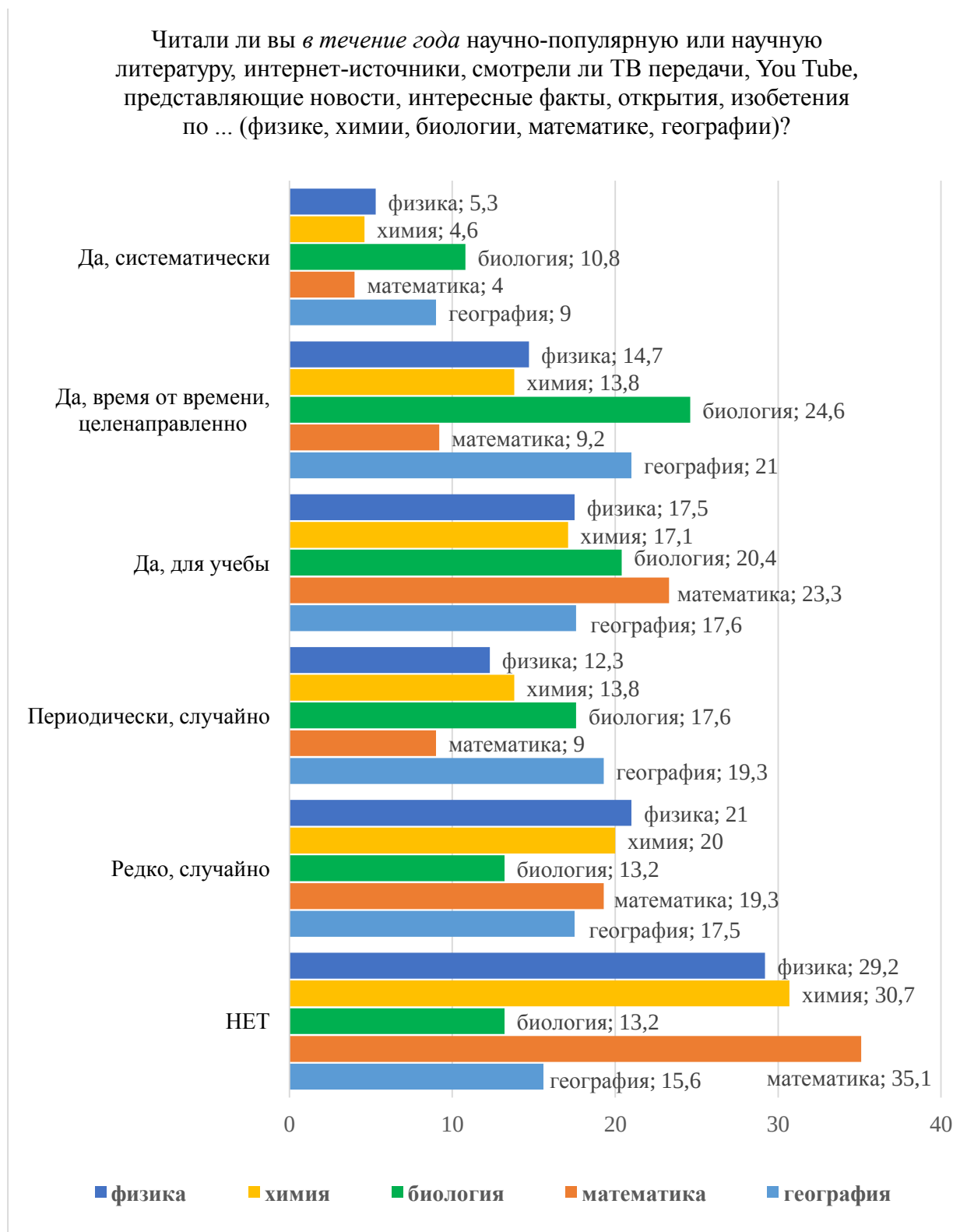


Рисунок 3 – Самостоятельная познавательная деятельность студентов в области естествознания (% от общего количества опрошенных)

Непонимание студентами важности естественнонаучных знаний для своей профессионально-педагогической деятельности и жизнедеятельности приводит к естественнонаучному невежеству и экологической безграмотности. Поэтому первостепенной задачей мы считаем изменение отношения студентов к естественнонаучному знанию в целом: от «очень сложно, скучно, не нужно» к «очень интересно, необычно, важно, полезно».

Для этого есть несколько путей: изменение формы (разнообразие, диверсификация используемых в преподавании методов, приемов, форм; проектная деятельность; дифференциация и индивидуализация обучения и др.); работа с содержанием обучения (введение в учебные планы новых учебных дисциплин, внесение в содержание существующих учебных дисциплин элементов естественнонаучных знаний, переработка учебных заданий и др.); концептуальные и технологические изменения.

При раскрытии содержания учебной программы, разработке учебных заданий важно акцентировать внимание студентов на связи с современными экологическими проблемами и их будущей профессиональной деятельностью. Например, в рамках преподавания учебной дисциплины «Математика» при составлении задач и упражнений можно использовать данные экологических исследований [11; 12; 13]. Проведение занятий на основе междисциплинарного подхода [27; 28] позволяет активизировать самостоятельную познавательную деятельность студентов.

Преподавание учебных дисциплин «Основы землеведения», «Основы современного естествознания» основано на предварительно проведенном сопоставительном анализе содержания данных программ и учебных программ специальных дисциплин, а также образовательных программ дошкольного образования и I ступени общего среднего образования (1-4 классы)). Использование технологий развития критического мышления, элементов эвристического обучения, нестандартных форм проведения учебных занятий создает основу для активизации учебной деятельности студентов. Связь с будущей профессиональной деятельностью можно реализовать посредством проектной деятельности студентов (в том числе – междисциплинарных проектов), практико-ориентированных заданий (например, для будущих учителей начальной школы: подготовить рассказ, наглядное средство, лэпбук для младших школьников по определенной теме и т.д.).

В качестве одного из перспективных вариантов можно рассмотреть привлечение в учебный процесс современных ИКТ, использование новых цифровых инструментов. Логичным представляется расширить представленность физико-химического знания, достижений, перспективных направлений развития химии, физики, математики в научно-популярной форме в молодежных социальных сетях. Кроме того, важно сохранить учебную дисциплину, отражающую основы современного естествознания в учебных планах всех педагогических специальностей.

Заключение

1). Естественнонаучное образование направлено на формирование у студентов естественнонаучной грамотности, на знакомство с основополагающими концепциями различных естественных наук, современным уровнем и перспективами их развития. Естественнонаучное образование будущих педагогов является составляющей профессионально-педагогической подготовки специалистов, поскольку именно они в будущем будут знакомить детей с основами естествознания, формировать у детей начальные представления об окружающем мире, заниматься экологическим воспитанием детей. От компетентности педагога во многом зависит дальнейшая мотивация и успешность ребенка в освоении естественнонаучных дисциплин.

2). Проведенное исследование зафиксировало осознание студентами роли и значения педагога в экологическом образовании и воспитании детей. Однако, часть студентов не осознает тесной связи естественнонаучного образования со своей будущей профессиональной педагогической деятельностью. Наряду с высоким уровнем мотивации будущих педагогов к решению реальных экологических проблем, их личной вовлеченности в экологическую деятельность и стремлении осуществлять экологическое воспитание и образование детей, недостаточная естественнонаучная подготовка большей части студентов обуславливает сложности с пониманием современных концепций естествознания, низкую критичность восприятия информации, неготовность самостоятельно ориентироваться в потоке естественнонаучной и экологической информации, систематизировать и эффективно использовать ее в своей будущей профессиональной деятельности.

3). Естественнонаучное образование будущих педагогов требует учета ряда особенностей студентов (уровня общеобразовательной естественнонаучной подготовки, отношения, личностной и профессиональной направленности и др.), что актуализирует вопросы поиска путей оптимизации естественнонаучного образования студентов педагогических специальностей, выбора эффективных методов и форм организации обучения. Основываясь на результатах исследования и опыте преподавания учебных дисциплин «Математика», «Естествознание», «Основы землеведения», «Основы современного естествознания» и др., предложены возможные пути повышения качества естественнонаучной подготовки будущих педагогов: изменение формы; работа с содержанием обучения; концептуальные и технологические изменения. Вопросы поиска путей оптимизации естественнонаучного содержания подготовки студентов педагогических специальностей в контексте экологического образования, адекватных современным социокультурным условиям, требуют дальнейшего обстоятельного исследования.

Список цитированных источников

1. Вернадский, В. И. Биосфера и ноосфера / В. И. Вернадский ; предисловие Р. К. Баландина. – Москва : Айрис-пресс, 2004. – 576 с.
2. Труды Н. Н. Моисеева по вопросам современного образования [Электронный ресурс]. – М. : Академия МНЭПУ, 2012. – Режим доступа : <http://partner-unitwin.net/wp-content/uploads/2016/08/%D0%9C%D0%BE%D0%B8%D1%81%D0%B5%D0%B5%D0%B2-%D0%>

9D.%D0%9D.-%D0%BE%D0%B1-%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%-D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B8.pdf – Дата доступа : 10.11.2022.

3. Моисеев, Н. Н. Экологический образ гуманитарного знания. Поиск пути : Доклад на Ученом совете Московского энергетического института (Технического университета) 27 марта 1998 года / Н. Н. Моисеев // Труды Н. Н. Моисеева по вопросам современного образования. – М. : Академия МНЭПУ, 2012. – С. 167-177. – Режим доступа : <http://partner-unitwin.net/wp-content/uploads/2016/08/%D0%9C%D0%BE%D0%B8%D1%81%D0%B5%D0%B5%D0%B2-%D0%9D.%D0%9D.-%D0%BE%D0%B1-%D0%BE%D0%B1%D1%80%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B8.pdf> – Дата доступа : 10.11.2022.

4. Моисеев, Н. Н. Новая цивилизация начинается с образовательных программ / Н. Н. Моисеев // Экология и жизнь. – 2011. – № 8. – С. 4-8.

5. Моисеев, Н. Н. Система «Учитель» и современная экологическая обстановка / Н. Н. Моисеев // Экология и жизнь. – 2010. – № 2. – С. 4-7.

6. Дорожная карта осуществления Глобальной программы действий по образованию в интересах устойчивого развития. ЮНЕСКО // Цифровая библиотека UNESDOC [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000230514_rus. – Дата доступа : 10.11.2022.

7. Борисевич, А. Р. Экологическое образование будущего педагога: дидактический аспект : монография / А. Р. Борисевич. – Минск : БГПУ, 2010. – 244 с.

8. Винокурова, Н. Ф. Методологические основы формирования экологической культуры школьников на основе идей экоразвития / Н. Ф. Винокурова, В. В. Николина, О. Е. Ефимова // Образование и наука. – 2016. – № 5 (134). – С. 25–40.

9. Актуальные проблемы наук о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды : сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 27–29 сент. 2021 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко, М. А. Богдасаров, А. А. Волчек. – Брест : БрГУ, 2021. – Ч. 1. – 213 с.

10. Волчек, А. А. Оптимизация управления природопользованием и эколого-экономическими системами регионов : монография / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек, П. В. Шведовский. – М. ; Берлин : Дерект-Медиа, 2021. – 148 с.

11. Волчек, А. А. Оценка влияния климата на расход тепловой энергии в энергоэффективных жилых домах / А. А. Волчек, А. Г. Новосельцева // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2022. – № 1 (127). – С. 83-85.

12. Волчек, А. А. Практическая составляющая в подготовке инженеров-экологов на примере обустройства родников / А. А. Волчек // Качество подготовки специалистов в техническом университете: проблемы, перспективы, инновационные подходы : материалы V Международной научно-методической конференции, Могилев, 19–20 ноября 2020 г. / Могилевский государственный университет продовольствия ; редкол.: А. С. Носиков (отв. ред.) [и др.]. – Могилев : МГУП, 2020. – С. 16–19.

13. Математические методы обработки данных в экологии : учебное пособие / А. А. Волчек [и др.]. – Минск : РИВШ, 2018. – 212 с.

14. Дронова, Е. С. Формирование экологической культуры младших школьников в общеобразовательной школе / Е. С. Дронова // Известия ВГПУ. (Волгоград). – 2017. – №8 (121). [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://izvestia.vspu.ru/jurnal/369>. – Дата доступа : 03.11.2022.

15. Ермаков, Д. С. От изучения экологии к решению экологических проблем : Монография / Д. С. Ермаков, И. Т. Суравегина. – Новомосковск : УРАО, 2005. – 132 с.

16. Захлебный, А. Н. Общепредметная экологическая грамотность школьников / А. Н. Захлебный, Е. Н. Дзятковская // Педагогика. – 2017. – № 8. – С. 54–62.

17. Катович, Н. К. Формирование экологических компетенций учащихся в процессе непрерывного воспитания // Н. К. Катович // Выхаванне і дадатковая адукацыя. – 2015. – № 9. – С. 32–33.

18. Мамедов, Н. М. Культура, экология, образование / Н. М. Мамедов – Москва : РЭФИА, 1996. – 52 с.
19. Свиридов, В. В. Химия сегодня и завтра / В. В. Свиридов. – Минск : Университетское, 1987. – 126 с.
20. Винокурова, Н. Ф. Вклад Ирины Трофимовны Суравегиной в методологию, теорию и методику непрерывного экологического образования / Н. Ф. Винокурова, Д. С. Ермаков // Непрерывное образование: XXI век. – 2021. – Вып. 2 (34). – DOI: 10.15393/j5.art.2021.6924.
21. Stapp, W. B.; et al. (1969). The concept of Environmental Education // The Journal of Environmental Education. – 1969. – № 1 (1). – P. 30–31. doi:10.1080/00139254.1969.10801479.
22. Tan, M.; Pedretti, E. (2010). Negotiating the complexities of environmental education: A study of Ontario teachers // Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education. – 2010. – № 10 (1). – P. 61-78. doi:10.1080/14926150903574320. S2CID 145342234.
23. Stevenson, R. B. (2007). Schooling and environmental education: Contradictions in purpose and practice // Environmental Education Research. – 2007. – № 13 (2). – P. 139-153. doi:10.1080/13504620701295726. S2CID 56280964.
24. Система образования Республики Беларусь в цифрах / В. В. Соломонова, А. В. Шнитко и др. – Минск : Учреждение «Главный информационно-аналитический центр Министерства образования Республики Беларусь», 2022. – 62 с.
25. Программа непрерывного воспитания детей и учащейся молодежи на 2021-2025 гг. // Приложение к Постановлению Министерства образования Республики Беларусь 31.12.2020 № 312 // Национальный образовательный портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://adu.by/images/2021/03/programma-vospitaniya-2021-2025.pdf>. – Дата доступа : 10.11.2022.
26. Михайлова, Н. С. Зачем гуманитариям естествознание или об отношении будущих педагогов к естественнонаучным дисциплинам / Н. С. Михайлова // Методика преподавания химических и экологических дисциплин : сб. научн. статей VIII Междунар. науч.-метод. конф., Брест, 26-27 ноября 2015 / БрГТУ ; БрГУ им. А. С. Пушкина ; редкол. : А. А. Волчек [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2015. – С. 113-116.
27. Гнездовский, Ю. Ю. Повышение качества математической подготовки будущего учителя начальной школы в педагогической среде вуза / Ю. Ю. Гнездовский // Педагогическая среда в университетах как пространство за профессионально-личностное развитие на будущий специалист : сб. научн. тр. – Габрово : Екс-Пресс, 2010. – С. 534-537.
28. Гнездовский, Ю. Ю. О междисциплинарном взаимодействии в вузовском образовании / Ю. Ю. Гнездовский, Н. П. Макарова // Актуальные проблемы и инновационные технологии преподавания учебных дисциплин [Электронный ресурс] : материалы междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 30 ноября 2018 г. / редкол.: Ю. Ю. Гнездовский [и др.] ; рецензенты: В. В. Казаченок, И. К. Комарова. – Минск : БИП-Институт правоведения, 2019. – С. 36-45.

**ОЦЕНКА ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ
ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ТУРКЕСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ
КОЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ ВОД**

*А. Е. Дуанбекова¹, П. С. Султанбекова², О. П. Мешик³,
Е. С. Саркынов⁴, Г. К. Каримова⁵*

¹ Докторант PhD Казахского национального аграрного исследовательского университета, Алматы, Казахстан, e-mail : aiga78@inbox.ru

² К.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Водные ресурсы, землепользование и агротехника» Южно-Казахстанского университета им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан, e-mail : parida.sultanbekova@mail.ru

³ К. т. н., доцент, декан факультета инженерных систем и экологии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : omeshyk@gmail.com

⁴ К.т.н., профессор кафедры «Водные ресурсы и мелиорация» Казахского национального аграрного исследовательского университета, Алматы, Казахстан

⁵ Докторант PhD Казахского национального аграрного исследовательского университета, Алматы, Казахстан, e-mail : gulnur_karimova@bk.ru

Реферат

В данной статье представлены результаты исследования по установлению возможности использования коллекторно-дренажных вод (КДВ) для орошения сельскохозяйственных культур на орошаемых землях Туркестанской области. Изучены изменение солевого режима почвы и урожайность культур в зависимости от минерализации поливных вод. Урожайность всех испытанных культур, при орошении коллекторно-дренажной водой с минерализацией <5 г/л не снижалась. Результаты опытов позволили прийти к выводу, что коллекторно-дренажная вода с минерализацией <5 г/л может быть использована для орошения культур в чистом виде, при минерализации воды 6-7 г/л поливы КДВ должны чередоваться с поливами пресной водой, а при минерализации воды >7 г/л ее необходимо разбавлять пресной водой до допустимого предела.

Ключевые слова: коллекторно-дренажная вода, орошаемые земли, уровень грунтовых вод, минерализация.

**ASSESSMENT OF THE SOIL-RECLAMATION
CONDITION OF IRRIGATED LANDS OF TURKESTAN
REGION DEPENDING ON THE HYDROCHEMICAL
REGIMES OF GROUNDWATER**

*A. E. Duanbekova, P. S. Sultanbekova, A. P. Meshyk,
E. S. Sarkynov, G. K. Karimova*

Abstract

This article presents the results of research to establish the possibility of using collector-drainage waters for irrigation of agricultural crops on irrigated lands of the

Turkestan region. The changes in the salt regime of the soil and crop yields depending on the mineralization of irrigation waters were studied. The yield of all tested crops, when irrigated with collector-drainage water with mineralization <5 g /l, did not decrease. The results of the experiments allowed us to come to the conclusion that collector-drainage water with a mineralization of <5 g/l can be used for irrigation of crops in its pure form, with a mineralization of 6-7 g/l of water, CDW irrigation should alternate with fresh water irrigation, and with a mineralization of water > 7 g/l, it must be diluted with fresh water to the permissible limit.

Keywords: collector-drainage network, irrigated lands, groundwater level, mineralization

Введение

Орошаемые земли Туркестанской области находятся под мелиоративным контролем РГУ «Южно-Казахстанская гидрогеологомелиоративная экспедиция» Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан, которая была организована в 1971 году и до сегодняшнего дня имеет материально-техническую базу, государственную сеть наблюдательных скважин на орошаемых землях и кадровый потенциал для осуществления государственного мониторинга и оценки мелиоративного состояния орошаемых земель.

Учреждение ежегодно в соответствии с республиканской бюджетной программой 255-108 «Мониторинг и оценка мелиоративного состояния орошаемых земель» и согласно «Правилам государственного ведения мониторинга и оценки мелиоративного состояния орошаемых земель в Республике Казахстан и информационного банка данных о мелиоративном состоянии земель сельскохозяйственного назначения», утвержденного Приказом Заместителя Премьер-министра Республики Казахстан – Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 25 июля 2016 года № 330 в зоне своей деятельности осуществляет следующие виды работ:

1) агромелиоративное обследование орошаемых земель по сбору и анализу информации о наличии и использовании орошаемых земель (в т.ч. по сельскохозяйственным культурам), о неиспользуемых орошаемых землях (в т.ч. по их причинам), о техническом состоянии и режимах работы скважин вертикального дренажа, о внедрении водосберегающих систем орошения;

2) гидрогеологические работы по распределению орошаемых земель по уровню залегания грунтовых вод, их минерализации и химическому составу;

3) гидрологические наблюдения за стоком коллекторно-дренажных вод и за химизмом оросительных и коллекторно-дренажных вод;

4) почвенно-мелиоративные изыскания по распределению орошаемых земель по степени и типу засоления почв;

5) оценку мелиоративного состояния орошаемых земель и разработку научно-обоснованных рекомендаций по их улучшению и рациональному использованию.

На основании проведенных полевых и лабораторных исследований, обобщения оперативной информации и материалов исследований прошлых лет, ниже приведены результаты всех видов работ и даны рекомендации по их улучшению. По результатам агромелиоративных наблюдений выявлено, что

в 2021 году из общей площади орошаемых земель области 566,5 тыс.га под посевами различных сельхозкультур использовалось 509,95 тыс.га. В структуре посевных площадей наибольший удельный вес занимали овощи, бахчи – 112,2 тыс.га, посевы хлопчатника – 99,63 тыс.га и кормовых культур – 128,57 тыс.га, а наименьшие посевные площади были отведены под рис – 3,99 тыс.га и культурные пастбища – 4,1 тыс.га.

Туркестанская область край засухи, здесь повсюду, кроме некоторых горных районов, испаряемость в 10-20 и более раз превышает количество атмосферных осадков, что вызвано продолжительным жарким и сухим летом. В связи с преобладающим равнинным характером местности и ее общей слабой дренированностью – здесь широко распространены засоленные почвы. Экстенсивное использование орошаемых почв в годы переходного периода, неудовлетворительное состояние оросительных и коллекторно-дренажных сетей, несоответствие их технических параметров проектным нормам привело к резкому ухудшению почвенно-мелиоративных условий орошаемых массивов [1, 2].

В настоящее время из общей площади орошаемых земель области 548,1 тыс. га 42,1 % имеет неудовлетворительное мелиоративное состояние, удовлетворительное – 29,5 % и лишь 28,4 % имеет хорошее мелиоративное состояние [3]. Сельскохозяйственная направленность экономики орошаемых регионов области, где основными проблемами орошаемых почв являются отсутствие оперативного мониторинга засоления, выявление и устранение причин повсеместного вторичного засоления и отсутствие эффективных методов повышения плодородия вторичнозасоленных почв и ряд других факторов, приводящих, в конечном счете, к их вторичному засолению привела к необходимости оценки современного состояния данных почв.

Оценка физической нехватки пресной воды на глобальном уровне, где по Центральной Азии показатель уровня водного стресса составляет более 70 %, которую можно однозначно связать с последствиями изменения климата и увеличением площадей орошаемых земель, являющихся основным потребителем пресных вод по сравнению с другими секторами экономики.

К примеру, в условиях Туркестанской области, где орошаемые земли расположены в бассейнах трансграничных рек, водообеспеченность действующих ирригационных систем колеблется в пределах 75-95 %, а в маловодные годы опускается до 50-60 %. В то же время огромные объемы коллекторно-сбросных и сточных вод, формирующиеся в речных бассейнах (до 30-50 % от водоподачи), сбрасываются за их пределы, загрязняя водные источники и ухудшая окружающую среду на прилегающих территориях. Объем коллекторно-дренажных вод (КДВ) отводимых за пределы ирригационных систем южных регионов Казахстана является весьма значительным. Аналогичная ситуация сложилась на орошаемых землях Мактааральского района Туркестанской области, где оросительная вода поступает с территории Узбекистана. Это является основной предпосылкой к повышению водообеспеченности орошаемых земель Мактааральского массива путем использования КДВ на орошение.

Над решением данной проблемы с дефицитом пресной оросительной воды научно-исследовательское сообщество мира уже многие десятилетия занимается разработкой и обоснованием водосберегающих способов и технологий поли-

вов сельскохозяйственных культур таких как – системы капельного орошения [4], орошение дождеванием [5], полив по мульчированным бороздам [6] и т.д., благодаря которым достигнуты определенные успехи не только по снижению уровня водного стресса в маловодные и засушливые годы, но и по сохранению почв от ирригационной эрозии, засоления, заболачивания, а также по улучшению их водно-физических и агрохимических свойств [8], [5].

Кроме того, имеются многочисленные исследования по использованию в орошаемом земледелии нетрадиционных водных источников, таких как повторное использование коллекторно-дренажных минерализованных вод для орошения сельскохозяйственных культур в условиях глобального дефицита пресной воды. Но масштабы использования их в орошаемом земледелии Казахстана по-прежнему невелики, особенно в условиях Мырзачульского массива орошения Туркестанской области, где поливные земли расположены в бассейнах трансграничных рек и водообеспеченность в последние 10 лет достигает максимум 80 %, а в маловодные и засушливые годы опускается до 60 %. Тогда как на этих массивах орошения значительные объемы коллекторно-сбросных и сточных вод (до 40 % от водоподачи), сбрасываются за их пределы и тем самым загрязняют окружающую среду [7].

В целях эффективного использования водно-земельных ресурсов области, обеспечения продовольственной безопасности продолжаются работы по диверсификации посевных площадей сельскохозяйственных культур.

Осуществляется переход к водоресурсосберегающим технологиям. Всего на орошаемых землях Туркестанской области современные системы капельного орошения внедрены на площади 43,6 тыс.га и построены теплицы на площади 1022 га [1].

Дальнейшее улучшение мелиоративного состояния орошаемых земель области зависит от уровня технической эксплуатации оросительной, коллекторно-дренажной сети и скважин вертикального дренажа, сроков и качества проведения агромелиоративных мероприятий, своевременного и в полном объеме внесения органических и минеральных удобрений, внедрения современных водосберегающих технологий, своевременного и качественного проведения промывок засоленных земель.

Своевременное и качественное проведение вышеперечисленных мероприятий в конечном итоге позволит улучшить мелиоративное состояние орошаемых земель и повысить продуктивность орошаемого земледелия Туркестанской области.

Объект и методика исследований

Исследования проводились на выбывших из оборота (по причине неблагоприятного мелиоративного состояния) средnezасоленных староорошаемых светлых сероземах с гидроморфным режимом почвообразования Мактааральского района Туркестанской области.

В среднем течении и низовьях реки Сырдарья роль естественных факторов в формировании гидрохимического режима уменьшается, и все большее влияние оказывают поступающие в русло коллекторно-дренажные воды, их объем и минерализация, вследствие чего изменяется общая минерализация воды.

Основные источники загрязнения – остатки агрохимикатов, которые вымываются в дренажные системы и смешиваются с речной водой. Статистика показателей качества речной воды за последние 40 лет подтверждает наличие негативных тенденций увеличения минерализации, как во времени, так и по протяженности речных русел. Например, в конце 60-х годов прошлого столетия средняя минерализация воды даже в реке Сырдарья не превышала 1 г/л. В современных условиях этот показатель колеблется от 0,3-0,5 г/л в верхнем течении, до 1,7-2 г/л в нижнем течении.

Оценка гидрохимического режима воды нижнего течения реки Сырдарьи показывает чрезмерное повышение общей минерализации воды и ионного состава за последний период.

Наиболее известный метод оценки качества воды разработан А. М. Можейко и Т. К. Воротник, которые считают воду пригодной для сельскохозяйственных культур, если соотношение: $(Na+K) 100 / (Ca+Mg+Na+K)$ меньше 65 %, если же оно 66-75 %, то вода опасна, а соотношение больше 75 % свидетельствует о том, что вода весьма опасна – возможно осолонцевание почв.

По М. Ф. Буданову [9], вода считается пригодной для сельскохозяйственных культур, если соотношение Na/Ca меньше единицы, соотношение $Na / (Ca+Mg)$ меньше 0,7 для вод минерализацией до 1 г/л, а для вод с минерализацией от 1 до 3 г/л частное от деления суммы всех ингредиентов на величину жесткости $(Ca+Mg)$ не должно превышать 4 для средне- и тяжелосуглинистых почв, 5 – для легкосуглинистых и 6 – для супесчаных и песчаных почв.

Результаты и обсуждение

Выполненные исследования позволили получить и обосновать ирригационные свойства коллекторно-дренажных вод на исследуемой территории (таблица 1).

По мелиоративным показателям засоление и высокое стояние грунтовых вод в основном связано с недостаточной дренированностью орошаемых земель из-за неэффективной работы открытой коллекторно-дренажной сети и скважин вертикального дренажа. Как известно, грунтовые воды орошаемой территории формируются за счет поливных вод, атмосферных осадков и подземного притока. Динамика уровня грунтовых вод (УГВ) подвержена колебанию по сезонам года.

В Туркестанской области имеется в наличии около 574,0 тыс.га орошаемых земель, то есть 1/3 часть из общей используемой площади орошаемых земель Казахстана.

Исследования по Туркестанской области показали, что критическая (от 0 до 2 м) отметка составила на 150,2 тыс.га, что по сравнению с предыдущим годом увеличилась на 23,5 тыс.га, ниже критической отметки от 2 и ниже 423,8 тыс.га или 74 % от всей орошаемой площади Туркестанской области. Наблюдение за химизмом грунтовых вод показали что, минерализация грунтовых вод (ГВ) от 0 до 3 г/л распространилась на площади 488,7 тыс.га и от 3 и более г/л на площади 85,3 тыс.га или 15 % от всей орошаемой площади Туркестанской области (рисунок 1).

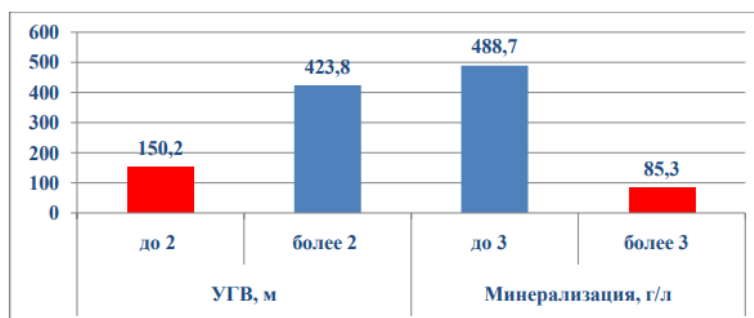


Рисунок 1 – Распределение площадей орошаемых земель по УГВ и их минерализация в пределах Туркестанской области, тыс.га

Наиболее низкие положения ГВ наблюдаются в период после окончания вегетационных поливов и до начала проведения осенне-зимних промывок (там, где они проводятся), а там, где они не проводятся – практически до весенне-полевых работ. Максимально высокие положения ГВ отмечаются на орошаемых землях, где выполняются летние вегетационные поливы сельскохозяйственных культур и осенне-зимние промывные поливы. Здесь выделено два пика – декабрь-март и июль-август, т.е. месяцы, в которые наблюдается ирригационный тип режима грунтовых вод.

Определяющим значением в формировании минерализации и химизма имеют свойства водовмещающих пород и характер баланса грунтовых вод.

Для улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель необходимо:

- уменьшить инфильтрационное питание грунтовых вод за счет проведения антифильтрационных мероприятий на оросительных системах, а также за счет применения научно-обоснованных способов и техники полива и улучшения водопользования;

- за счет улучшения дренированности территории, путем восстановления системы скважин вертикального дренажа и проведения регулярных эксплуатационных мероприятий на открытых коллекторно-дренажных системах.

Заключение

Своевременное и качественное проведение вышеперечисленных мероприятий в конечном итоге позволит улучшить мелиоративное состояние орошаемых земель и повысить их водообеспеченность, а также создать благоприятные условия для эффективного использования орошаемых земель юга Казахстана. Исходя из результатов исследований, можно сделать вывод о том, что с орошением минерализованной водой, оказывается положительное влияние на режим грунтовых вод и тем самым улучшается дренированность орошаемой территории. Все это отражается на урожайности сельскохозяйственных культур.

Таблица 1 – Ирригационные свойства КДВ

№ п/п	Водо- источники	Дата отбора проб	Ми- нера- лиза- ция, мг/дм ³	Тип химизма воды	Ирригационные свойства, мг/лит		Качество воды		Пригодность для повторного использования
					$SAR = \frac{1,41Na}{\sqrt{Ca + Mg}}$ мг/экв	по Приклонскому >6 $\hat{E} = \frac{6620}{Na + 2,6Cl}$ мг/л	по SAR	по Приклон- скому	
1	2	3	4	5	7	8	11	12	13
Ордабасинский район									
1	К-1	10.09.21	1,48	SO ² ₄ , HCO ₃ , Na+K	2,8	15,9	не опасно	удовл.	без смешивания
2	К-1-1	10.09.21	1,48	HCO ₃ , SO ² ₄ Mg+	2,8	10,0	не опасно	удовл.	без смешивания
Махтаральский район									
3	Коллектор Северный	16.06.21	1,29	SO ² ₄ , HCO ₃ , Ca+	1,06	10,1	не опасно	удовл.	без смешивания
4	Арнасай	14.06.21	1,36	SO ² ₄ , HCO ₃ , Na+K	2,7	7,8	не опасно	удовл.	со смешиванием 1:1
Шардаринский район									
5	Восточный	17.09.21	1,71	SO ² ₄ , HCO ₃ , Na+K	2,7	10,5	не опасно	удовл.	без смешивания
6	Западный	15.09.21	1,55	SO ² ₄ , HCO ₃ , Na+K	2,3	12,6	не опасно	удовл.	без смешивания
Отрарский район									
7	Сброс Шаульдер	07.06.21	13,0	SO ² ₄ , Cl, Na+K	13,5	0,7	ср. опасно	неудовл.	не рекомендуется
Туркестанский район									
8	К-4	12.06.21	0,72	HCO ₃ , SO ² ₄ , Ca+	1,1	41,0	не опасно	хорошее	без смешивания
9	К-5	08.09.21	1,24	SO ² ₄ , HCO ₃ , Ca+	1,46	19,9	не опасно	хорошее	без смешивания
Сарыагашский район									
10	ГД-16	31.08.21	1,61	SO ² ₄ , HCO ₃ , Ca+	2,3	21,4	не опасно	хорошее	без смешивания
11	ГД-17	31.08.21	1,63	SO ² ₄ , HCO ₃ , Ca+	2,1	10,6	не опасно	удовл.	без смешивания

Примечание: SO²₄ – сульфатный, Cl – хлоридный, Na – натриевый, Mg – магниевый, HCO₃ – гидрокарбонатный. Оценка качества воды по ирригационному коэффициенту (по Приклонскому): K>18 – хорошее, K=18-6 – удовлетворительное, K=5,9-1,2 – неудовлетворительное и K<1,2 – плохое. (по SAR): >26 – очень высокая, 18-25 – высокая, 10-18 – средняя, <10 – слабая.

Список цитированных источников

1. Сводные отчеты о мелиоративном состоянии орошаемых земель Южно-Казахстанской области за период 2000-2019 гг. – РГУ «ЮК ГГМЭ», Шымкент.
2. Кадастр мелиоративного состояния орошаемых сельхозугодий Южно-Казахстанской области за 2000-2019 гг. – РГУ «ЮК ГГМЭ», Шымкент.
3. Мустафаев, Ж. С. Экологическое обоснование проблемы бассейна Аральского моря / Ж. С. Мустафаев, А. Т. Козыкеева // Тараз, 2011.
4. Гельдыева, Г. В. Ландшафты Казахстана / Г. В. Гельдыева, Л. К. Веселова // Алматы : Гылым, 2014.
5. Рахимбаева, Ф. М. Использование дренажных и грунтовых вод для орошения / Ф. М. Рахимбаева, Г. А. Ибрагимов // Москва : Колос, 2010.
6. Основы использования коллекторно-дренажных вод для орошения. Научно-информационный журнал // Водное хозяйство Казахстана. – № 1(82), 2019.
7. Шомонтаев, А. А. Гидрохимический режим водотоков и сельскохозяйственное использование сточных вод в низовьях реки Сырдарьи / А. А. Шомонтаев // Кызылорда, 2001. – С. 100–104.
8. Безбородов, Г. А. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия / Г. А. Безбородов, Р. К. Икрамов, А. А. Утаев, С. М. Гаппаров // Научно-практический журнал. – Выпуск № 3(59). – 2015. – С. 143–149.
9. Олжабаева, А. О. Повышение эффективности использования водных ресурсов на рисовых системах в низовьях реки Сырдарьи / А. О. Олжабаева // дисс. РК Алматы, 2018. – 128 с.

УДК 34.35.51

РАЦИОНАЛЬНОЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ В БАЛКАШ-АЛАКОЛЬСКОМ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОМ БАССЕЙНЕ

*Е. Д. Жапаркулова¹, А. К. Заурбек², А. С. Арипжанова³,
О. П. Мешик⁴, Захер Мохсени⁵*

¹ К.с-х.н., профессор, зав. кафедрой «Водные ресурсы и мелиорация»,
Казахский национальный аграрный исследовательский университет,
Алматы, Казахстан, e-mail : -ermekull@mail.ru

² Д.т.н., профессор, Казахский национальный аграрный исследовательский
университет, Алматы, Казахстан, e-mail : auyelbek.zauirbek@kaznaru.edu.kz

³ Докторант PhD, Казахский национальный аграрный исследовательский
университет, Алматы, Казахстан

⁴ К. т. н., доцент, декан факультета инженерных систем и экологии
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
e-mail : omeshyk@gmail.com

⁵ Магистрант, Казахский национальный аграрный исследовательский
университет, Алматы, Казахстан, e-mail : zahermohseni24@gmail.com

Реферат

В статье рассматриваются принципы рационального использования водных ресурсов Балкаш-Алакольского водохозяйственного бассейна.

Ключевые слова: водные ресурсы, водохозяйственный бассейн, рациональное водопользование.

RATIONAL WATER USE IN THE BALKASH-ALAKOL WATER BASIN

E. D. ZHaparkulova, A. K. Zaurbek, A. S. Aripzhanova,
A. P. Meshyk, Zaher Mohseni

Abstract

The article describes the principles of rational use of water resources of the Balkash-Alakol water management basin.

Keywords: water resources, water management basin, rational water use.

Введение

Речной сток Балкаш-Алакольского водохозяйственного бассейна в средний по водности год составляет 28,85 км³, включая 11,5 км³ поступающих с территории Китайской Народной Республики (КНР). Река Иле является главной водной артерией Балкаш-Алакольской впадины, где формируется около 80 % ее стока. Основная формирующая стока часть бассейна р. Иле расположена в пределах КНР, где водосбор имеет достаточно развитую гидрографическую сеть. В средней и нижней части территории бассейна, большие пространства лишены поверхностного стока.

Регулирование стока и забор воды в бассейнах рек усугубляют водохозяйственную и экологическую обстановку в регионе. Сократились площади сенокосных угодий, тугайных лесов, биологическое разнообразие. Утеряна продуктивность пастбищ, животноводство превращается в убыточную отрасль.

При реальной водохозяйственной обстановке, орошаемое земледелие на сегодня может располагать водными ресурсами не более 2,5 км³ воды в средний по водности год. При увеличении забора воды на территории КНР с 3,5 км³ до 5,0 км³, орошение может располагать водными ресурсами не более 0,5 км³ воды в год.

Основной принцип устойчивого развития отраслей экономики в бассейне реки – в установлении оптимального уровня использования водных ресурсов и создании экологически безопасной обстановки в окружающей среде [1, 2, 3]. Отсюда вытекает, что проблемы рационального использования водных ресурсов бассейна реки и сохранение экологического равновесного состояния в окружающей среде и в том числе установление природоохранного стока, оставляемого в каждом водном источнике, являются особо актуальными проблемами.

Современное состояние и перспективы использования водных ресурсов в Балкаш-Алакольском водохозяйственном бассейне

Водные ресурсы рек и временных водотоков Балкаш-Алакольского водохозяйственного района составляет 27759 млн. м³/год, в том числе в годы 50 %, 75 % и 95 % – ой обеспеченности 26808, 22785, 17847 млн. м³ воды соответственно.

Располагаемые водные ресурсы Балкаш-Алакольского водохозяйственного района приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Располагаемые поверхностные водные ресурсы Балкаш-Алакольского водохозяйственного района, км³ [4]

Водохозяйственные бассейны	Среднеголетний сток, всего	В том числе							Сток в маловодные годы (P=95%)			
		Обязательные затраты стока				Нерегулируемый сток паводков	Итого затрат	Располагаемый сток	Естественный	Из них располагаемый сток	Увеличение за счет регулирования	Располагаемы с учетом регулирования
		Потери на испарение и фильтрацию	Попуски		Итого							
			эколого-санитарные	транспортно-санитарные								
Арало-Сырдарьинский	17,92	2,8	3,1	0	5,9	0	5,9	12,02	14,24	9,3	0	9,3
Балкаш-Алакольский	27,76	1,13	14,6	0	15,73	1,8	17,53	10,23	17,85	5,4	3,15	8,55

Обобщения показывают, что все водохозяйственные районы в перспективе будут дефицитными по водным ресурсам, кроме бассейна реки Ертыс. В целом по Республике Казахстан к 2030 году дефицит воды по бассейнам может составить 13 км³ воды в год [5].

Сокращение притока воды в озеро Балкаш вызвано, как отмечается в работе [6], строительством Капчагайской ГЭС, бесконтрольностью использования водных ресурсов рек Каратал, Лепсы и др. К примеру, река Аягуз до середины 1950 годов доносила свои воды до озера. Непродуманная политика акклиматизации в 1950 годы чуждых видов рыб и неконтролируемый лов привели к упадку развития рыбопродовых хозяйств. Фермы по выращиванию водоплавающей птицы практически сворачивают свою деятельность. Охотничья промысловая отрасль стала нерентабельной, так как снижаются объемы добываемой дичи и рыбы, заготавливаемого растительного сырья. Видоизменяются растительное сообщество. Луговая растительность частично трансформируется в степную, а степная в свою очередь в пустынную. Многолетние травы замещаются однолетними. Появляются непригодные для выпаса скота сорные травы. Вследствие значительного сокращения площади сенокосных угодий, тугайных лесов сократилось биологическое разнообразие. Из-за превышения кормоемкости пастбищ поголовье овец и коз сократилось более, чем в три раза, а потребление мяса на душу населения упало с 77 до 45 кг/год [6]. Возрастают темпы наступления песков, животноводство превращается в убыточную отрасль.

В результате бесконтрольного использования воды в верховьях реки Иле, в бассейне озера Балкаш уже в самое ближайшее время может сложиться очень неблагоприятная экологическая ситуация, и озеро может повторить судьбу Аральского моря [7]. В этой связи выдвигаются следующие рекомендации:

- не допустить притока воды в озеро по реке Иле меньше экологически допустимого – 11 км³ в год. Тем самым уровень воды в озере не уменьшится до предельно допустимого 341 м БС. При этом, ссылаясь на работы [8, 9] утверждается, что уменьшение уровня воды в озере до отметок ниже 341 м БС повлечет за собой обмеление озера, увеличение солености воды, а также будет

происходить переток соленой воды из восточной (глубоководной) части в западную (мелководную) часть через пролив Узун-Арал.

- необходимо предпринять реальные шаги по заключению договора с КНР о совместном использовании ресурсов поверхностных вод бассейна реки Иле в соответствии с международным водным правом и принятыми конвенциями. Определить и обозначить в этом договоре совместный уровень водопотребления в этом бассейне. Пока договор не подписан, Китай активно ведет строительство и заполнение новых водохранилищ, каналов, а также политику переселения из центральных районов в СУАР. По последним данным в бассейне реки Иле на территории КНР уже существует более 13-ти водохранилищ и 40 ГЭС [10].

Водохозяйственная и водоохранная обстановка в Балкаш-Алакольском водохозяйственном бассейне указывает, что необходимо разработать научно-методологические основы рационального использования водных ресурсов бассейна реки. Процессы разрушения экосферы или её частей естественными процессами, или же в результате антропогенного воздействия можно установить на основе материалов существующей сети мониторинговой службы. Таких же материалов о самовосстанавливающей способности территориальных природных комплексов, а также самоочищающейся способности отдельных видов природных ресурсов невозможно получить. В научной литературе широко распространено мнение о том, что использование 5 % природных ресурсов или же изменение показателя биоразнообразия более чем на 5 % уже свидетельствует о наличии чрезмерных внешних нагрузок на экосистему. Таким образом, 5 % уровень использования природных ресурсов или же 5 % изменение биоразнообразия в территориальном природном комплексе можно принимать за предельную «выносимость» экосистемы любого рассматриваемого уровня, за предельное значение техногенной нагрузки на экосферу или же на её составляющие. Другими словами, при 5 % уровне использования природных ресурсов в окружающей среде еще будут соблюдаться экологическое равновесие, то есть будет наблюдаться природно-производственный паритет [11].

Основы разработки принципов рационального использования водных ресурсов бассейна реки

Устойчивое социально-экономическое развитие Казахстана сдерживается множеством существующих проблем в водном секторе. Одним из главных факторов является нарушение природного баланса между имеющимися водными ресурсами и потребностями в них. Вода является ключевым природным компонентом в обеспечении существования человечества и сохранения целостности экосистем в биосфере. В то же время, водные ресурсы – это один из лимитирующих факторов развития общества.

На сегодня не разработана стратегия использования воды, увязанная с наличными водными ресурсами и учитывающая требования природных комплексов. Не принимается во внимание загрязнение водных ресурсов. Для бассейнов трансграничных рек не учитывается рост объемов забора воды на перспективу на территориях сопредельных государств и охрана водных ресурсов для каждого водохозяйственного района. Систему возникающих проблем в бас-

сейнах рек в перспективе можно разрешить, если будут разработаны обоснованные перспективные планы развития водного хозяйства в бассейнах рек. В дефицитных по воде бассейнах рек дальнейшее развитие водного хозяйства и соответственно дальнейшее развитие отраслей экономики, требуют согласования возможностей наличных водных ресурсов с потребностями на них. Таким образом, в идеале требуются согласование возможности отбора воды из окружающей среды определенного количества природных, в том числе и водных ресурсов с самовосстанавливающей способностью окружающей среды.

Вопросы обоснования развития отраслей экономики и проблемы охраны окружающей среды рассматриваются отдельно, в отрыве друг от друга. Не соблюдается, требования основополагающего принципа Декларации в Рио-де-Жанейро, выдвинутого еще в 1992 году [12]. Основополагающий принцип, предполагает: «для того, чтобы добиться устойчивого развития, охрана окружающей среды должна стать неотъемлемой частью процесса развития и не может рассматриваться в отрыве от него». Данное положение можно обозначить как принцип органического единства и взаимосвязи экономики и экологии. Утверждается, что экологически ориентированная экономика означает, что, надо отказаться от представления о том, что природные ресурсы неисчерпаемые и природная среда имеет неограниченные возможности к самовосстановлению.

Алматинская и Жетысуская области благодатный край для развития орошаемого земледелия. Можно развивать, как традиционные секторы растениеводства и в особенности перспективны для плодоводства, виноградарства и ореховодства. При осуществлении орошаемого земледелия можно обеспечить население нашего государства своими плодовыми и виноградарскими продуктами. Применение водосберегающих и инновационных технологий (дождевания, капельного орошения (низконапорного капельного орошения) и др.) позволит значительно экономить дефицитную влагу.

Природные, климатические и рельефные условия местности очень благоприятны для развития туризма и спорта. Можно развивать прудовое рыбное хозяйство на базе горных водотоков Заилийского и Джунгарского Алатау. Рекреационные зоны включают: комплекс спортивных сооружений различного назначения, лодочные станции, водоемы для купания и любительского лова, кемпинги, дома отдыха, парки, скверы и другие. Развивается соответствующая инфраструктура. Горные водотоки являются идеальным источником для сооружения малых и микро ГЭС. Развивается еще один тип кластера: туристско-рекреационный.

Принципиальные основы управления водными ресурсами в бассейнах рек:

- экологический безопасный и экономически оптимальный уровень водопользования и охраны водного фонда;
- потребности в воде отраслей экономики не должны превышать располагаемые водные ресурсы и соответственно качество воды в водотоках на расчетные прогнозные периоды должны быть не хуже фонового уровня.

Отсюда следует, что экологическая безопасность составляющих территориального природного комплекса или экосферы достигается, при

$$\text{ПР п/к} = (\text{ПРп/к,е} + \text{ПРп/к,а}) < \text{ПВп/к}, \quad (1)$$

$$P_{п/к} = (P_{п/к,е} + P_{п/к,а}) < V_{п/к}, \quad (2)$$

где $P_{п/к}$ – интенсивность (скорость) разрушения природного территориального комплекса;

$P_{п/к,е}$, $P_{п/к,а}$ – соответственно интенсивности (скорости) разрушения природных территориальных комплексов естественного и антропогенного происхождения;

$V_{п/к}$ – интенсивность (скорость) восстановления природной среды и самоочищающаяся способность территориального природного комплекса;

$R_{п/к}$, $V_{п/к}$ – соответственно, уровень разрушения и восстановления природных комплексов;

$R_{п/к,е}$, $R_{п/к,а}$ – степень разрушения соответственно, естественными и антропогенными факторами.

В природно-антропогенной сфере имеет смысл рассмотрения компромиссного варианта сосуществования общества и природы на оптимальном социально-эколого-экономическом уровне. Откуда следует, что при использовании любого вида природного ресурса существует оптимальный вариант. При этом, оптимальное значение уровня использования природных ресурсов зависит от существующей системы взглядов и точек зрения, развитости и глубины научных исследований, а также уровня развития самого общества.

Предложения по улучшению водохозяйственной и экологической обстановки в Балкаш-Алакольском водохозяйственном бассейне

Все мировое сообщество и в том числе отдельно взятые государства для создания комфортных условий для своего устойчивого развития всемерно должны снижать хотя-бы по-этапно влияние антропогенной нагрузки на окружающую среду. При этом, Республика Казахстан, для решения амбициозной цели по вхождению в число 30 развитых государств мира, должна идти в числе лидирующих государств. Это возможно, если в основу в нового разрабатываемого Экологического кодекса Республика Казахстан будут заложены, стратегически важные показатели (индикаторы) [13]:

1. С 1 января 2021 года, новые потребители природных ресурсов (предприятия или любые народнохозяйственные объекты) включаются в эксплуатацию, если в соответствующем регионе или области, районе, городе, аульных или поселковых советах будут достигнуты определенные достижения по уменьшению уровня загрязнения окружающей среды. И только на ту величину, которые были достигнуты. То есть, новое предприятие покупает соответствующую лицензию у предприятия – лидера производства. Тогда, не будет наблюдаться, повышение уровня нагрузки на состояние окружающей среды. В свою очередь, период с 01 октября 2019 года по 31 декабря 2020 года отводиться на разработку и утверждение природоохранных мероприятий по регионам и областям Республики Казахстан.

2. На первом этапе (до 2030 годов) уровень нагрузки на состояние окружающей среды должен снижаться на 33 % по сравнению с 2020 (базовым) годом, а на втором этапе (до 2050 годов) до 50 %. Это означает, что:

2а. Объемы выбросов в атмосферный воздух и сбросы в водоемы и водотоки повсеместно в разрезе отдельного региона, области, района, города, аульного или поселкового совета должны снижаться на 33 % по сравнению с 2020 (базовым) годом. Соответственно уровень загрязнения окружающей среды и по его отдельным компонентам в разрезе по всем анализируемым ингредиентам (на сегодня или возможных в перспективе) должны снижаться на 33 % по сравнению с 2020 (базовым) годом. Относительно возможных формирующихся в перспективе новых ингредиентов – то уровни их влияния на состояние окружающей среды, не должны превышать показателей принятых на мировом уровне.

2б. Состояние природных комплексов (флоры и фауны, биоразнообразия, рыбоводных, рыбопрудовых, охотнических и других звероведческих хозяйств, пастбищ, сенокосных или других сельскохозяйственных угодий должны улучшаться на 33 % по сравнению с 2020 (базовым) годом.

2в. Городские свалки, или свалки аульных или поселковых советов должны быть преобразованы в современные объекты по хранению, утилизации и обработке твердых бытовых отходов (ТБО) или в полигоны ТБО усовершенствованного типа.

2г. Полигоны ТБО или другие виды их захоронения, хвостохранилища, санитарно-защитные зоны, пруды-охладители, поля фильтрации, отстойники, пруды сточных вод, а также другие объекты по хранению, утилизации и обработке отходов производств и предприятий должны снижать влияние на состояние окружающей среды на 33 % по сравнению с 2020 (базовым) годом.

2д. Экологическое состояние национальных парков, заповедников, резерватов, отдельных элементов ландшафта, памятников, различных природных и архитектурных объектов, музеев различного рода открытого или закрытого видов, и других важных объектов народнохозяйственного значения должны улучшаться и соответствовать требованиям международного уровня.

2е. Стимулировать природоохранные мероприятия направленные на рациональное использование и охраны природных ресурсов (плата за использование природных ресурсов и дифференцированные ее нормативы, нормативы платы за истощение и загрязнение составляющих окружающей среды, критерии оценки загрязнения и истощения природных ресурсов, обоснование социально-эколого-экономической эффективности природоохранных мероприятий и др.).

3. Национальный доклад по природным ресурсам и охраны окружающей среды должен отражать уровень выполнения государственных планов (требований) по соответствующим направлениям в разрезе регионов, областей, районов, городов, аульных или поселковых советах и не повторять суть и содержание статистических ежегодников.

4. Статистический ежегодник должен отражать состояние выполнения природоохранных мероприятий, принятых в экологическом кодексе Республики Казахстан. Для этого в статистическом ежегоднике предусматривается специальный раздел.

5. На втором этапе (до 2050 годов) уровень нагрузки на состояние окружающей среды должен снизиться на 50 % по сравнению с 2020 (базовым) годом. Ход выполнения требований индикаторов идентичны поставленным целям на уровень 2030 годов. В отдельных случаях они могут быть дополнены и конкре-

тизированы в зависимости от уровня выполнения требований первого этапа экологического кодекса Республики Казахстан, принятого на уровень 2030 годов.

Относительно улучшения водохозяйственной и экологической обстановки в Балкаш-Алакольском водохозяйственном бассейне можно предложить.

1. В перспективе, для удовлетворения потребности в воде отраслей экономики и сохранения устойчивости природных комплексов в бассейнах рек возможны. Первое направление – увеличение запасов поверхностных водных ресурсов (привлечение стока извне). Второе направление – снижение или стабилизация объемов водопотребления отраслей экономики на уровне 2022 года. Подземные воды не принимаются во внимание. Они должны служить для удовлетворения потребности населения в питьевой воде, как нынешнего, так и будущего поколения людей.

На первом этапе (2023-2027 годы) стратегической задачей является разработка и внедрение совершенных технологий использования воды и водосберегающих мероприятий в отраслях экономики, сохранение и восстановление экологической устойчивости природных комплексов в бассейнах рек.

На втором этапе (2028-2030 годы) устойчивое развитие отраслей экономики возможно при решении двух направлений взаимозависимых задач. Первое – переброска стока из бассейна реки Ертыс. Объем перебрасываемого стока – 3...4 км³ в год. Второе – разработка принципиально новых технологий использования водных ресурсов во всех отраслях экономики, позволяющих снизить удельные нормы водопотребления на 30-40 %. В дополнение, необходимо развивать не требующих или потребляющих в незначительном объеме водных ресурсов отраслей экономики (к примеру, радиоэлектроника, кибернетика и другие).

На третьем этапе (2030-2050 годы) устойчивое развитие отраслей экономики возможно также при решении тех же взаимозависимых задач. Первое – привлечение стока извне. Объем перебрасываемого стока может составить 7...8 км³ воды в год. Второе – дальнейшее развитие принципиально новых технологий использования водных ресурсов во всех отраслях экономики, позволяющих снизить удельные нормы водопотребления на выпуск единицы продукции в 2 и более раз.

2. На настоящее время, снова поднимается вопрос о том, что необходимо перебросить сток сибирских рек в районы Казахстана. Во-первых, проблемы переброски стока, должны рассматриваться параллельно с вопросами экономии воды, внутри самого государства. Необходимо установить пределы проведения мероприятий по водосбережению внутри страны в сопоставлении с затратами на переброску стока. Для оценки социально-эколого-экономической эффективности производства сельскохозяйственной продукции в вариантах водосбережения и переброски стока необходимо рассчитать затраты и себестоимость продукции как в вариантах использования местного стока и импорта продукции из-за границы в отдельности, так и в сочетании местного стока с импортом продукции в целях приведения их в сопоставимые условия с рассматриваемыми выше вариантами водосбережения и переброски стока.

3. Дальнейшее развитие отраслей экономики может производиться только за счет экономии воды внутри своей отрасли. Эта величина приведена, как

потребность в воде отраслей экономики в базовом периоде (на 2022 год). Устойчивое развитие отраслей экономики и сохранение экологической безопасности в каждом бассейне реки возможны: во-первых, если будут решены рекомендуемые варианты водосбережения каждым участником ВХК, и во-вторых, если будут решены, проблемы вододеления стока бассейнов трансграничных рек.

Во всех отраслях экономики, уровень уменьшения потребности в воде водопотребителей для действующих предприятий (кроме СХВ, обводнения пастбищ, лиманного орошения и частично пойм и лугов) производится в соответствии с рекомендациями, как и в СУР ГГИ [14]. При достижении определенных положительных решений по вододелению и осуществлении водосберегающих и инновационных технологии (при снижении удельных норм водопотребления отраслей экономики к 2025 году до 0,9, к 2030 до 0,8, к 2040 до 0,7, к 2050 до 0,6) и удовлетворений обязательных затрат стока равных 49,8 км³ (без учета глобальных климатических изменений) потребности в воде водопотребителей будут удовлетворены в полном объеме и при приведенном уровне водообеспеченности. Имеются возможности для развития отраслей экономики.

4. На всех стадиях проектирования предприятий, зданий и сооружений обязательны: широкое использование высокоэффективных процессов производства, малоотходных и безотходных технологических процессов и производств, ресурсосберегающей техники; экономное и рациональное использование водных ресурсов; реализация достижений науки, техники и передового опыта в вопросах очистки сточных вод; предотвращение и устранение существующего загрязнения поверхностных и подземных вод отходами производств; разработка инженерных мероприятий по предотвращению сбросов сточных вод, по обеспечению экологической безопасной эксплуатации водозаборных сооружений и водохранилищ; минимальное отчуждение земель под строительство объектов водного хозяйства; рациональное научно обоснованное использование воды для отраслей экономики; предотвращение попадания продуктов производства и сопутствующих ему загрязняющих веществ на поверхность производственной площадки, водосбора и непосредственно в водные объекты.

5. Развитие орошаемого земледелия с учетом перепрофилирования сельскохозяйственного производства, реконструкции оросительных систем, внедрение прогрессивных технологий выращивания сельскохозяйственных культур с переработкой отходов сельскохозяйственного производства и экологически чистого органического удобрения. Рациональное использование коллекторно-дренажных вод с обеспечением всемерной экономии водных ресурсов, охраны природной среды и перехода на платное водопользование.

Водосберегающие технологии: повышение КПД оросительных систем (ОС); применение интенсивных технологии орошения (закрытый грунт), в том числе аэрозольного и капельного орошения и внутри него инъекционного полива; улучшение эколого-мелиоративного состояния ОС; внедрение новых способов и техники полива. Выведение новых засухоустойчивых и не потребляющие влагу сельскохозяйственных культур; инновационные технологии по уменьше-

нию расходов воды на единицу продукции; очистка и использование коллекторно-дренажных вод; совершенствование методов распределения воды; уменьшение потерь на испарение и фильтрацию из водохранилищ и каналов; перевод водоемких сельскохозяйственных культур на не водоемкие; пересмотр специализации хозяйств орошения и др. Субсидии, только тем подразделениям, которые выполнили поставленную задачу: кто улучшил эколого-мелиоративное состояние орошаемого массива или повысил плодородие почвы.

6. Рекреационное развитие. Природные, климатические и рельефные условия местности очень благоприятны для развития туризма и спорта. На берегу озера Балкаш развивается прудовое рыбное хозяйство и рекреационные комплексы Республиканского значения. Решаются запросы населения РК и близлежащих сопредельных государств, а может быть и дальнего зарубежья в полноценном отдыхе. Акватория озера Балкаш позволяет организовать водные спортивные мероприятия любого ранга. Создадутся условия для организации тренировочных баз для всех типов водного спорта. В зимний период эти базы можно будет использовать для зимних видов отдыха, спорта и туризма. Для энергоснабжения рекреационных объектов и рыбопрудовых хозяйств можно использовать энергию солнца и ветра акватории озера. Необходимо запроектировать комплекс гелиоэнергетических установок в сочетании с ветроэнергетическими.

Необходимо принять во внимание уникальность природного явления на самом оз. Балкаш, в котором в западной части вода является пресной, в восточной его части – вода соленая. Водно-энергетические и объекты рекреационного назначения можно сооружать именно на границе раздела пресной и соленой воды. Использование этого уникального явления для рекреационных и оздоровительных целей может привести к оригинальным результатам. Оздоровительные объекты не имеют аналогов на постсоветском пространстве. Однако, влияние такого уникального явления на организм человека должно исследоваться.

Сточные воды городов Алматы, Кунаева, Талдыкурган и других населенных пунктов после очистки можно направлять на полив специально созданных лесонасаждений (пирамидальный тополь и др.), которые можно использовать в строительной индустрии. Лесополосы или лесопосадки можно располагать вдоль магистральных автомобильных трасс и по возможности поперек господствующим ветрам.

При определении технико-экономических показателей уровня использования водных ресурсов бассейна реки необходимо учитывать не только прямые положительные эффекты, но и сопутствующие как положительные, так и отрицательные последствия (ущерб). Критерием для выбора оптимального уровня использования водных ресурсов бассейна реки является достижение максимального народнохозяйственного эффекта от развития отраслей экономики с учетом как прямых, так и сопутствующих эффектов.

Обоснование оптимального уровня использования поверхностных водных ресурсов бассейна реки необходимо осуществлять в следующей последовательности. Рассматриваются разные варианты уровня развития отраслей экономики. Для анализируемых вариантов уровня использования водных ресурсов

("нулевой", современный и перспективный) бассейна реки рассчитываются доходы экономики, а также ущерб. Оптимальный вариант уровня использования водных ресурсов бассейна реки определяется по максимальному значению народнохозяйственного дохода. Предварительные расчеты показывают, что с возрастанием уровня использования стока, доход отраслей экономики непременно возрастает, однако возрастает также ущерб окружающей среде от истощения и загрязнения водного источника. Комплексный народнохозяйственный доход от использования водных ресурсов бассейна реки при ее низких уровнях возрастает, а при увеличении уровня использования водных ресурсов начинает уменьшаться. Например, максимальное значение народнохозяйственного дохода приходится на уровень использования водных ресурсов равный $\alpha = 0,65$. То есть, оптимальное значение забора воды из реки Талас соответствует 65 % среднемноголетнего стока.

Заключение

Основные выводы по работе следующие. В результате антропогенной деятельности на территории Казахстана и резкого возрастания уровня использования воды на верхних участках трансграничных рек (в особенности на верховьях реки Иле), в Балкаш-Алакольском водохозяйственном бассейне уже в настоящее время сложилась очень неблагоприятная водохозяйственная и экологическая ситуация, и озеро Балкаш может повторить судьбу Аральского моря. Намечаемые на средние и соответственно на долгосрочные периоды мероприятия по развитию орошаемого земледелия на территориях Жетысуйского и Алматинского областей накладывают дополнительные чрезмерные нагрузки на состояние природной окружающей среды в регионе. Предложены возможные комплексные меры по решению стратегической задачи по рациональному использованию водных ресурсов в Балкаш-Алакольском водохозяйственном бассейне с учетом сохранения озера Балкаш.

Список использованных источников

1. Водный кодекс Республики Казахстан от 9 июня 2003 г. № 481-ІІ. (С изменениями и дополнениями по состоянию на 28.04.2016 г.). https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1042116.
2. Есполов, Т. И. Агропромышленный комплекс Казахстана: экономика водного хозяйства. – Алматы, 2007. – 320 с.
3. Концепция перехода Республики Казахстан к устойчивому развитию на 2007-2024 гг. – Астана, 2007. – 20 с.
4. Водные ресурсы Казахстана (поверхностные и подземные воды, современное состояние). – Смоляр В.А., Буров Б.В. и др. Справочник. – Алматы : НИЦ «Ғылым», 2002. – 596 с.
5. Агентство Республики Казахстан по статистике; Модель мирового предложения и спроса в 2030 г., подготовленная McKinsey; Прогноз изменения численности населения, Программа развития ООН; Статистические данные Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН о водных ресурсах; обзор прессы.
6. Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии. – Алматы : Киік, 2004. – 132 с.
7. Галаева, А. В. Ресурсы речного стока и экологическое состояние бассейна озера Балкаш в условиях современного изменения климата. Специальность: 25.00.36 – «Геоэкология». Дис. на соис. уч. ст. к. г. н. – Бишкек, 2017. – 138 с.
8. Актуальные проблемы гидрометеорологии озера Балхаш и Прибалхашья / под ред. Скоцеляса И. И. – Спб : Гидрометеоиздат, 1995. – 269 с.

9. Голубцов, В. В. О необходимости проектирования и строительства водосливной плотины на озере Балхаш в проливе Узун – Арал / В. В. Голубцов, В. И. Ли // Гидрометеорология и экология. – № 4. – 2006. – С. 37–40.

10. Турсунова, А. Водные ресурсы Иле-Балкашского бассейна с учетом международных принципов совместного использования / А. Турсунова, А. Б. Мырзахметов // Матер. Междунар. Научной Конференции «Европейская наука XXI века». – Пшемысль, Польша, 2012. – С. 23–34.

11. Заурбек, А. К. Правило 5 % использования природных ресурсов // Использование природных ресурсов и экологическая обстановка. Оценка развития экономики страны. Уч. Пособие. – Астана : ЕНУ, 2019. – 155с.

12. Рио-де-Жанейрская декларация по окружающей среде и развитию // Конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро 3-14 июня 1992 года. – ООН, 1992. – 9 с.

13. Заурбек, А. К. Приложение А. Предисловие к Экологическому кодексу 2019 года // Использование природных ресурсов и экологическая обстановка. Оценка развития экономики страны. Уч. Пособие. – Астана : ЕНУ, 2019. – 155 с.

14. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И. А. Шикломанова. – СПб. : ГГИ, 2008. – 600 с.

УДК 82

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ ТЕКСТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА И СПЕЦИФИКА РАБОТЫ С НИМ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РКИ

М. П. Жигалова¹

¹ Д.пед.н., профессор кафедры белорусского и русского языков БрГТУ,
Брест, Беларусь e-mail : zhygalova@mail.ru

Реферат

В статье рассматриваются фрагменты художественных текстов экологического характера писателей Беларуси (А.Резановича, Э.Скобелева) и России (Ч.Айтматова, В.Астафьева, Б.Васильева и др.), а также специфика работы с ними при изучении русского языка как иностранного в техническом университете.

Ключевые слова: художественный текст, экология, писатель, изучение, РКИ.

ARTISTIC TEXT OF AN ECOLOGICAL NATURE AND THE SPECIFICS OF WORKING WITH IT IN THE STUDY OF RCT

M. P. Zhigalova

Abstract

The article examines fragments of artistic texts of an ecological nature by writers of Belarus (A.Rezanovich, E.Skobelev) and Russia (Ch.Aitmatov, V.Astafiev, B.Vasiliev, etc.), and the specifics of working with them when studying Russian as a foreign language at a technical university.

Keywords: literary text, ecology, writer, study, Russian as a foreign language

Введение

Объектом и предметом нашего исследования является процесс и специфика изучения художественных текстов экологического характера на практических занятиях по русскому языку с иностранными студентами в техническом вузе.

Актуальность заключается в том, что в современном мире всё чаще высказывается мнение, что природа сегодня подвергается необычному воздействию со стороны деятельности человека. И хотя она является неотъемлемой частью нашей Родины, ценность её измеряется не только богатством её ресурсов, но и бережным отношением человека к ней. Об этом говорят исследования русских учёных (И.П. Герасимов, А.М. Гиляров, В.Г. Горшков, К.С. Лосев, Н.Н. Моисеев, Я.П. Наумов, В.В. Розанов и др.) и зарубежных (Ю. Одум, Цж. М. Андерсен, Э. Пианка, Р. Риклефс, М. Бигон, А. Швейдер, Т. Миллер и др.), которые рассматривают эту проблему с метапредметных позиций, в том числе, и с позиций педагогических (Т. Я. Ашихмина и др.).

О значимости экологии в жизни человека читателю напоминает и художественная литература, в которой во все времена тема бережного отношения к природе занимала в творчестве писателей и поэтов одно из главных мест.

Поэтому для практических занятий преподавателю важно выбрать те произведения экологического характера, которые будут наиболее понятны и близки иностранным студентам. Конечно, значимы будут и те тексты, из сюжета которых читатель узнает не только научные факты, но и будет сопереживать персонажам, поступки которых рождают мысли, чувства и эмоции, а значит, способствуют выработке морально-этического отношения к природе в целом.

Материалы и методы исследования

Рекомендуемые ниже произведения рассматривают природу и человека как единое целое, утверждая значимость осмысления человеком её силы и вечности. А потому в зависимости от тематики грамматических упражнений, которые всегда выполняются иностранными студентами на практических занятиях по РКИ, предлагаются и фрагменты художественных текстов экологического характера, которые существенно дополняют коммуникативную составляющую занятия.

Так в произведении Ч. Т. Айтматова «Плаха» (Айтматов, Ч.Т. Плаха : роман // Роман-газета, 1987, № 11-12) с особым восхищением автор описывает те моменты, когда на какое-то время в природе возникает “изначальное равновесие”. Но нарушается оно людьми. Человек становится более жестоким от поколения к поколению.

Преподаватель отметит, что экологическую составляющую романа, современное отношение человека к природе автор раскрывает читателю через описание жизни волков и противостояния между волком и человеком.

А Волк у Айтматова – не зверь, он намного человечнее, чем сам человек. Писатель тем самым предостерегает читателя от мысли, что бессмысленное истребление животных – угроза земному процветанию: «Страх достиг таких апокалиптических размеров, что волчице Акбаре, оглохшей от выстрелов, казалось, что весь мир оглох и онемел, что везде воцарился хаос и само солнце ...

тоже мечется и ищет спасения и что даже вертолеты вдруг онемели и уже без грохота и свиста беззвучно кружатся над уходящей в бездну степью, подобно гигантским безмолвным коршунам...» [10, с. 10].

Рассматривая этот отрывок, студенты приходят к выводу, что роман пропитан чувством ответственности за происходящее в мире, в окружающей нас природе. Он несет гуманные принципы и благородные жизненные установки, призывая ценить и беречь природу, потому что не она создана для нас, а мы – для неё, так как все мы – ее часть.

Далее преподаватель может предложить студентам поработать с отрывком из книги Анатолия Резановича «Волчья жизнь» (Брест, 1993), которая содержит рассказы («Старик и голубь», «Лосиная охота», «Непогодь», «Волчья жизнь»), новеллы («Обыкновенная история», «Боль души»), миниатюры «Мгновения».

Каждому студенту предлагается выбрать наиболее интересный для него миниатюрный текст и прочитать его вслух, после чего акцент будет перенесён на конкретный отрывок из рассказа А. Резановича «Волчья жизнь»:

«... В ту ночь матёрый волк, приблизившись к волчице, испытующе и требовательно глянул на неё своими ледяными глазами. Она с опаской отступила. Старый волк повернулся и неторопливо пошёл в чащобу. Волки недоумённо притихли. Через несколько минут лес вздрогнул от могучего и тоскливого воя матёрого. Такого, какой бывает только от глубокого и безысходного горя, от неуёмной глухой тоски. Этот вой, стонущий и глухо переливающийся, был не голосом, а, казалось, душой одинокого старого зверя. Стало жутко. Напряженные усилил проснувшийся от неизвестно чего взревели медведь.

Стая, точно замороженная, потянулась на голос вожака, опасливо окружила его. В это время вдали послышался вой незнакомого волка. Вой звучал ровно и сильно. Он приближался. Потом неожиданно, так же, как и послышался, смолк. На некоторое время в лесу всё затихло... Стая уже собиралась уходить на промысел, когда перед ней вырос крепкий, с широкой грудью и круглым, точно высеченным из камня лбом, незнакомый волк. Глаза его смотрели прямо и вызывающе, шерсть на мощном загривке вздыбилась. Всё его дружинистое тело было готово к схватке. Матёрый, уловив силу и дерзость пришлого, медленно и осторожно пошёл ему навстречу. Знакомство двух сильных противников было коротким: они тут же сцепились мощными челюстями, завертели клубком, хватая и кусая один другого... Стая терпеливо и возбуждённо наблюдала за отчаянным поединком, ждала развязки. Матёрый оказался слабее и вскоре начал поддаваться. Пришлый ещё более осмелел. Изловчившись, он резко рванул матёрого за загривок. Недавний вожак неуклюже отскочил в сторону и, с трудом поддерживая окровавленную голову, отошёл в чужую темень леса» [6, с.29-30].

После прочтения, словарной работы, студенты попробуют ответить на вопросы:

1. Как живут волки?
2. Что составляет основу их волчьей дружбы в стае?
3. Как заботится волк о своей волчьей семье?

Следует заметить, что на каждом последующем занятии учитель может использовать новый художественный текст экологического характера и тем

самым мотивировать обучающихся к постижению данной темы и формированию экологической культуры.

Так, на практических занятиях на примере работы с рассказом **Эдуарда Скобелева «Невинную душу отнять»**, мы предлагаем иностранным студентам сначала выполнить *притекстовые задания*, а позже обратиться к *послетекстовым*, которые и помогут выявить не только знание прочитанного, но и поработать над эмоциональной стороной восприятия содержания, формирующего экологическую культуру обучающихся.

Притекстовые задания

Задание 1. Прочитайте рассказ Эдуарда Скобелева «Невинную душу отнять». Разделите его на смысловые части. Озаглавьте их. Составьте план. *Задание 2.* В каждом из смысловых частей прочитайте ещё раз фрагмент и скажите, о чём он?

Послетекстовые задания

Задание 1. Ответьте на вопросы: *Чью жизнь описывает автор? Что случилось с Лосихой? Как на это отреагировал Лось? О чём этот рассказ?*

Задание 2. Как вы понимаете слова автора: *«Отчего вы, люди, не цените, не умеете ценить то благо, которое даровано вам по рождению?»*.

Задание 3. Найдите в тексте и прочитайте, какие чувства испытывают животные Лось, Лосиха и люди–охотники. Как эти чувства их характеризуют?

Задание 4. Напишите, какие чувства у вас вызвал этот рассказ. О чём заставил задуматься?

Преподаватель одновременно будет знакомить иностранных студентов с художественными текстами русских писателей XX–XXI века, которые описывают природу и показывают её связь с человеком. Чтобы охватить как можно больший круг таких текстов, преподаватель в качестве *домашних заданий* может предложить и интернет-источники, такие, как: http://www.cbsorsk.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=9148:9148&catid=269&Itemid=2359&ysclid=la24qv5ndp728200671, где студенты смогут познакомиться с интернет-материалами.

Вот какие материалы из этого сайта нашли студенты и читали на практических занятиях:

– **В.П. Астафьев** в книге **“Царь-рыба”** (*Астафьев, В.П. Царь-рыба : повествование в рассказах / В. П. Астафьев. – Москва : Эксмо, 2008. – 509 с.*) с помощью простых образов повествует не только о разрушении природы, но и о том, что человек, “духовно браконьерствуя” по отношению ко всему, что его окружает, начинает разрушаться и сам как личность. Жестокость к животным – одно из средств уничтожения моральной чувствительности человека. Автор показывает нам и малых браконьеров, нарушающих запреты на охоту и рыбную ловлю, и больших, готовых ради плана разорить всю тайгу.

Схватка с “природой” заставляет главного героя новеллы, Игнатъича, задуматься о своей жизни, о совершенных им грехах: *«Нам только кажется, что мы преобразовали...тайгу...Нет, мы лишь ранили ее, повредили, истоптали, исцарапали, ожгли огнем...»*.

– **Б. Л. Васильев** в повести **«Не стреляйте в белых лебедей»** (*Москва: Детская литература, 1981. – 239 с.*) показывает разное отношение людей к природе. А потому разделяет героев на два лагеря: на тех, кто понимает и лю-

бит природу, и тех, кто относится к ней потребительски, совершая страшные проступки: сжигает муравейник, истребляет лебедей.

Главный герой Егор Полушкин, тесно связан с природой, при виде того, как уничтожаются ее богатства, он страдает всей душой. Защита природы стала для него призванием и смыслом жизни. *«Все мы в одном доме живем, да не все хозяева. А почему? А природа она покуда терпит. Она молчком умирает, долголетно. И никакой человек, не царь ей... вредно это – царем-то зваться. Сын он её, старший сыночек. Так разумным же будь, не вгоняй в гроб маменьку»*, – призывает читателя Б.Васильев.

– В своем романе **«Отец-лес» Анатолий Ким** (Анатолий Ким. *Отец-лес: роман-притча* / А. Ким. – М.: Советский писатель, 1989. – 399 с.) рассматривает вечные, неотторжимые и очень сложные взаимоотношения Человека и Природы. Николай, Степан и Глеб Тураевы – три поколения одной семьи – связаны с тихой, мощной, затаенной жизнью большого мещерского леса, помогающего им перейти от суеты, вражды и мелочности в красоту радостного слияния с миром[2].

– Главная тема романа **Леонова Л.М. «Русский лес»** (Москва: Художественная литература, 1974. – 678 с.) – тема родины и ее природы, а основная сюжетная линия – спор ученых-лесоводов Вихрова и Грацианского о судьбе русского леса, сохранности природных богатств для будущих поколений. Она сопровождает читателя на протяжении всего романа – и в спорах ученых, и в пейзажных описаниях, и в рассуждениях автора, и в диалогах героев. Образ леса становится в произведении смысловым центром, к нему сходятся все сюжетные линии романа, его важнейшие идеи: *«Пожалуй, никакие лесные пожары не нанесли столько ущерба нашим лесам, как этот обольстительный гипноз былой лесистости России. Истинное количество русских лесов всегда измерялось с приблизительной точностью»* [1].

– **К.Г. Паустовский** в книге **«Повесть о лесах»** (Москва: Детская литература, 1982. – 175 с.) повествует не только о любви к природе, но и о том, как её, природу, надо сохранить. Главные герои книги – лесники. В повести актуальна мысль о необходимости защиты природы от разрушительной силы войны, уничтожившей огромные площади лесов.

– **Валентин Распутин** в повести **«Прощание с Матёрой»** (Распутин В. Г. *Нежданно-негаданно : повесть и рассказы* / В. Г. Распутин ; худ. Л. Бирюков ; [вступ. ст. В. Курбатова]. – Москва: Детская литература, 2009. – 350 с.) напоминает читателю о том, что истоки нравственности русского человека всегда находились в привязанности к земле. Здесь образ Родины неизменно связан с образом родной земли.

В повести рассказывается о маленькой деревеньке Матёра, расположенной на одноименном острове на реке Ангара. Вследствие строительства Братской ГЭС деревне грозит полное разрушение и уничтожение. Жители Матёры не могут смириться с этим. Для них затопление деревни – их личный Апокалипсис. Кажется, вместе с людьми плачет, сопротивляется и вся природа: как ни крушат её – все еще стоит. Но ведь и ее силы не беспредельны. А если не выдержит? Останется ли жив сам человек?

Студенты приходят к выводу, что автор всем повествованием, кажется, призывает читателя задуматься над вопросом: *“... Кто мы на этой земле — хозяева или временные пришельцы: пришли, побыли, ни прошлого нам не нужно, ни будущего у нас нет?”* [5].

– В пьесе **А.П. Чехова «Дядя Ваня»** (Чехов А. П. Собрание сочинений в 8 т. Т. 7 / А. А. Чехов. – Москва: Правда, 1970. – 447 с.) автор утверждает мысль о том, что каждый Человек должен посадить и вырастить хотя бы одно деревце, иначе порвется связь времен и наступит опустошение.

Драматург говорит читателю не о жизни человека в дикой природе, а о каждодневном общении человека с окружающей средой, о пагубном воздействии цивилизации на природу в масштабах одного города, дома, квартиры.

Словами доктора Астрова выражается отношение и самого А.П.Чехова к природе: *«Ты можешь топить печи торфом, а сараи строить из камня. Ну, я допускаю, руби леса из нужды, но зачем истреблять их? Русские леса трещат под топором, гибнут миллиарды деревьев, опустошаются жилища зверей и птиц, мелеют и сохнут реки, исчезают безвозвратно чудные пейзажи, и все оттого, что у ленивого человека не хватает смысла нагнуться и поднять с земли топливо»*[4].

– В 1993 году **Сергей Залыгин**, писатель, редактор журнала «Новый мир», написал одно из последних своих произведений – **«Экологический роман»**. Чернобыль в нем – символ вины человека перед природой.

Роман С.Залыгина **«Экологический роман»** (ж. *Новый мир*, 1993, №12) лишает читателя надежды на то, что человек изменится в своём потребительском и бесчувственном отношении к природе.

Роман проникнут если и не безверием в человека, то сильным скептицизмом по отношению к нему. К его здравому смыслу, к его способности обуздать свои аппетиты потребителя, осознать себя частью природы, которую он губит.

Человек то борется с природой, будто с врагом, то смотрит на природу, как на свою собственность, бездумно уничтожая основу своего физического и духовного существования.

Роман проникнут сильным недоверием по отношению к человеку, к его бездумной погоне за фетишами технического прогресса. Осознать себя частью природы, не разрушать её и себя – вот к чему призывает «Экологический роман» [4].

Несколько занятий посвящается работе с художественными текстами литературы конца XX – начала XXI века.

Преподаватель отметит, что в XXI веке, когда целый ряд стран имеет ядерное оружие, проблема экологии приобрела уже совсем иные очертания, чем это мыслилось полвека или век назад.

– В 2000 году **Татьяна Толстая** пишет роман-антиутопию **«Кысь»**, где все темы, разрабатываемые в русской «природной» литературе ранее, как бы приведены к общему знаменателю. Действие романа происходит в небольшом городке под названием Федор-Кузьмичск, жители которого оказались в весьма необычных обстоятельствах. Они словно отброшены на несколько веков назад: в домах отсутствует электричество, лес наполнен мифическими существами, общество деградирует. Дело в том, что события разворачиваются спустя

несколько столетий после ядерной катастрофы, которую все называют Взрыв. Это событие полностью изменило жизнь, превратив ее в убогое существование. Взрыв принес множество последствий, которые каждый испытывает на себе.

В романе-антиутопии **“Кысь”** Т. Толстая показывает трагедию экологического плана, описывая жизнь после ядерного взрыва и потерю человеком нравственных ориентиров. С тех пор количество произведений, призывающих задуматься о грядущем, увеличивается в геометрической прогрессии. Остановимся лишь на нескольких из них [4].

– С темой изменения климата связан рассказ известного фантаста **Сергея Луженко** – **«Поезд в теплый край»**. На Земле наступает вечная Зима, и эвакуироваться в Теплый край получится далеко не у всех.

Повествование ведётся от лица мужчины, чьи дети опоздали на спасительный поезд. И на одной из станций он подбирает двух осиротевших мальчишек. Но окажется ли это для них спасением перед лицом грядущей катастрофы... [9].

– Целый ряд произведений экологической направленности связаны с темой развития и использования биотехнологий.

В антиутопиях **Паоло Бачигалупи** **«Заводная»** (премии "Хьюго" и "Небьюла" (2010) и **Майкла Крайтона** **«Next»** [11] писатели реконструируют возможное будущее нашей планеты.

Пока идут споры об этической и моральной стороне проблемы, достижения генной инженерии исподволь внедряются в нашу жизнь. И вот уже трансгенным продуктом, наряду с соей и картофелем, становится человек! Кажется, вот-вот отступят наследственные болезни, с которыми прежде не удавалось справиться. "До чуда рукой подать!" – уверены бесстрашные экспериментаторы. Но в результате мы видим наполовину опрокинутый в пучину анархии мир, сочетающий одновременно и нехватку продуктов питания, и технологии реконструирования генома.

Это то, что нас может ждать, если мы будем так же бездумно и расточительно относиться к природным ресурсам. К такому выводу приходят студенты после прочтения.

Преподаватель заметит, что тема осмысления окружающего мира волнует и современных молодых авторов. Эти писатели говорят с сегодняшней молодежью на одном языке, их произведения наполнены современными реалиями, которые близки подрастающему поколению. А, значит, возрастают их шансы быть прочитанными и прочувствованными [7].

– Двухтомник **"Тоби Лолнесс"** стал мировым бестселлером. Завоевав около 20 престижных международных наград, этот остросюжетный роман в жанре экологического фэнтези принёс мировую славу молодому французскому писателю **Тимоте де Фомбелю** [9]. Как совершить невозможное и сделать так, чтобы твой мир не перестал существовать, – вот главная мысль этой экологической дилогии. Не спасение себя и близких важнее для Тоби, а спасение всего мира (Дерева), угрозу которому несет каждый его обитатель.

Студенты отмечают, что совсем недавно появились книги молодого автора – **Евгения Рудашевского**. Путешественник, журналист, он стал лауреатом Всероссийского конкурса на лучшее произведение для детей и юношества «Книгур» – 2013 за повесть **«Здравствуй, брат мой Бзоу!»**, в которой описана история дружбы мальчика и дельфина.

Далее последовал выход его книги **«Куда уходит камуткан»**, где привлекается внимание к проблеме истребления неопытных детёнышей байкальской нерпы [11].

– И вот в 2017 году в издательстве «КомпасГид» вышла новая книга – **«Ворон»** [11]. 14-летний Дима отправляется на многодневную охоту с тремя взрослыми мужчинами, где надеется обучиться всем премудростям соболевки.

О таком можно рассказывать одноклассникам не день и не два. Дима рассчитывает с первым убитым зверем пройти своего рода инициацию – доказать, что он больше не ребёнок. С этой задачей Дима справится, но совсем не так, как предполагал поначалу. Ведь охота, как оказалось, вовсе не похожа на компьютерную игру-стрелялку.

Эта книга не только показывает жизнь леса и его обитателей, но и процесс становления личности героя, его взросления, осознания и нахождения истинных ценностей.

Результаты. В ходе исследования мы пришли к выводу, что, знакомя иностранных студентов на практических занятиях по русскому языку с текстами экологического содержания, преподавателю важно учитывать не только характер заданий и последовательность их выполнения, но и содержание текстов, мотивацию студентов к изучению таких тем.

Такое представление многолетней разнонаправленной работы с художественными текстами экологического характера на практических занятиях в университетах свидетельствует о том, что все эти и другие материалы могут успешно использоваться на занятиях по «Русскому языку как иностранному» с целью обогащения лексического запаса иностранных студентов, осмысления ими прочитанного и формирования экологической культуры обучаемых, которая позволит повысить и в социуме интерес к законам природы и строгому следованию всеми этим правилам.

Список цитированных источников

1. Взгляды Леонова в романе “Русский лес”. Режим доступа – <http://dodiplom.ru/ready/97369>
2. Ким, Анатолий. Отец-лес. Режим доступа – <https://www.livelib.ru/book/1000957660-otetsles-anatolij-kim>
3. Леонов — тема взаимоотношений человека и природы в романе “Русский лес”. Режим доступа – <http://tvoi-sochinenia.ru/leonov-tema-vzaymootnoshenij-cheloveka-y-prirody-v-romane-russkij-les/>
4. Молодцова, Мария. Русские писатели об экологии: Произведения русской литературы, в которых поднимались вопросы экологии. Режим доступа – <http://cyrillitsa.ru/art/6756-russkie-pisateli-ob-ekologii.html>
5. Проблема экологии в современной литературе (по повести В.Г. Распутина “Прощание с Матёрой”). Режим доступа – http://www.megashpora.ru/sochinenie/rasputin_valentin_grigorevich/proshchanie_s_matyoroy/problema_ekologii_v_sovremennoy_literature_po_povesti_v_g_rasputina_proshchanie_s_matyoroy/
6. Резанович Анатолий. Волчья жизнь: рассказы, новеллы, миниатюры. – Брест, 1993. – 64с.
7. Свинченко, Мария. Экологическая проблема в литературе. Режим доступа – <http://greenconsumption.org/ehkologicheskaja-problema-v-literature>
8. Семкина, О.В. Останься живой, планета! Экологическая тема в художественной литературе для детей среднего и старшего школьного возраста : аннотированный библиографический указатель для учащихся 5-9 классов СОШ / О.В. Семкина (Библиограф ЦДБ г. Рыбинска). Режим доступа – http://cdbrybinsk.blogspot.ru/2016/02/blog-post_16.html

9. Художественная литература в защиту экологии. Режим доступа – <http://lib.usfeu.ru/-index.php/dialog-s-prirodoj/273-khudozhestvennaya-literatura-v-zashchitu-ekologii>
10. Чингиз Айтматов Плаха //Роман-газета, № 11-12, 1987.
11. Майкл Крайтон «Next». Режим доступа – http://www.cbsorsk.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=9148:9148&catid=26&Itemid=2359&ysclid=la24qv5ndp72800671

УДК 556.047

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ВОДОСБОРА РЕКИ ТОРГАЙ

Г. К. Каримова¹, А. Т. Козыкеева², О. П. Мешик³, А. Е. Дуанбекова⁴

¹ Докторант PhD, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан, e-mail : gulnur_karimova@bk.ru

² Д.т.н., профессор, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан, e-mail : aliya.kt@yandex.ru

³ К. т. н., доцент, декан факультета инженерных систем и экологии
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
e-mail : omeshyk@gmail.com

⁴ Докторант PhD, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы, Казахстан, e-mail : aiga78@inbox.ru

Реферат

На основе анализа многолетних информационно-аналитических материалов РГП «Казгидромет» и РГУ «Тобыл-Торгайская бассейновая инспекция по регулированию использования и охране водных ресурсов» Комитета по водным ресурсам Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан, характеризующих гидрологический режим водосбора бассейна реки Торгай в период 1928-2017 гг., изучены особенности формирования и изменчивости среднегодового стока в пространственно-временном масштабе.

Ключевые слова: гидрологический режим, годовой сток, антропогенная деятельность, интегральная кривая.

ASSESSMENT OF THE CURRENT VARIABILITY OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE TORGAI RIVER CATCHMENT

G. K. Karimova, A. T. Kozikeeva, A. P. Meshyk, A. E. Duanbekova

Abstract

Based on long-term information and analytical materials of RSE «Kazhydromet» and RGU «Tobyl-Torgai Basin Inspectorate for Regulation of Use and Protection of Water Resources» of the Committee for Water Resources of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan, characterizing the hydrological regime of the catchment area of the Torgai River basin and covering the period 1928-217 years, the features of the formation and variability of the average annual runoff on spatio-

temporal scales were studied, and the genetic periods of the functioning of the river system before and after anthropogenic transformation were determined.

Keywords: hydrological regime, annual runoff, anthropogenic activity, integral curve

Введение

Основными факторами, обуславливающими формирования речного стока недостаточно увлажненной степной зоны Северного Казахстана, на невысоких горных системах Казахского мелкосопочника, являются, в основном, твердые и жидкие атмосферные осадки, и среднегодовые температуры воздуха, связанные с физико-географическими процессами природной системы.

Выявления влияния этих факторов на многолетние колебания среднегодового расхода воды реки является одной из первостепенных задач водной безопасности регионов Северного Казахстана, которые требуют необходимости научно-обоснованной оценки происходящих и будущих изменений гидрологического режима, а также водных ресурсов в современных социально-экономических и климатических условиях.

Для устойчивого природопользования в степной зоне Северного Казахстана ключевое значение имеют количественные показатели водных ресурсов, которые существенно влияют на природно-географическую специфику природных геосистем. Значительная доля водных ресурсов степной зоны Северного Казахстана формируется за счет поверхностных вод, представленных в первую очередь речными системами различного уровня. Водосбор бассейна реки Торгай является важнейшим компонентом степного ландшафта Северного Казахстана, выполняет важную природообразующую и экологическую роль.

В настоящее время, водосбор бассейна реки Торгай степной зоны подвергается коренной трансформации в результате интенсивной хозяйственной деятельности. В связи с этим, исследование природно-гидрологической специфики водосбора бассейна реки Торгай с учетом современной структуры природопользования относится к числу актуального научного направления гидрологических исследований. Однако необходимо обратить внимание на определенную сложность в изучении и анализе ряда показателей исследуемых природных объектов водосбора бассейна реки Торгай, в первую очередь – гидрологических характеристик.

Цель исследований – восстановление рядов наблюдений за стоком рек на основе принципов аналогии. Объект исследований – река Торгай, которая образуется при слиянии рек Жалдама и Кара-Тургай, берущих начало на западной окраине Казахского мелкосопочника и течет по Тургайской ложбине, разбиваясь в широкой пойме на рукава с образованием множества озер и впадает в бессточное озеро Шалкар-Тенгиз.

Длина реки Торгай – 825 км, площадь бассейна – 157,0 тысяч км², высота истока – 132,0 м, устья 54,0 м над уровнем моря. Питание в основном снеговое, где годовой сток формируется преимущественно в период весеннего половодья (рисунок 1) [1, 2].

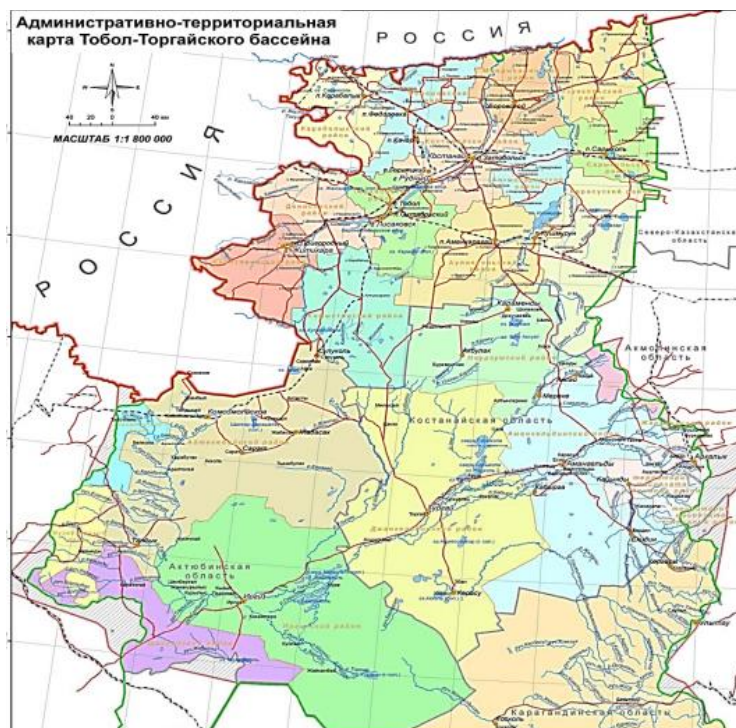


Рисунок 1 – Административная-территориальная карта Тобол-Торгайского бассейна

Материалы и методы

В качестве физико-географической характеристики гидрологического режима реки Торгай для целей исследования пространственно-временной структуры многолетних колебаний стока использованы средние годовые расходы реки, а в качестве основных климатических факторов – годовые атмосферные осадки и среднегодовые температуры воздуха.

Исходными данными для анализа и оценки гидрологического режима реки Торгай послужили среднегодовые расходы воды на гидрологических постах Торгай и Кара-Торгай, размещенные в гидрологических ежегодниках с 1934-1957 гг., а также фондовые материалы РГУ «Тобыл - Торгайская бассейновая инспекция по регулированию использования и охране водных ресурсов» по формированию гидрологического режима на территориях водосбора бассейна реки Торгай 1991-2017 гг. [1, 2, 3].

Результаты и обсуждение

В бассейне реки Торгай в створе гидрологического поста Пески-Тусум продолжительность периодов наблюдений составляет 17 лет, с 1940 по 1957 гг. в естественных условиях, в том числе в бассейне реки Тобол в створе гидрологического поста Гришенка проведены постоянные наблюдения в период с 1932 по 2017 гг., которые приняты в качестве аналога для восстановления среднегодового стока исследуемой реки Торгай и определена связь между характеристиками стока этих рек (рисунки 2–4).

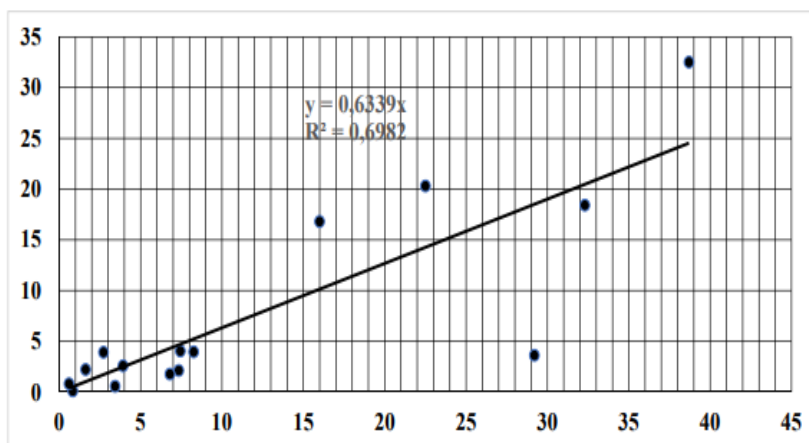


Рисунок 2 – Взаимосвязь средних годовых расходов воды (м³/с) реки Торгай в створе гидрологического поста Пески-Тусум (ордината) и реки Тобол в створе гидрологического поста Гришенка (абсцисса)

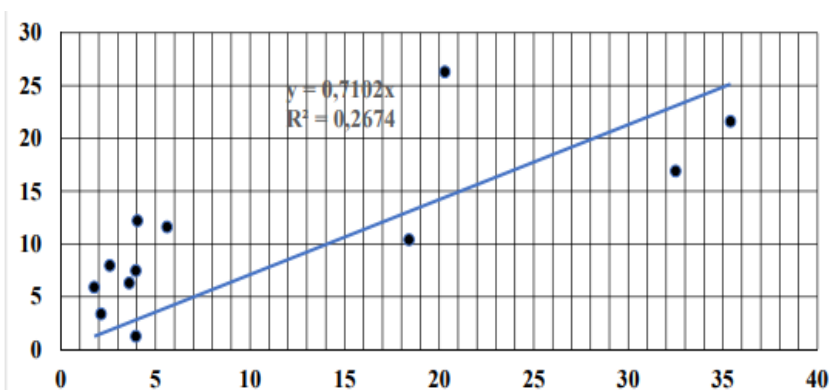


Рисунок 3 – Взаимосвязь средних годовых расходов воды (м³/с) реки Кара-Торгай в створе гидрологического поста Ак-Откель (ордината) и реки Торгай в створе гидрологического поста Пески-Тусум (абсцисса) в естественных условиях

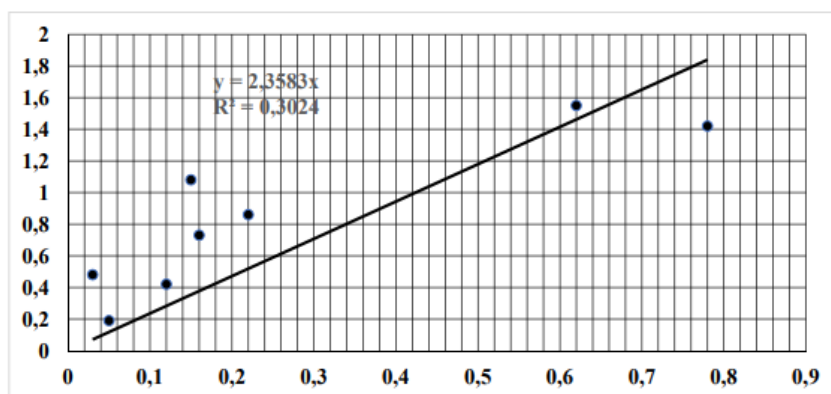


Рисунок 4 – Кривые связи средних годовых расходов воды (м³/с) реки Кара-Торгай в створе гидрологического поста Ак-Откель (ордината) и реки Торгай (гидрологический пост Пески-Тусум) (абсцисса) в техногенных условиях

Природные процессы, в том числе и гидрологические, являются многофакторными и многоциклическими, поэтому в изучении многолетних колебаний стока водосбора бассейна реки Торгай наибольший интерес представляют закономерные циклические изменения в пространственно-временном масштабе.

Особенно важным представляется исследование распределения в пространственно-временном масштабе фазы циклических колебаний, то есть группировок лет повышенной или пониженной водности. Для водосбора реки Торгай по формированию стока в пространственно-временном масштабе можно выделить три периода, первый – естественный период, который охватывает 1928-1960 гг., второй период связан с освоением целинных и залежных земель для сельскохозяйственной деятельности, которая в регионах Северного Казахстана началась с 1960 года.

Водосборная территория бассейна реки Торгай, являющаяся частью внутренних речных систем Республики Казахстан, на протяжении последних пятидесяти лет подвержена интенсивному техногенному воздействию в связи со строительством Акжарского водохранилища (16,4 млн. м³) на реке Акжар и Ащи-Тастинского водохранилища 205 (5,0 млн. м³) на реке Ащи-Тасты (многолетнего регулирования) и Тастинского (7,84 млн. м³) на реке Тасты (сезонного регулирования).

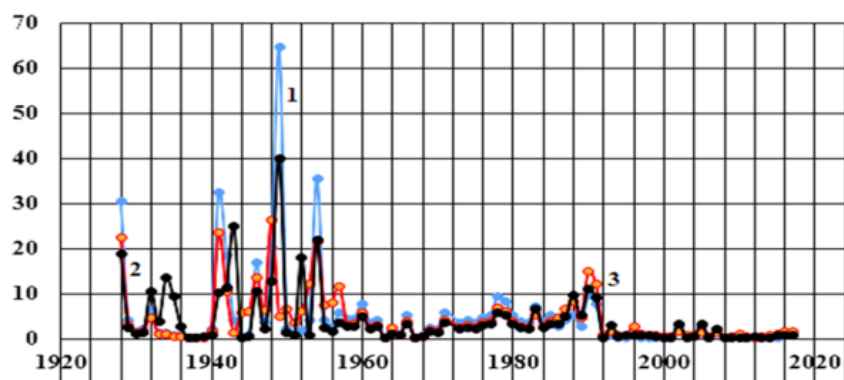


Рисунок 5 – Многолетние колебания среднегодового расхода (м³/с) реки Торгай (гидрологический пост Пески-Тусум) (1), Кара-Торгай (село Ак-Откель) (2) и Иргиз (село Иргыз) (3) (ордината – среднегодовые расходы, абсцисса - годы)

С 1992 года начинается третий период после получения суверенитета Республики Казахстан, когда гидрологический сток в бассейне реки Торгай стал полностью зарегулированным под влиянием антропогенной деятельности. Таким образом, на формирование гидрологического стока бассейна реки Торгай, его изменчивость в пространственно-временных масштабах, оказывает влияние целый комплекс природно-географических и антропогенных факторов, которые проявляются не одинаково.

В связи с этим, в перспективе возникает необходимость детального изучения влияния изменения климата региона и антропогенной деятельности на формирование гидрологического стока водосбора бассейна реки Торгай.

Водохранилища построены для обеспечения водной безопасности населения и хозяйственной деятельности региона [3]. Для выявления статистически однородных периодов в пределах среднегодовых расходов рек Кара-Торгай в створе Ак-Откель и Торгай в створе Пески-Тусум и количества атмосферных осадков по метеорологическим станциям Аркалык и Торгай, проводился анализ статистической однородности временных рядов исследуемых параметров. Анализ выполнен графическим способом – путем построения интегральной кривой среднегодового расхода воды рек и атмосферных осадков [4]

$$\sum Qi = f(Qi), \quad (1)$$

где $\sum Qi$ – нарастающая сумма среднегодового расхода воды от начала наблюдений, м³/с;

Qi – среднегодовой расход воды реки в период наблюдений, м³/с.

$$\sum Oci = f(Oci), \quad (2)$$

где $\sum Oci$ – нарастающая сумма атмосферных осадков от начала наблюдений, мм;

Oci – годовые атмосферные осадки в период наблюдений, мм, на основе статистической однородности многолетних рядов.

На рисунках 6 и 7 приведены соответствующие зависимости.

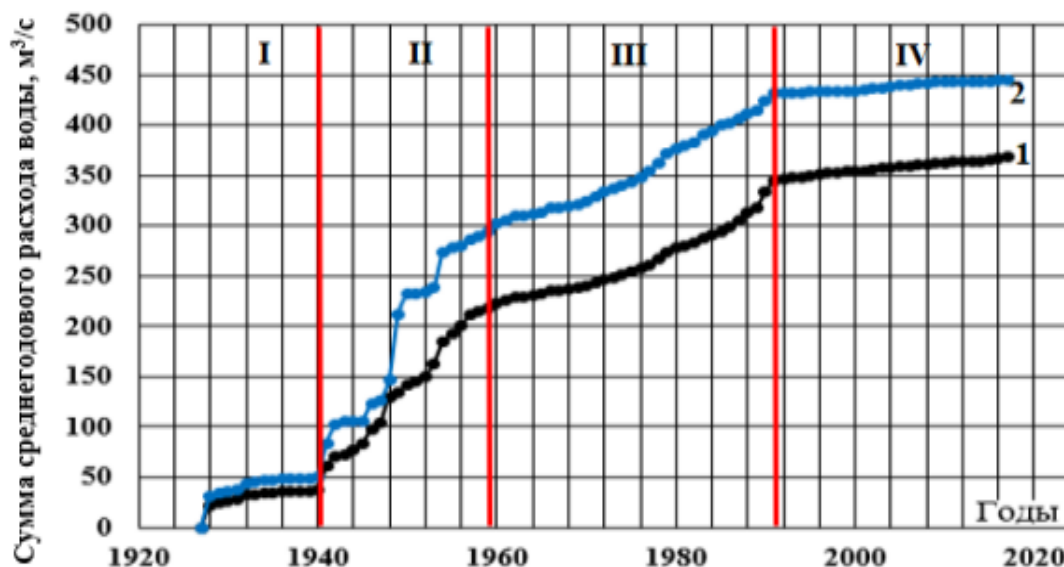


Рисунок 6 – Изменение набегающей суммы среднегодовых расходов воды реки Кара-Торгай в створе Ак-Откель (1) и Торгай в створе Пески-Тусум (2) (I, II, III, IV – статистически однородный период)

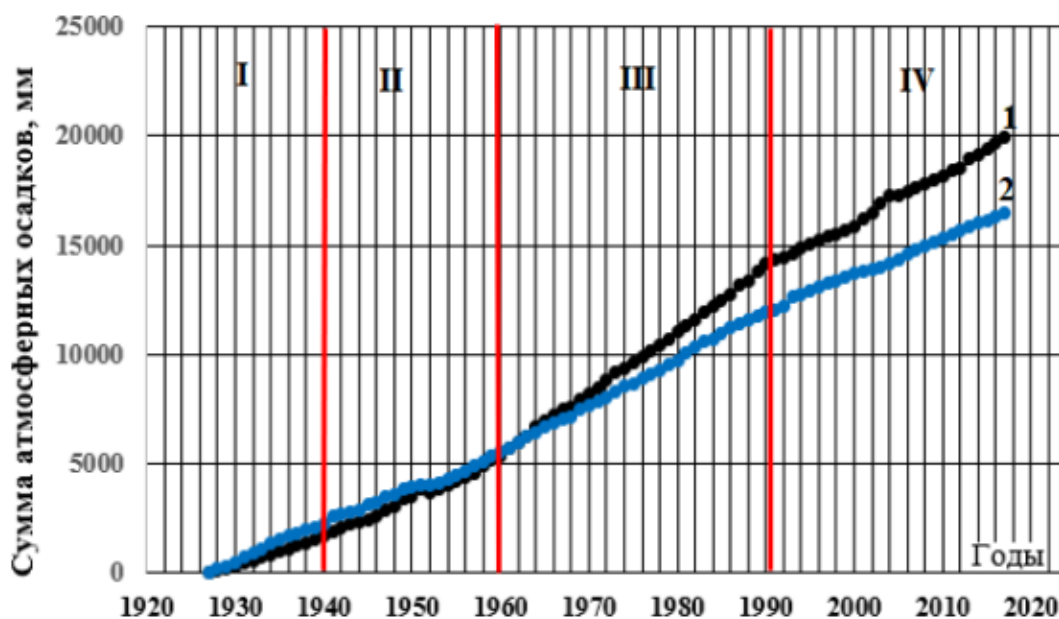


Рисунок 7 – Изменение набегающей суммы атмосферных осадков на метеорологических станциях Аркалык (1) и Торгай (2), расположенных в бассейне реки Торгай (I, II, III, IV – статистически однородный период)

На основе графического анализа рисунков 6 и 7 выделены прямолинейные участки интегральных кривых, определяемые как статистически однородные.

Путем сравнения между собой среднегодовых расходов воды в первом и в последнем из расположенных в хронологической последовательности статистически однородных временных периодов определялось изменение среднегодовых расходов воды реки Кара-Торгай в створе Ак-Откель и Торгай в створе 206 Пески-Тусум, а также атмосферных осадков по метеорологическим станциям Аркалык и Торгай (таблица 1)

Таблица 1 – Результаты оценки статистической однородности временных рядов гидрологических и метеорологических параметров бассейна реки Торгай

Статистический однородный период	Среднее значение среднегодового расхода воды, м ³ /с		Среднее значение годовых атмосферных осадков, мм	
	Река Кара-Торгай	Река Торгай	Аркалык	Торгай
1928-1940 1992-2017	2,84	3,90	133,5	176,5
1941-1959	9,02	12,19	172,6	153,8
1960-1991	3,99	4,28	286,0	207,9
1992-2017	0,92	0,53	223,4	177,5

Как видно из таблицы 1, увеличение среднегодовых расходов воды за период 1928-1940 гг. в реках Кара-Торгай и Торгай составило соответственно от 2,84 до 9,02 м³/с, рост расходов в период 1941-1959 гг. – соответственно от 3,90 до 12,19 м³/с, что связано с климатическими факторами, то есть увеличением атмосферных осадков.

Снижение среднегодового расхода воды в реках Кара-Торгай и Торгай в период 1960-2017 гг. соответственно с 9,02 до 0,92 м³/с и с 12,19 до 0,53 м³/с связано с антропогенными факторами, в частности, с устройством Акжарского, Ащи-Тастинского и Тастинского водохранилищ.

Заключение

По результатам проведенных гидрологических исследований бассейна реки Торгай, направленных для выявления природно-географических особенностей формирования среднегодового расхода воды, можно констатировать, что тенденции изменения гидрологического режима исследуемой территории зависят не только от климатических изменений, но и в значительной степени определяются антропогенной деятельностью на речных водосборах, то есть зарегулирование стока реки с помощью строительства водохранилища и интенсивного использования их водных ресурсов в отраслях экономики региона.

Список цитированных источников

1. Ресурсы поверхностных вод районов целинных и залежных земель : Кустанайская область, выпуск II. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1958. – 711 с.
2. Каримова, Г. К. Многолетнее изменение гидрологического стока водосбора бассейна реки Торгай / Г. К. Каримова, А. Т. Козыкеева, Ж. С. Мустафаев // Сборник международной научно-практической конференции молодых ученых в рамках XI «Международной зимней школы 2021». – Алматы, 2021. – С. 12–17.

3. Гальперина, Р. И. Водные ресурсы Казахстана : оценка, прогноз, управление : в 21 томе. Ресурсы речного стока Казахстана. Кн. 1 : Возобновляемые ресурсы поверхностных вод Западного, Северного, Центрального и Восточного Казахстан. – Алматы, 2012. – Т. VII. – 684 с.
4. Определение основных расчетных характеристик. – СП-33-101-2003. – М., 2004. – 85 с.

УДК 551.581.1

ОБОБЩЕНИЕ ЗАРУБЕЖНОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОПЫТА РАЗРАБОТКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ

О. П. Мешик¹, М. В. Борушко²

¹ К. т. н., доцент, декан факультета инженерных систем и экологии
УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
e-mail : omeshyk@gmail.com

² Магистр технических наук, аспирант кафедры природообустройства старший
преподаватель кафедры иностранных языков УО «Брестский государственный
технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : borushko.marina@mail.ru

Реферат

Выполнено обобщение зарубежного и отечественного опыта разработки климатических проекций. Рассмотрены основные этапы разработки сценариев глобального изменения климата, предложенные Межправительственной группой экспертов по изменению климата и применяемые для разработки климатических проекций. Исследован опыт разработки климатических проекций белорусскими учеными. Выявлены корреляции между результатами исследований белорусских и зарубежных экспертов.

Ключевые слова: климатические проекции, сценарии изменения климата, климатические модели.

INTERNATIONAL BEST PRACTICE AND BELARUSIAN EXPERIENCE IN MAKING CLIMATE PROJECTIONS

A. P. Meshyk, M. V. Barushka

Abstract

International best practice and some Belarusian experience in projecting climate change are investigated in this paper. The authors study main stages in the history of creating scenarios of global climate change which are proposed by IPCC experts. Some cases of climate projections made by Belarusian researchers are also presented here. The authors reveal certain correlations between the results obtained by Belarusian and international experts.

Key words: climate projections, climate change scenarios, climate models.

Введение

Научное сообщество уделяет большое внимание изучению проблем изменения климата и моделированию возможного развития климата в будущем. Главной причиной современного глобального потепления климата является уси-

ние парникового эффекта атмосферы, вызванное выбросами парниковых газов. Эта концепция лежит в основе оценочных докладов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Эксперты МГЭИК разрабатывают возможные сценарии глобального изменения климата при разных концентрациях парниковых газов и строят климатические проекции будущих изменений климата на основе различных климатических моделей.

Целью работы является изучение передовых подходов разработки климатических проекций зарубежными экспертами и исследование опыта разработки климатических проекций белорусскими учеными, а также выявление корреляции между результатами исследований белорусских и зарубежных исследователей.

Материалы и методы исследований

В работе использованы материалы Специального доклада МГЭИК о сценариях выбросов (2000 г.) [1], Оценочного доклада МГЭИК 2014 [2], Оценочного доклада МГЭИК 2022 г. [3], а также работы белорусских ученых, занимающихся изучением проблем изменения климата на территории Республики Беларусь.

Методологической основой исследований являются статистические методы анализа данных, системный анализ накопленной информации.

Результаты и обсуждения

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) была учреждена в 1988 году Всемирной метеорологической организацией и Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде.

Первый оценочный доклад МГЭИК (1990 г.) [4] уже включал формулировку сценариев антропогенных выбросов парниковых газов и модельные прогнозы роста глобальной температуры по этим сценариям, полученные при различных значениях параметра климатической чувствительности. В 2000 г. МГЭИК представила Специальный доклад о сценариях выбросов (СДСВ) на период до 2100 г [1]. Этот доклад содержит 40 сценариев, разработанных с помощью шести компьютерных моделей для мира в целом и для его основных регионов. Они разбиты на четыре группы: A1 (17 сценариев); A2 (6 сценариев); B1 (9 сценариев); и B2 (8 сценариев). В основу каждого семейства сценариев был положен комплекс принципов, основанных на содержании эмиссий парниковых газов и социально-экономических показателях развития. Сценарии предназначены служить основой для оценок изменения климата и его воздействий.

Сегодня исследователи строят климатические проекции используя модели, в которых учитывается изменение количества парниковых газов. Так как невозможно знать точные будущие концентрации парниковых газов, модели запускают с различными потенциальными сценариями количества парниковых газов. Эти сценарии называются Репрезентативные траектории концентраций (РТК) (Representative Concentrations Pathways, RCP). В 2014 году МГЭИК приняла четыре стандартных RCP с концентрациями парниковых газов, которые добавляют следующие уровни радиационного воздействия: 2,6, 4,5, 6,0 и 8,5 Вт/м² [2]. Эти сценарии дают диапазон от наилучшего (2,6) до наихудшего (8,5) сценария эмиссии парниковых газов в атмосферу. Для сценария RCP2.6 концентрация

составляет 490 ppm, для RCP4.5 – 650 ppm, а для RCP8.5 – 1370 ppm. Сценарии отражают степень принятия человечеством мер в области недопущения глобального потепления климата в XXI веке. Сценарий RCP2.6 предполагает весьма низкий уровень воздействия, RCP4.5 и RCP6.0 – сценарии стабилизации, и самый «агрессивный» сценарий с высокими уровнями выбросов парниковых газов – это RCP8.5.

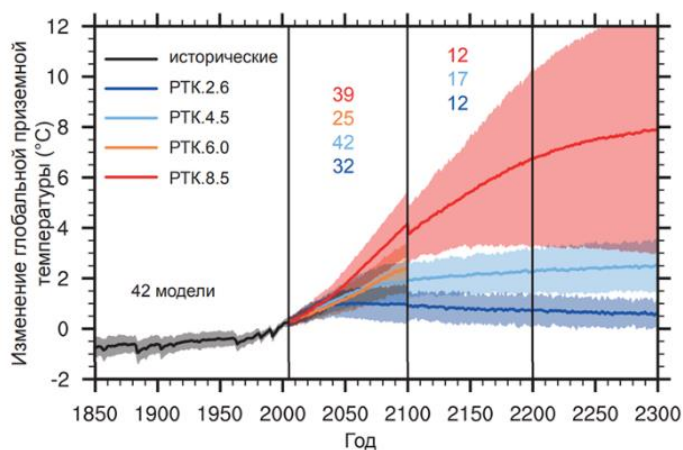


Рисунок 1 – Сценарии изменения глобальной приземной температуры по проекту CMIP5 [2]

В результате модельных расчетов по сценариям RCP6.0 и RCP8.5 радиационное воздействие не достигает максимального значения к 2100 г.; в то время как для сценария RCP2.6 оно достигает максимума и затем снижается, а для сценария RCP4.5 стабилизируется к 2100 г. (рисунок 1).

В 2022 году МГЭИК приняла 6 оценочный доклад [3] на основе проекта CMIP6, в котором предлагается 5 сценариев изменения климата SSP (Shared Socio-economic Pathways): SSP2-2.6 для устойчивой траектории, SSP2-4.5 для умеренной, SSP3-7.0 для регионального соперничества и SSP5-8.5 для развития на основе широкого применения ископаемого топлива. Также рассматривается сценарий SSP1-1.9 для оценки возможности достижения цели Парижского соглашения по климату, которое допускает максимальный рост температуры в 1,5 °C (рисунок 2).

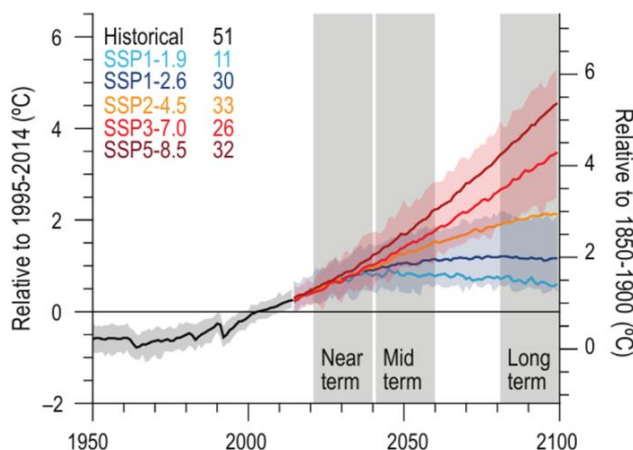


Рисунок 2 – Сценарии изменения глобальной приземной температуры по проекту CMIP6 [3]

Хотя 6 оценочный доклад во многом основывается на новых наборах сценариев и моделей проекта CMIP6, очевидно определенная корреляция между сценариями RCP проекта CMIP5 и SSP проекта CMIP6. В докладе [3] проводится сравнение двух подходов и дается заключение о том, что модели, применяемые в проекте CMIP6, имеют большую климатическую чувствительность, поэтому демонстрируют больший рост температуры, чем модели и сценарии CMIP5.

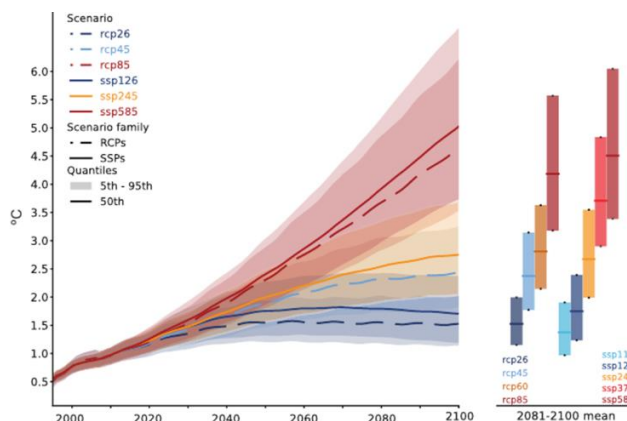


Рисунок 3 – Сценарии изменения глобальной приземной температуры по проектам CMIP5 и CMIP6 [3]

До публикации 6 оценочного доклада МГЭИК большинство климатологов использовали сценарии RCP для построения климатических проекций с 20-летним приростом, начиная с 2020 года. Для разных сценариев применяется разное количество моделей, однако во всех случаях достаточно репрезентативное. Сегодня доступны десятки моделей из центров моделирования по всему миру. Не все идеально подходят для передачи основных концепций и общих трендов, поэтому сложно выбрать лишь одну из них. Предлагается использовать совокупность нескольких моделей (MultiModel Ensemble, MME), которые обеспечивают средства и стандартные отклонения между избранной коллекцией моделей.

Сценарии будущих изменений климата на территории Беларуси разрабатывают разные группы ученых на основе результатов различных моделей. Например, в рамках проектов CMIP3, CMIP5, PRUDENCE и ENSEMBLE территория страны была включена в области международных исследований [5, 6]. Просчитано [7], что для отдельно взятой модели оптимальный масштаб пространственного осреднения составляет примерно 2000 км, а региональные климатические модели покрывают территорию в 5000 км×5000 км. Вследствие небольшой площади Беларуси и ее размещения, территория страны часто включается в исследуемые домены как европейских ученых, так и российских. Например, прогнозирование будущих изменений климата, включающих территорию Беларуси, проводилось в России [8, 9, 10, 11 и др.], Украине [12 и др.] и Европе [13 и др.].

Результаты первых исследований будущих климатических изменений непосредственно территории Беларуси были представлены в работе Академика НАН Беларуси В.Ф. Логинова [14]. Моделирование позволило дать прогноз вероятного повышения основных метеорологических параметров к 2100 году.

Другие климатические исследования для территории Беларуси, основанные на климатических прогнозах проекта CMIP5 [15], демонстрируют увеличение

продолжительности теплого периода. Авторы данного исследования рассчитали прогнозные значения основных агроклиматических показателей по теплообеспеченности и влагообеспеченности для периодов 2011-2030, 2021-2041, 2041-2060 гг. В результате расчетов были получены новые границы агроклиматических зон для сценария RCP4.5 на территории Беларуси с использованием данных из ансамбля 31 модели CMIP5 по отношению к базовому периоду 1989-2015 гг. для сценария RCP8.5. Согласно рассчитанным моделям прогнозируется, что в ближайшие десятилетия на территории Беларуси изменения климата продолжат тенденции, наблюдавшиеся в последние десятилетия (т.е. увеличение сумм температур, продолжительности вегетационного периода и т. д.). Продолжится дальнейшее смещение границ агроклиматических областей на север и появление новых агроклиматических зон с суммами температур выше существующих в настоящее время. Полученные результаты показывают существенное изменение агроклиматических характеристик и необходимость планирования внесения изменений в технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

Подробная оценка климатических проекций с различным пространственным разрешением для территории Беларуси представлена в работах [16, 17], где выполнена оценка возможных будущих колебаний температуры воздуха и осадков на основе использования данных климатического моделирования, предоставленных консорциумом EURO-CORDEX, для узлов сетки, входящих в границы Беларуси. В работе использованы данные с временным разрешением за суточные интервалы для периода 1970–2100 гг. и пространственным разрешением 0,44 градуса. Для оценки будущих изменений температуры воздуха и осадков авторы выполнили расчеты по 40 комбинациям глобальных и региональных климатических моделей. Расчетный период охватывает 2017–2100 гг., исторический период 1971–2000 гг. Используются климатические проекции, согласно сценариям радиационного воздействия RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5. Рассчитаны статистические параметры для рядов модельных данных по температуре воздуха и осадкам за годовые и сезонные интервалы и климатические индексы на их основе по последовательным десятилетиям. Расчеты показали существенные изменения температуры воздуха и осадков по территории Беларуси к концу текущего столетия, особенно для холодной части года (зима и весна). Ожидаемые изменения связаны с положительными тенденциями температуры воздуха и осадков. Расчетные данные сезонных и годовых значений температуры и осадков варьируются в зависимости от модели. Наименьшие изменения отмечены для сценария RCP2.6, наиболее значимые изменения – для сценария RCP8.5.

Ученые Института природопользования НАН Беларуси в работе [18] строят прогнозы изменения различных параметров температуры воздуха, осадков, а также снега и ветра для сценариев RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5. Согласно выполненным ими расчетам по ансамблю климатических моделей, входящих в консорциум EURO-CORDEX, ожидается увеличение температуры воздуха на 1-6 °C к концу текущего столетия, увеличение годовых сумм осадков в пределах 5-15 %, увеличение максимальных сумм осадков на 20 %, снижение на 10-40 дней числа дней с твердыми осадками, увеличение продолжительности засушливых периодов на 1-2 дня, незначительные изменения годовой скорости

ветра и разнонаправленные изменения числа дней с сильным ветром в пределах 1-3 дней.

Прогнозированием гидролого-климатических изменений на территории Республики Беларусь занимаются многие ученые [19, 20, 21]. Например, в исследовании [22] авторы использовали глобальную климатическую модель ЕСНАМ5 и региональную климатическую модель CCLM. В результате расчетов были сделаны выводы о том, что прогноз стока на период до 2035 г. в основном подтвердил выявленные тенденции его изменения за период с 1961 по 2015 гг. По прогнозным оценкам изменения объемов стока также возможна резкая дифференциация между северной и южной частями республики, между малыми и большими реками. При незначительном изменении стока в среднем за год, высока вероятность его неравномерности и разнонаправленности в отдельные сезоны и месяцы. Особенно значительно может измениться сток в летние месяцы с его снижением во все сезоны на юге Беларуси. Вместе с тем для севера Беларуси прогнозируются не столь значительные изменения стока, как для юга.

В работе [23] для прогнозирования максимального речного стока предложена гибридная модель, основанная на совместном использовании метода эмпирической модовой декомпозиции (EMD) и модели авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего (ARIMA). Проведенные анализ и сравнение результатов моделирования максимальных расходов воды р. Днепр в створе г. Речица позволяют сделать вывод о преимуществе использования гибридной модели EMD-ARIMA перед классической моделью ARIMA так как она позволяет учесть все локальные особенности максимальных расходов воды весенне-го половодья, внутреннюю структуру, а также аномальные выбросы.

В работе [24] авторы выполнили расчет прогнозных гидрологических характеристик с использованием численной модели «Гидрологические прогнозы для окружающей среды» (Hydrological Predictions for the Environment, HYPE) за период 2030-2040 гг. для трех сценариев RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5. Их прогнозные оценки показывают дальнейшие колебания годового стока рек Припять, Западная Двина, Днепр, Неман в пределах 10 %, снижение максимального и увеличение минимального стока летне-осенней межени.

На основании данных проекций, представленных в различных публикациях, можно сравнить данные климатических проекций, построенных белорусскими исследователями (рисунок 4), с данными проекций МГЭИК (таблица 1) и Европейского агентства по окружающей среде (European Environment Agency) (таблица 2).

Таблица 1 – Прогнозируемое изменение средней глобальной приземной температуры воздуха, °C [2]

Сценарий	2046-2065 гг.		2081-2100 гг.	
	Среднее значение	Вероятный диапазон	Среднее значение	Вероятный диапазон
RCP2.6	1,0	0,4-1,6	1,0	0,3-1,7
RCP4.5	1,4	0,9-2,0	1,8	1,1-2,6
RCP6.0	1,3	0,8-1,8	2,2	1,4-3,1
RCP8.5	2,0	1,4-2,6	3,7	2,6-4,8

Таблица 2 – Прогнозируемое изменение средней приземной температуры воздуха в Европе в 2071-2100 гг. относительно 1971-2000 гг., °C [25]

Среднегодовая температура	Атлантическая Европа		Континентальная Европа		Северная Европа		Южная Европа	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Средняя	1,7	3,2	2,1	4,1	2,9	5,2	2,0	4,2
Минимальная	1,3	2,5	1,6	3,6	2,0	4,1	1,9	3,8
Вероятный диапазон	1,4-2,1	2,7-3,6	1,6-3,2	3,7-5,2	2,0-4,2	4,1-6,2	1,9-2,7	3,9-5,4
Максимальная	2,9	4,2	3,2	5,3	4,3	6,5	3,2	5,7

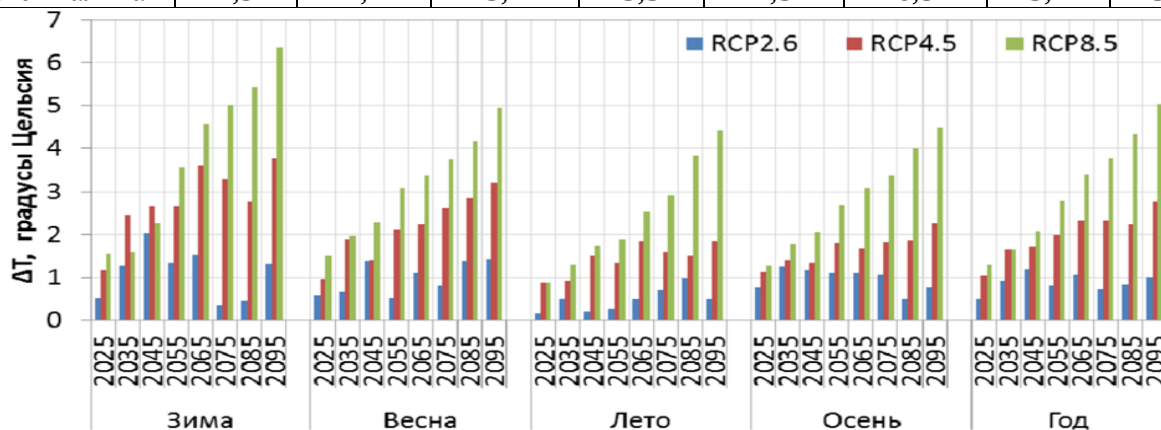


Рисунок 4 – Прогнозируемое изменение средней приземной температуры воздуха в Беларуси в 2021-2099 гг. относительно 1971-2000 гг., °C [18]

Согласно расчетам экспертов МГЭИК по сценарию RCP4.5 в 2081-2100 гг. приземная температура воздуха в среднем по планете увеличится на 1,8 °C относительно доиндустриального уровня, а вероятный диапазон составит 1,1-2,6 °C. В континентальной Европе по этому же сценарию эксперты Европейского агентства по окружающей среде прогнозируют рост в 2071-2100 гг. на 2,1 °C относительно 1971-2000 гг., а вероятный диапазон составит по их данным 1,6-3,2 °C. Расчеты белорусских исследователей предполагают рост средней приземной температуры воздуха в Беларуси в 2075-2095 гг. в вероятном диапазоне 2,1-2,8 °C по тому же сценарию.

По сценарию RCP8.5 глобальная приземная температура воздуха в среднем увеличится на 3,7 °C, а вероятный диапазон составит 2,6-4,8 °C. В континентальной Европе по этому же сценарию прогнозируется рост в среднем на 4,1 °C, а вероятный диапазон составит 3,7-5,2 °C. На территории Беларуси предполагается рост средней приземной температуры воздуха в диапазоне 3,7-5,0 °C.

Таким образом, очевидна корреляция полученных данных с небольшим снижением значений глобальной температуры воздуха, что можно объяснить неравномерностью изменений приземной температуры воздуха в целом по планете, удаленностью территории Беларуси от океанов и, конечно, применением различных климатических моделей при построении проекций и отличающихся по длительности временных отрезков.

Заключение

В результате проведенного сравнительного анализа данных климатических проекций, разработанных экспертами МГЭИК и Европейского агентства по

окружающей среде, и данных климатических проекций, построенных белорусскими учеными, выявлены очевидные корреляции между результатами исследований белорусских и зарубежных специалистов.

Список цитированных источников

1. Специальный доклад МГЭИК. Сценарии выбросов / Межправительственная группа экспертов по изменению климата, 2000. – 570 с.
2. Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. МГЭИК, Женева, Швейцария, 163 с.
3. IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner et al.]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.
4. Изменение Климата. Оценки МГЭИК за 1990 г и 1992 г. Первый доклад МГЭИК по оценке изменения климата. Общий обзор и краткое резюме для лиц, определяющих политику и Дополнение 1992 г. к докладу МГЭИК / Межправительственная группа экспертов по изменению климата, 1992 – 169 с.
5. Taylor K.E., Stouffer R J. and Meehl G.A. (2011), An overview of CMIP5 and the experiment design, Bulletin of the American Meteorological Society, No 93 (4), pp. 485–498, doi: 10.1175/BAMS-D-11-00094.1.
6. Van der Linden P. and Mitchell J. (2009), Ensembles: Climate change and its impacts: Summary of research and results from the ensembles project, Technical report, Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK.
7. Räisänen, J., & Ylhäisi, J.S. (2011). How Much Should Climate Model Output Be Smoothed in Space. Journal of Climate, 24, 867-880.
8. Мохов И., Елисеев А. Моделирование глобальных климатических изменений в XX - XXIII веках при новых сценариях антропогенного воздействия (РГП) // Известия РАН. Серия географическая. 2006. № 443(6). С. 732–736.
9. Кокорев В.А., Анисимов О.А. Построение оптимизированной ансамблевой климатической проекции для оценки последствий изменений климата на территории России // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2013. – Т. 25. – С. 131.
10. Говоркова В.А., Катцов В.М., Мелешко В.П., Павлова Т.В., Школьник И.М. Оценка пригодности моделей общей циркуляции атмосферы и океана CMIP3 для расчетов будущих изменений климата России. Климат России в XXI веке. Часть 2 // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 8. – С. 5–19.
11. Современные и ожидаемые гидроклиматические изменения в бассейнах Балтийского и Арктических морей в пределах территорий Беларуси и России / В. Ф. Логинов [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, No 3. – С. 338–347. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-3-338-347>.
12. Снежко С. И., Ободовский А. Г., Лопух П. С. Долгосрочный прогноз стока горных и равнинных рек для оценки их гидроэнергетического потенциала (на примере Украинских Карпат и Беларуси) // Журн. Белорус. гос. ун-та. География. Геология. 2017. No 1. С. 50–61.
13. Jacob D., Petersen J., Eggert B., Alias A., Christensen O.B., Bouwer L.M., Braun A., Colette A., Déqué M. et al. EURO-CORDEX: new high resolution climate change projections for European impact research // Regional Environmental Change. – 2014. – Vol. 14, Issue 2. – P. 563–578.
14. Логинов В. Ф., Микуцкий В. С., Каждан Е. Н. Использование моделей общей циркуляции для оценки климата в Беларуси // Природопользование. 2000. Вып. 6. С. 30–31.
15. Мельник В.И., Соколовская Я.А., Комаровская Е.В. Возможные изменения климатических и агроклиматических характеристик в XXI веке на территории Беларуси и их влияние на сельское хозяйство // Природные ресурсы. 2017. Вып. 2. С. 118-125.
16. Данилович И.С., Гайер Б. Оценка возможных будущих изменений температуры воздуха и осадков по декадам текущего столетия для территории Беларуси на основе результатов численного моделирования // Природные ресурсы. 2018. № 1. С. 102-114.

17. Danilovich I., Geyer B. (2021), Estimates of current and future climate change in Belarus based on meteorological station data and the EURO-CORDEX-11 dataset, Meteorology, Hydrology and Water Management, <https://doi.org/10.26491/mhwm/139386>
18. Данилович И.С., Логинов В.Ф. Текущие и ожидаемые изменения климата на территории Беларуси // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2021. № 1-2. С. 35-48.
19. Лопух П. С., Партасенок И. С. Влияние атмосферной циркуляции на формирование гидрологического режима рек Беларуси. Минск, 2013.
20. Современные и ожидаемые гидроклиматические изменения в бассейнах Балтийского и Арктических морей в пределах территорий Беларуси и России / В. Ф. Логинов [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, No 3. – С. 338–347. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-3-338-347>
21. Данилович И. С., Квач Е. Г., Поликша Д. С. Современные и будущие изменения гидроклиматических характеристик в бассейне Припяти // Асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зборник навуковых прац / Нацыянальная акадэмія навук Беларусі. Палескі аграгна-экалагічны інстытут ; пад рэд. М. В. Міхальчук. – Мінск : Беларуская навука, 2022. – С. 7-9.
22. Волчек А. А., Корнеев В.Н., Парфомук С.И. Оценка и прогноз естественных водных ресурсов Беларуси // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства : сб. науч. тр. / ФГБОУ ВПО РГАТУ; под ред. Н.В. Бышова. – Рязань, 2013. – С.434 – 440.
23. Волчек, А. А.; Парфомук, С. И.; Сидак, С. В. Прогнозные оценки максимальных расходов воды реки Днепр в створе города Речицы. Вестник БрГТУ 2021, 69-76.
24. Данилович И. С., Квач Е. Г. Современные изменения и прогнозные оценки гидроклиматических характеристик на территории Беларуси //Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. трудов V Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию кафедры природообустройства, Брест, 26-28 октября 2022 г. / Брест. гос. тех. ун-т : редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест : БрГТУ, 2022. – Ч. 1. – С. 95-102.
25. Daniela Jacob et al., “EURO-CORDEX: New High-Resolution Climate Change Projections for European Impact Research”, Regional Environmental Change 14, no. 2 (2014): 563–78, doi:10.1007/s10113-013-0499-2.

УДК 551.578

ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ СНЕГОНАКОПЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

О. П. Мешик¹, В. А. Морозова²

¹ К. т. н., доцент, декан факультета инженерных систем и экологии
УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail : omeshyk@gmail.com

² Магистр технических наук, аспирант кафедры природообустройства,
старший преподаватель кафедры начертательной геометрии и инженерной графики
УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail : vmorozova-brest@mail.ru

Реферат

Снежный покров является источником питания рек в весенний период, тем самым формируя весеннее половодье, обусловленное таянием снега, накоплен-

ного за зиму. Сток весеннего половодья составляет 40–60 % объема годового стока, в период половодья подвергаются затоплению населенные пункты и сельскохозяйственные земли. В результате избыточного снегонакопления возможно разрушение конструкций зданий и сооружений в результате сверхнормативных снеговых нагрузок. Все это делает актуальным прогнозирование снегонакопления на исследуемой территории на различную перспективу.

В работе даны прогнозные оценки снегонакопления на территории Белорусского Полесья.

Ключевые слова: снежный покров, запасы воды в снеге, высота снега, снегонакопление, GMDH Shell, временные ряды, прогнозирование.

FORECAST ASSESSMENTS OF SNOW ACCUMULATION ON THE TERRITORY OF BELARUSIAN POLESIE

A. P. Meshyk, V. A. Marozava

Abstract

The snow cover is the source of river nutrition in the spring, thus forming a spring flood due to the melting of snow accumulated during the winter. The runoff of the spring flood is 40–60% of the annual runoff; during the flood period, settlements and agricultural lands are flooded. As a result of excessive snow accumulation, the structures of buildings and structures may be destroyed as a result of excess snow loads. All this makes it relevant to forecast snow accumulation in the study area for a different perspective.

The paper gives forecast assessments of snow accumulation on the territory of Belarusian Polesie.

Keywords: snow cover, snow water equivalent, snow height, snow accumulation, GMDH Shell, time series, forecasting.

Введение

Неблагоприятные гидрометеорологические явления занимают первое место среди чрезвычайных ситуаций природного характера в Беларуси. Весеннее половодье рек является достаточно часто происходящим явлением в Беларуси, при котором могут быть затоплены огромные площади, включающие сельскохозяйственные угодья с озимыми культурами, застроенные территории и др. Например, пойма реки Припять может затопливаться более чем на 50 км.

Доля весеннего стока на реках Беларуси колеблется в пределах 40–60 % годового стока. Анализ среднего максимального стока весенних половодий показывает, что максимальный сток значительно сократился. Одной из причин является увеличение количества оттепелей зимой. Многократные фазовые переходы, таяние снега приводит к увеличению зимнего стока и иногда зимних паводков с меньшими расходами весеннего половодья [1].

В этой связи, основным фактором, способствующим зимнему и весеннему половодью на реках Беларуси, особенно на территории Полесья, является снегонакопление [2, 3]. Именно поэтому необходимо исследовать характеристики снежного покрова с целью прогнозирования возможного затопления сельскохозяйственных и жилых территорий. В настоящее время для прогнозирования ве-

сенних половодий используется множество моделей и методов, включающих различные метеорологические параметры [4–8]. При этом запасы воды в снеге выступают основным фактором, способствующим весеннему половодью на реках Беларуси, и в частности белорусского Полесья, поэтому их прогнозирование играет важную роль.

Материалы и методы

Объектом исследования являются характеристики снежного покрова. В работе использованы официальные данные климатического мониторинга по 5 метеостанциям (Брест, Пинск, Житковичи, Василевичи, Гомель) территории Белорусского Полесья за 1945–2020 гг. Данные характеризуют: максимальные запасы воды в снеге, мм; максимальную высоту снежного покрова, см [9].

Для прогнозирования временных рядов в работе используется программа GMDH Shell, которая реализует следующие модели: комбинаторный GMDH (Group Method of Data Handling – Групповой Метод Обработки Данных); нейронные сети типа GMDH.

Основная часть

Временные ряды (Time series) дают возможность прогнозировать будущие значения. На основании предыдущих значений, временные ряды можно использовать для прогнозирования тенденций в различных отраслях.

Анализ временных рядов является мощным методом анализа данных. Временные ряды представляют собой последовательные образцы данных, измеренные один за другим с фиксированными временными интервалами. Анализ временных рядов направлен на выявление специфических закономерностей в этих данных для прогнозирования будущих значений на основе ранее наблюдаемых.

Программа GMDH Shell реализует сильно модифицированную и улучшенную версию классического алгоритма GMDH, разработанного в конце шестидесятых годов XX века. В отличие от классического группового алгоритма обработки данных, в программном обеспечении GMDH Shell для описания заданных исторических данных используются постепенно усложняющиеся модели. Каждая такая модель проверяется на соответствие полученным ранее значениям данных, после чего GMDH Shell рассчитывает прогнозную достоверность модели и решает, строить следующую модель или нет.

GMDH Shell не только обеспечивает высокоскоростной анализ и точное прогнозирование, но и обладает комплексным инструментом управления данными для быстрого ввода исходных данных, богатыми возможностями визуализации и многочисленными шаблонами, готовыми для мгновенного анализа с собственными данными. GMDH Shell максимально эффективно использует возможности системы для выполнения анализа временных рядов за минимальное время. Программа может выполнять параллельные вычисления и достигать точных результатов прогнозирования в кратчайшие сроки.

Преимущества GMDH Shell для Data Science:

- Автоматически определяет структуру модели.
- Устраняет перенасыщение и хорошо работает с небольшими наборами данных.

- Быстродействие с большим количеством входных переменных.
- Предоставляет инструменты прогнозирования, классификации, регрессии и кластеризации в одном пакете.

На рисунках 1, 2 показан пользовательский интерфейс программы и анализ данных характеристик снежного покрова.

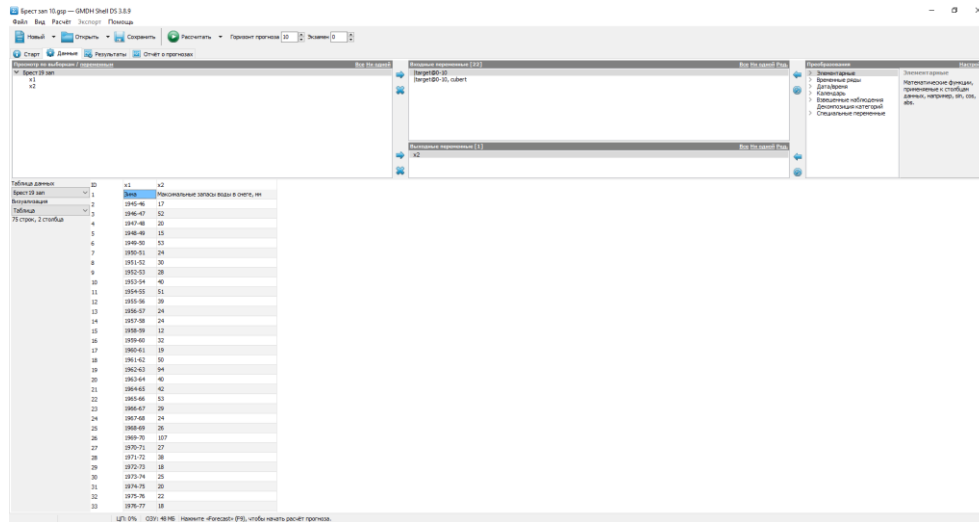


Рисунок 1 – Окно «Данные» программы GMDH Shell

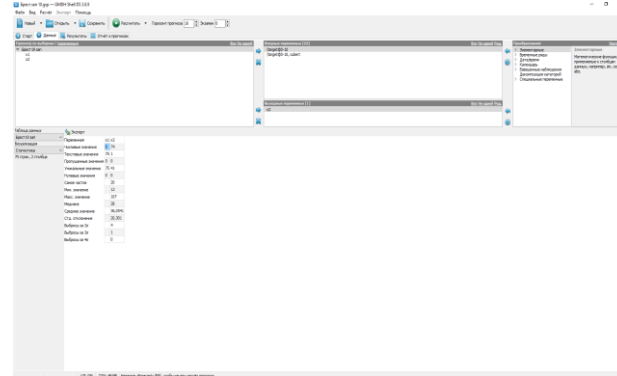
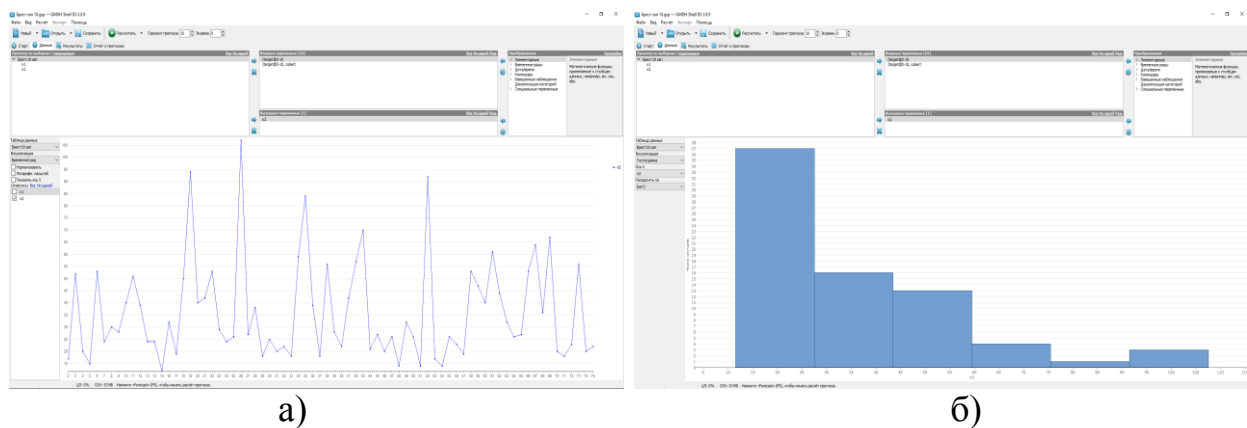


Рисунок 2 – Анализ данных запасов воды в снегу по метеостанции Брест 1945–2020 гг. в программе GMDH Shell:
а) временной ряд; б) гистограмма; в) статистические характеристики

В современной теории прогностического моделирования хорошо известно, что модель должна обеспечивать компромисс между простотой и точностью. GMDH Shell соответствует этой цели, используя алгоритмы обучения группового метода обработки данных ***Group Method of Data Handling*** (GMDH), который является методом обнаружения знаний, созданным профессором А.Г. Ивахненко в 1968 году.

Групповой метод обработки данных применялся в самых разных областях для глубокого обучения и обнаружения знаний, прогнозирования и интеллектуального анализа данных, оптимизации и распознавания образов. Индуктивные алгоритмы GMDH дают возможность автоматически находить взаимосвязи в данных, выбирать оптимальную структуру модели или сети и повышать точность существующих алгоритмов. Этот оригинальный самоорганизующийся подход отличается от дедуктивных методов, используемых для моделирования. Он имеет индуктивную природу – он находит наилучшее решение путем сортировки возможных вариантов. Путем сортировки различных решений GMDH networks стремится минимизировать влияние автора на результаты моделирования. Компьютер сам находит структуру оптимальной модели или законов, которые действуют в системе. ***Групповой метод обработки данных*** представляет собой набор из нескольких алгоритмов для решения различных задач. Он состоит из параметрических, кластеризации, комплексобразования аналогов, ребинаризации и вероятностных алгоритмов. Этот индуктивный подход основан на сортировке постепенно усложняющихся моделей и подборе оптимального решения по минимуму внешней характеристики критерия. В качестве базовых моделей используются не только полиномы, но и нелинейные, вероятностные функции или кластеризации. Подход GMDH может быть полезен, в связи с тем, что:

- Находится оптимальная сложность структуры модели, адекватная уровню шума в выборке данных. Для реальных задач, с шумовыми или короткими данными, упрощенные оптимальные модели более точны.
- Количество слоев и нейронов в скрытых слоях, структура модели и другие оптимальные гиперпараметры определяются автоматически.
- Это гарантирует, что будут найдены наиболее точные или непредвзятые модели – метод не пропустит лучшее решение при сортировке всех вариантов (в данном классе функций).
- В качестве входных переменных могут использоваться нелинейные функции или признаки, которые могут оказывать влияние на выходную переменную.
- Он автоматически находит интерпретируемые связи в данных и выбирает эффективные входные переменные.
- Алгоритмы сортировки GMDH довольно просты для разработки программного обеспечения.
- Двухслойные нейронные сети могут быть использованы для повышения точности других алгоритмов моделирования.
- Метод получения информации непосредственно из выборки данных и минимизирует влияние априорных авторских предположений о результатах моделирования.

- Подход дает возможность найти объективную физическую модель объекта (закон или сегментацию) – такую же на будущих образцах.

Рассматриваемый метод был реализован во многих коммерческих программных средствах. Также GMDH известен как полиномиальные нейронные сети, абдуктивные и статистические сети обучения [10].

Идея всех алгоритмов типа GMDH заключается в применении генератора постепенно усложняющихся моделей и выборе набора моделей, которые показывают высочайшую точность прогнозирования при ранее невидимых данных. Эти данные обычно называют частью проверки или тестирования, а модель с самым высоким рейтингом считается оптимально сложной.

Математически GMDH довольно прост и в то же время хорошо скоординирован с современными методами интеллектуального анализа данных. Центральная роль в определении оптимальной сложности отводится валидации – это общий подход для большинства алгоритмов обучения. Тем не менее, GMDH Shell фокусируется на двухуровневом подходе к проверке и, конечно же, предоставляет необходимые инструменты. На самом деле GMDH Shell автоматизирует работу большинства датамайнеров. Второй уровень проверки, который называется «пробой удержания», является обычной практикой, но термин «удержание» может относиться к тестовому образцу в других инструментах или литературе. Выносная выборка не принимает участия в оценке модельных коэффициентов или выборе структуры модели. Он используется для расчета производительности постобработанных прогнозов, которые предупреждают о переподготовке или просто о низком качестве моделей. Фактически, контрольный образец проверяет вашу попытку моделирования в целом, т.е. проверяет валидность преобразований, значимость выбранных входных данных и тому подобное.

В GS доступны два тесно связанных алгоритма обучения:

- Комбинаторный GMDH
- Нейронные сети типа GMDH

Поскольку эти алгоритмы логически отделены от процедур подготовки данных, то они и являются основными алгоритмами. Основные алгоритмы выполняют генерацию и выбор модельных структур. Затем модельные коэффициенты устанавливаются с использованием метода наименьших квадратов (для обоих алгоритмов).

Основной алгоритм генерирует модели от простых к сложным до тех пор, пока точность тестирования не увеличится. Встроенные стратегии проверки, т.е. перекрестная проверка или простое секционирование, имеют дело с данными, разделенными на обучающие и тестовые части. Перекрестная проверка, например, соответствует многочисленным разделениям, рассматриваемым один за другим и в конечном итоге усредняемым. Обучающие данные используются для подгонки модельных коэффициентов, в то время как данные тестирования используются для расчета валидационной меры. Постоянное усложнение увеличивает количество параметров модели (столько же, сколько весов нейронной сети) до тех пор, пока уменьшается погрешность тестирования.

Если это настроено, GMDH Shell применяет готовую к использованию модель к данным проверки 2-го уровня и отображает результаты производитель-

ности, которые следует использовать для оценки успешности моделирования.

Комбинаторная модель GMDH – полиномиальная функция, линейная по параметрам. Комбинаторная модель – это подмножество членов полиномиальной функции, порожденной из заданного набора переменных. Например, если смоделировать набор данных из двух входных переменных x_1 и x_2 и выходной (целевой) переменной y , то обычно используется квадратичная полиномиальная функция, для которой будет выполняться оптимизация: $y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_1 \cdot x_2 + a_4 \cdot x_1^2 + a_5 \cdot x_2^2$.

Степень полиномиальной функции определяется пользователем и также может представлять собой линейную функцию, т.е. степень равна единице. Комбинаторный GMDH выбирает оптимально-сложную модель, например, как подмножество слагаемых полного многочлена с наименьшей погрешностью модели при тестировании данных $y = a_0 + a_3 \cdot x_1 \cdot x_2$.

Этап предварительной обработки данных позволяет применять к переменным x_1 и x_2 различные операторы, например, экспоненту, сигмовидную функцию, лаги временных рядов и так далее. Но окончательная модель все равно будет линейной по параметрам.

Комбинаторный GMDH в целом является трудоемким алгоритмом. Его применение в качестве автономного алгоритма практически полезно для выбора переменных или с пределом сложности 3-7 параметров модели, что позволяет обрабатывать 500-100 переменных. Использование предварительного выбора переменных, доступных в модуле решателя, позволяет уменьшить количество переменных до допустимых границ.

Нейронные сети типа GMDH, также известные как полиномиальные нейронные сети, используют комбинаторный алгоритм для оптимизации нейронной связи. Алгоритм итеративно создает слои нейронов с двумя или более входами. Алгоритм сохраняет только ограниченный набор оптимально сложных нейронов, которые мы обозначаем как начальную ширину слоя. Каждый новый слой создается с использованием двух или более нейронов, взятых из любого из предыдущих слоев. Каждый нейрон в сети применяет передаточную функцию (обычно с двумя переменными), что позволяет исчерпывающему комбинаторному поиску выбрать функцию переноса, которая наиболее точно предсказывает данные тестирования. Функция передачи обычно имеет квадратичную или линейную форму, но также может быть настроена в модуле решателя.

Сети типа GMDH генерируют множество слоев, но многоуровневые соединения настолько разрежены, что их количество может быть таким же маленьким, как несколько соединений на слой. Алгоритм возвращает только ограниченное количество нейронов, определенных пользователем из каждого слоя, поскольку каждый новый слой может соединяться с предыдущими слоями, ширина слоя постоянно растет. Принимая во внимание, как редко верхние слои улучшают популяцию моделей, дополнительный размер следующего слоя делится на два и генерирует только половину нейронов, генерируемых на предыдущем слое. Эта эвристика делает алгоритм быстрее, в то время как вероятность снижения качества модели низкая $N_k N_k = 0,5 \cdot N_{k-1}$.

В некоторых плохо поставленных симуляциях количество уникальных весов и (или сложности модели) может быть слишком большим по сравнению с количеством строк набора данных. В результате модель переупорядочивает данные и может не предсказать выборку, адекватно предсказанную. В этом случае можно вручную ограничить количество сетевых слоев, или перепроектировать набор входных данных, или отменить преобразования, которые слишком сильно расширяют исходный набор входных данных [11].

Созданный — GMDH Shell DS 3.8.9

Файл Вид Расчёт Экспорт Помощь

Новый Открыть Сохранить Рассчитать Горизонт прогноза 10 Экран 0

Старт Данные Результаты Отчёт о прогнозах

Ноды

График Точность Модель

X2

105
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
-5

3 5 7 9 11 13 15 17 19

Прогнозирование — шаг 5 из 5

Обработка закончена

Испытание методов (отбор по RMSE):

Комбинаторный (высший) 17,0846
Пошаговый с добавлением 14,2111
Пошаговый оптимизации 15,9937
Новость МГУА 12,9538

Среднее RMARE 27,62 %
Нормированная сумма отклонений -7,67 %

Прошло: 0:00:11

Отмена << Назад Готово

Таблица

Настройки Экспорт Транслировать Панель записей

Фактическое

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7	+8	+9	+10	
47	40	61	44	32	26	27	53	64	36	67	20	18	23	56	20	22											
Прогноз	46	37	51	35	31	34	31	44	46	41	48	29	24	25	30	27	37	53	29	36	26	21	25	30	43	40	41

Корректировка

Окончательный прогноз

46	37	51	35	31	34	31	44	46	41	48	29	24	25	30	27	37	53	29	36	26	21	25	30	43	40	41
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Новая

20,611	11,611	25,611	9,61095	5,61095	8,61095	5,61095	18,611	20,611	15,611	22,611	3,61095	-1,38905	-0,389048	4,61095	1,61095	11,611	27,611	3,61095	10,611	0,610952	-4,38905	-0,389048	4,61095	17,611	14,611	15,611
--------	--------	--------	---------	---------	---------	---------	--------	--------	--------	--------	---------	----------	-----------	---------	---------	--------	--------	---------	--------	----------	----------	-----------	---------	--------	--------	--------

Версия

71,389	62,389	76,389	60,389	56,389	59,389	56,389	69,389	71,389	66,389	73,389	54,389	-49,389	50,389	55,389	52,389	62,389	78,389	54,389	61,389	51,389	46,389	50,389	55,389	66,389	65,389	66,389
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Результаты

Результаты

The figure consists of two side-by-side screenshots of the RStudio interface, showing the 'lme4' package installed. The left screenshot shows the 'lme4' package selected in the 'Packages' pane, with the 'lme4' package highlighted in red. The right screenshot shows the 'lme4' package selected in the 'Packages' pane, with the 'lme4' package highlighted in red. The 'lme4' package is highlighted in red in both screenshots.

6)

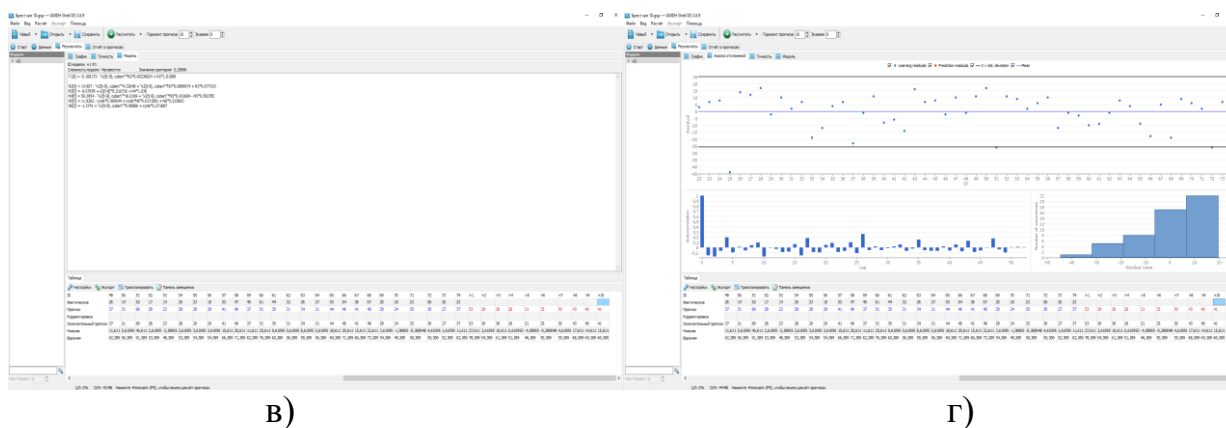


Рисунок 4 – Результаты прогнозирования запасов воды в снеге по метеостанции Брест 1945–2020 гг. в программе GMDH Shell:
а) график; б) точность; в) модель; г) анализ отклонений

В результате работы программы GMDH Shell были реализованы модели способные предсказать максимальные запасы воды в снеге (рисунок 5) и максимальные высоты снега (рисунок 6) с определенной погрешностью для 5 метеостанций Белорусского Полесья.

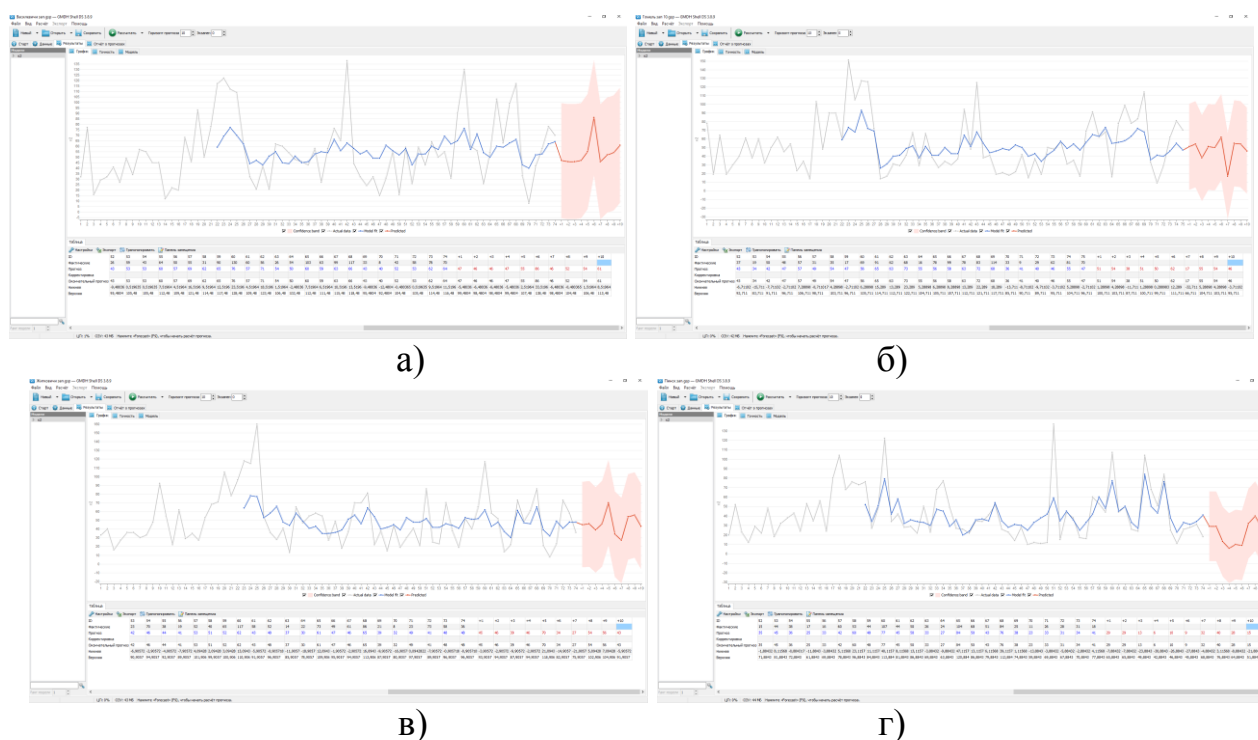


Рисунок 5 – Результаты прогнозирования запасов воды в снеге по метеостанциям:
а) Василевичи; б) Гомель; в) Житковичи; г) Пинск



Рисунок 6 – Результаты прогнозирования высоты снежного покрова по метеостанциям:
а) Брест; б) Василевичи; в) Гомель; г) Житковичи; д) Пинск

Анализируя изменчивость запасов воды в снеге, как определяющего фактора весеннего половодья рек Беларуси, необходимо, прежде всего, отметить цикличность максимальных значений запасов воды в снеге и достаточно строгую их периодичность в рядах наблюдений (рисунок 5). В установленной цикличности объективно отражаются закономерности внутритерриториального пространственного распределения максимальных значений запасов воды в снеге. Согласно моделям, в Бресте и Пинске максимальные запасы воды в снеге ожидаются в 2027 году, соответственно – 43 мм и 40 мм; в Василевичах и Гомеле – в 2025 г., соответственно – 86 мм и 62 мм; в Житковичах – в 2024 г. 70 мм. Анализируя различные модели, можно сделать вывод, что некоторые из них имеют бóльшую погрешность при прогнозировании, однако при этом сохраняются пики в значениях запасов воды в снеге. Поэтому если значения и усредняются, то годы, на которые выпадают максимальные или минимальные значения сохраняются.

Запасы воды в снеге получаются на основе измерений высоты снежного покрова и его плотности, поэтому важно знать и прогнозы высоты снега. Анализируя графики, согласно моделям прогнозирования (рисунок 6), максимальные высоты снежного покрова по метеостанциям Белорусского Полесья следую-

щие: Брест – 2026 г. 22 см, Василевичи – 2025 г. 57 см, Гомель – 2024 г. 46 см, Житковичи – 2029 г. 60 см, Пинск – 2027 г. 30 см.

Заключение

В данной работе прогнозные оценки снегонакопления на территории Белорусского Полесья выполнены на основе анализа данных характеристик снежного покрова: максимальных запасов воды в снеге – одной из важнейших его характеристик, информация о которой необходима для прогнозирования речного стока, управления водными ресурсами, а также для ряда отраслей экономики, прежде всего гидроэнергетики и сельского хозяйства; максимальных высот снежного покрова. Большая интенсивность снеготаяния может приводить к локальным проблемам на водосборах равнинных рек Белорусского Полесья. Вклад снеготаяния в речной сток является значительным. Поэтому прогнозирование характеристик снежного покрова позволит районировать территории по степени затопления поймы половодьем различной обеспеченности.

Список цитированных источников

1. Мешик, О. П. Оценка запасов воды в снеге, формирующих весенние половодья на реках Белорусского Полесья / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Природнае асяроддзе Палесся : асаблівасці і перспектывы развіцця / Мінск : Беларускае навук, 2022. – № 13. – С. 20–22.
2. Мешик, О. П. Роль снежного покрова в формировании весеннего половодья на реках Беларуси / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Мелиорация. – 2020. – № 4 (94). – С. 35–40.
3. Мешик, О. П. Запасы воды в снеге, формирующие весенние половодья на реках Белорусского Полесья / О. П. Мешик, В. А. Морозова, М. В. Борушко // Актуальные научно-технические и экологические проблемы мелиорации земель : материалы Международной научно-практической конференции, Горки, 11–12 марта 2021 г. / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Главное управление образования, науки и кадровой политики, Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия ; редкол.: В. В. Великанов (гл. ред.) [и др.]. – Горки : БГСХА, 2022. – С. 149–153.
4. Meshyk, A., Barushka, M. & Marozava, V. Snow as a contributor to spring flooding in Belarus. Environ Sci Pollut Res 28, 18826–18836 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09638-8>.
5. Мешик, О. П. Особенности оценки запасов воды в снеге и их пространственно-временной изменчивости на территории Беларуси / О. П. Мешик, В. А. Морозова // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, приуроченной к 1000-летию г. Бреста, 12–14 сентября 2019 г. : в 2 ч. / под ред. А. К. Карабанова [и др.]. – Брест : БрГУ, 2019. – Ч. 2 – С. 34–37.
6. Волчек, А. А. Оценка водного эквивалента снега по данным пассивного микроволнового сканирования земной поверхности с использованием искусственных нейронных сетей для территории Российской Федерации / А. А. Волчек, Д. А. Костюк, Д. О. Петров // Лёд и Снег. – 2016. – № 56(1). – С. 43–51. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2016-1-43-51>.
7. Петров, Д. О. Опыт прогнозирования весенних наводнений с использованием спутниковой информации о снеготаянии на речном водосборе / Д. О. Петров, А. А. Волчек, Д. А. Костюк // Водные ресурсы и климат : сборник материалов докладов V Международного Водного Форума / Белорусский государственный технологический университет. – Минск : БГТУ, 2017. – С. 197–201.

8. Пьянков, С. В. Моделирование снегонакопления и снеготаяния в бассейне р. Кама с применением данных глобальных моделей прогноза погоды / С. В. Пьянков, А. Н. Шихов, П. Г. Михайлюков // Лёд и Снег. – 2019. – № 59(4). – С. 494–508. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-4-423>.

9. Климатический кадастр Республики Беларусь. Метеорологический ежемесячник. – Минск : Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, 1979–2020 гг.

10. Group method of data handling - Wikipedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Group_method_of_data_handling. – Дата доступа: 14.11.2022.

11. Learning algorithms [GMDH Shell Documentation] (gmdhsoftware.com) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gmdhsoftware.com/docs/learning_algorithms. – Дата доступа: 14.11.2022.

УДК 631.459

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭРОДИРОВАННЫХ ПОЧВ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

О. П. Мешик¹, А. С. Протасевич²

¹ К. т. н., доцент, декан факультета инженерных систем и экологии
УО «Брестский государственный технический университет»,
Брест, Беларусь, e-mail : omeshyk@gmail.com

² Аспирант кафедры природообустройства, преподаватель-стажер кафедры
природообустройства Брестского государственного технического университета,
Брест, Беларусь, e-mail : protasevichnastua@gmail.com

Реферат

В работе рассмотрены факторы, определяющие возникновение эрозионных процессов почв на территории Беларуси. Анализируются методы расчета объемов смытой почвы и дефляционный потенциал ветра. Дана оценка распространения эрозионных процессов на территории республики. Выявлены площади, занимаемые эрозионно-опасными почвами.

Ключевые слова: почва, деградация земель, эрозионные процессы, земельные ресурсы, водная эрозия, ветровая эрозия.

THE CURRENT STATE OF THE ERODED SOILS ON THE TERRITORY OF BELARUS

A. P. Meshyk, A. S. Pratasevich

Abstract

The paper considers certain factors which determine the occurrence of soil erosion on the territory of Belarus. It presents an analysis of methods for calculating the volumes of washed away soil and the deflationary potential of the wind. The authors provide an assessment of the spread of erosion processes on the territory and reveal some transformations of the areas with erosion-hazardous soils.

Keywords: soil, land degradation, erosion processes, land resources, water erosion, wind erosion.

Введение

Почва является важной составляющей земельных ресурсов, а также значимым компонентом биосферы и одним из основных природных ресурсов, обуславливающих экономическое развитие общества. Земельные ресурсы входят в состав земельного фонда страны, который служит для осуществления хозяйственной деятельности человека, поэтому состояние земель и почв напрямую зависит от характера воздействия человека на них. Земля является всеобщим материальным благом, которое используется для ведения сельского и лесного хозяйств, отраслевых хозяйственных комплексов, инфраструктуры и т.д. Главной характеристикой земли, в том числе почвы, является ее плодородие, сохранение и рациональное использование является одним из главных направлений экологической политики [1, 2].

По данным Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь, по состоянию на 1 января 2022 года, площадь земель страны составляет 20762,8 тыс. га. Структура земельного фонда страны представлена на рисунке 1.

Структура земельного фонда Беларуси обусловлена социально-экономическими факторами. Основная часть площади страны занята сельскохозяйственными и лесными землями, на долю которых приходится 39,4 и 43 % территории страны соответственно [3].

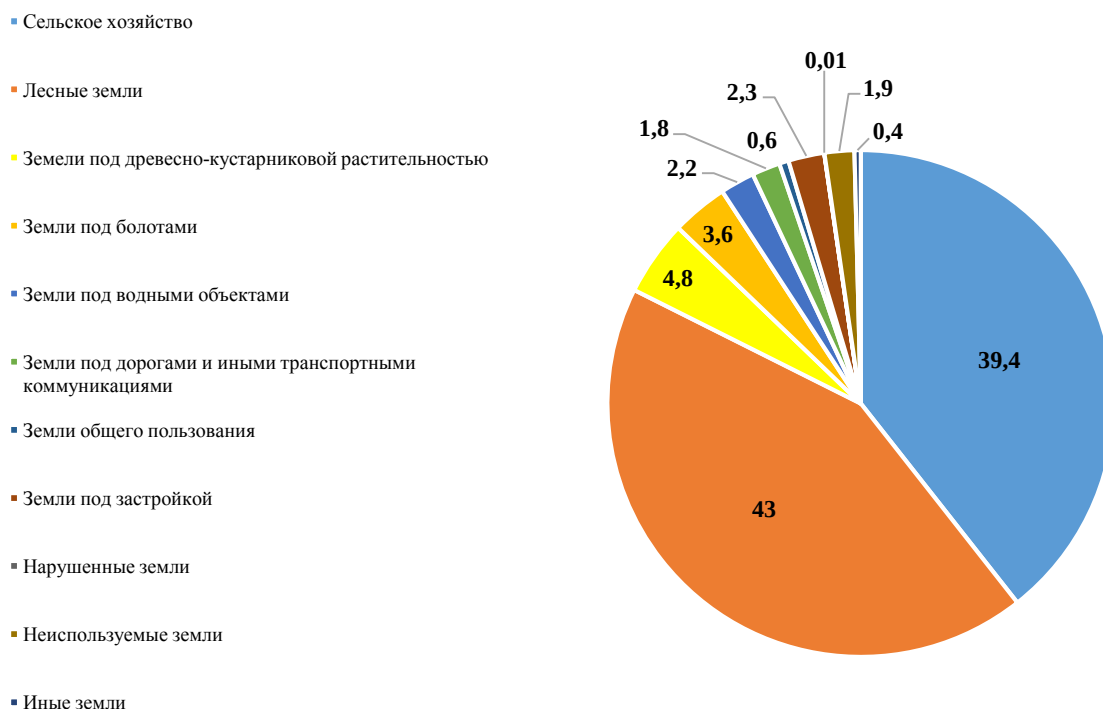


Рисунок 1 – Структура земельного фонда Республики Беларусь на 1 января 2022 года, %

На территории Республики Беларусь прослеживается тенденция сокращения площади сельскохозяйственных земель (рисунок 2). На рисунке 3 представлена динамика снижения площадей, занятых сельскохозяйственными угодьями по областям.

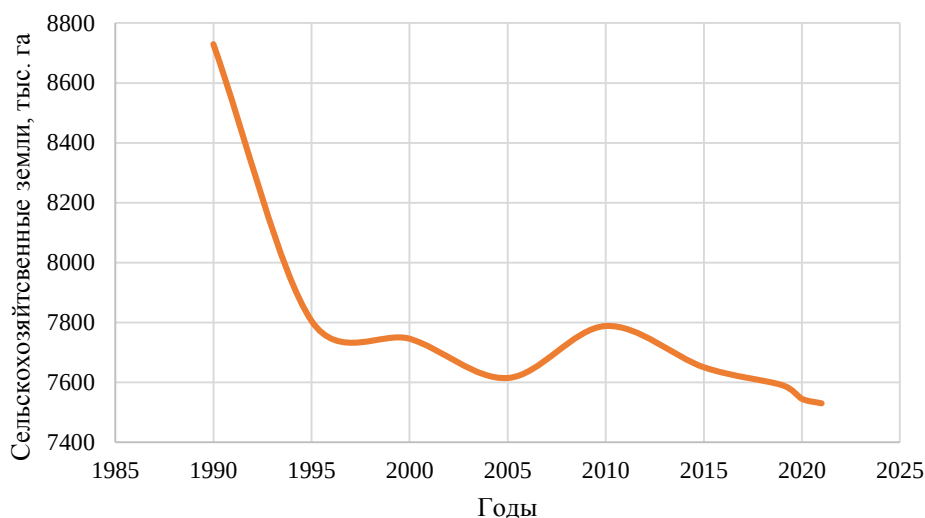


Рисунок 2 – Площадь сельскохозяйственных земель на территории Республики Беларусь, тыс. га

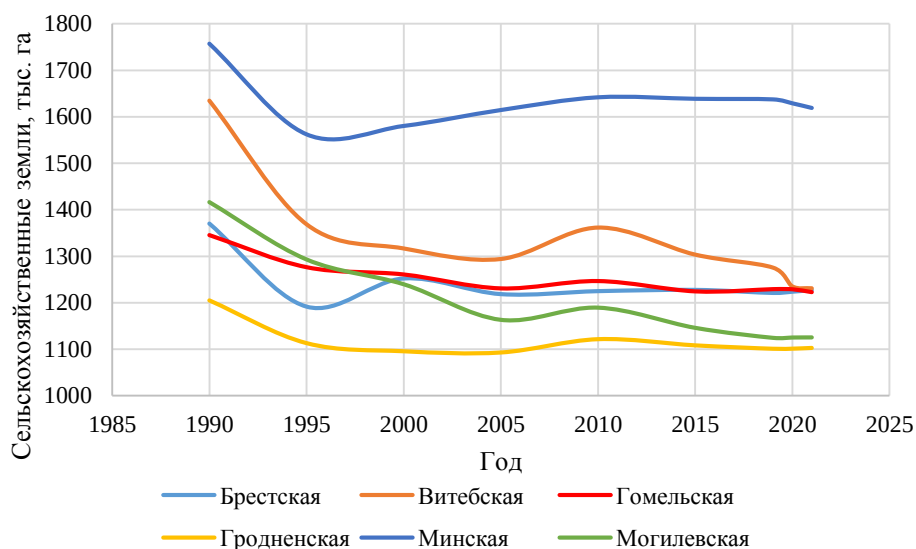


Рисунок 3 – Площади сельскохозяйственных земель в разрезе областей, тыс. га

Одной из основных причин снижения площадей сельскохозяйственных земель, а также наиболее актуальной проблемой экологии на территории Беларуси является деградация. Последствия деградации земель проявляется в изменении состояния почв, под воздействием антропогенных (нерациональное землепользование) и природных факторов. Этот процесс связан с ухудшением физических, биологических и химических факторов.

Для современной территории Республики Беларусь следует отметить следующие причины деградации земель: радиоактивное и химическое загрязнение, трансформация земель в результате добычи полезных ископаемых, эрозия почв, минерализация осушенных торфяных почв [4]. Из всех причин деградации земель на территории страны наиболее ярко выражена эрозия почвы.

Эрозионные процессы происходят в результате разрушения и переноса верхних слоев почвы, обладающих наиболее сильными плодородными свойствами.

Изучение и наблюдение за эрозией на территории Беларуси напрямую связано с началом крупномасштабного картографирования почв сельскохозяйственных угодий в начале 60-х годов XX века. Наибольший масштаб работ по изучению эрозии почв и разработке методики их картографирования был в 1963 году, когда в Белорусском НИИ почвоведения и агрохимии был создан отдел эрозии почв [5]. При картографировании территории Беларуси было выделено семь основных категорий земель: 1) неэродированные; 2) эрозионно-опасные; 3) слабоэродированные; 4) среднеэродированные; 5) сильноэродированные; 6) очень сильноэродированные; 7) непригодные для сельскохозяйственного использования [6].

Изучение процессов эрозии, причины и последствия ее возникновения, мероприятия по ее предотвращению имеют большую значимость в различных секторах экономики, одним из которых и является сельское хозяйство. В последние десятилетие значительный вклад в развитие изучения и организации природоохранных мероприятий на почвах, подверженных интенсивному сельскохозяйственному использованию внесли работы ученых – Н.И. Смеяна, Г.М. Мороза, Л.И. Шибута, А.Ф. Черныша, Д.С. Булгакова, В.В. Лапа и др. [7–9].

По характеру протекания и интенсивности воздействия на земную поверхность эрозию принято делить на геологическую (нормальную) и поверхностную (ускоренную). Геологическая эрозия характеризуется общими процессами, протекающими в земной коре и на ее поверхности, и сама участвует в формировании рельефа и гидрографической сети, то есть основных факторов, обеспечивающих в дальнейшем развитии всех видов современной эрозии. Современная эрозия является результатом процесса разрушения почв и подстилающих их пород, протекание которых ускоренно современной хозяйственной и сельскохозяйственной деятельностью человека. При эрозии почва теряет частицы грунта и как следствие меняет свой химический состав. В эродированных почвах уменьшается в несколько раз количество важнейших химических элементов таких как: гумус, фосфор, азот. Среди современной эрозии выделяют антропогенную эрозию, которая происходит в результате непосредственно хозяйственной деятельности человека.

На территории Республики Беларусь преобладают два вида эрозии почв: водная и ветровая (дефляция). Согласно почвенно-экологическому районированию, выполненному в Институте почвоведения и агрохимии, на территории Беларуси можно выделить три почвенно-экологические провинции: северную (преимущественно проявляется водная эрозия), центральную (наблюдается проявление водной эрозии и частично ветровая эрозия) и южную (преимущественно ветровая эрозия) [10]. Также в настоящее время по данным Института, площадь занимаемая эродированными и эрозионных опасных почв на сельскохозяйственных землях составляет около 4 млн. га, из них приблизительно 556,5 тыс. га подвергнуто водной и ветровой эрозии. Доля водной эрозии составляет 84 %, на ветровую эрозию приходится 16 %. Распределение эрозии по областям представлено в таблице 1 [11].

Эрозии в мире подвергнуты почвы общей площадью 1,643 млрд. га. Площадь распространения водной эрозии составляет 1 094 млн. га, а на долю ветровой приходится 549 млн. га [12].

Таблица 1 – Эродированность почв по областям

Область	Площадь эродированных земель, тыс. га		
	Всего	ветровая	водная
Брестская	50,9	11,5	39,4
Витебская	121,1	4,2	116,9
Гомельская	33,7	21,8	11,9
Гродненская	107,1	21,5	85,7
Минская	130,6	21,4	109,2
Могилевская	113,0	2,7	110,3
Республика Беларусь	556,5	83,2	473,3

Таким образом на основании данных, приведенных в таблице 1, можно сделать вывод, что проявление ветровой эрозии наиболее характерно для Белорусского Полесья, а проявление водной эрозии на территории Северной и Центральной части страны. Причиной является мелиорированные земли, подверженные интенсивному использованию сельским хозяйством, а также слабая низкая противодефляционная устойчивость почв.

На рисунках 4 и 5 представлено распределение площадей, подверженных водной и ветровой эрозией по областям Беларуси соответственно.



Рисунок 4 – Распределение площадей, подверженных водной эрозии на территории Беларуси, %

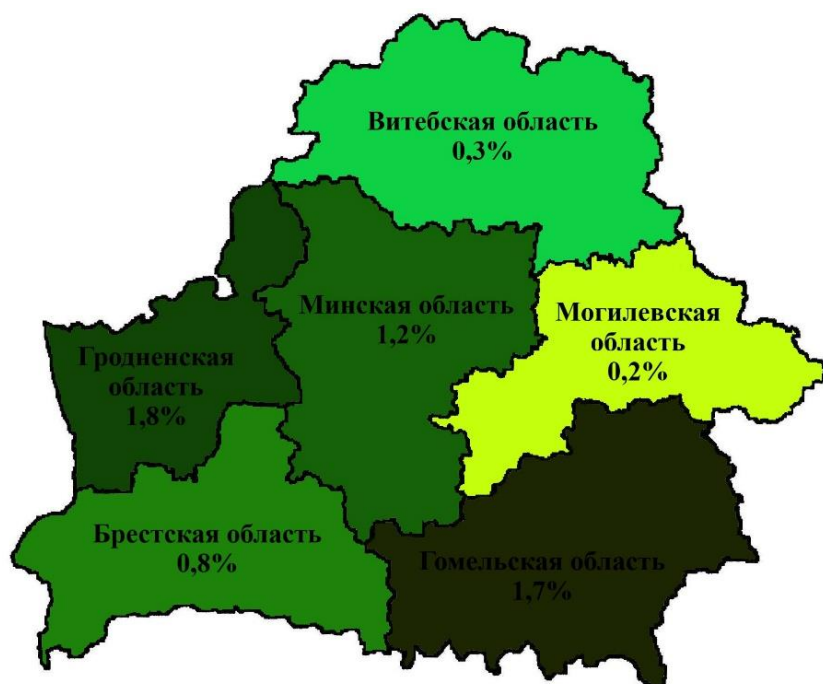


Рисунок 5 – Распределение площадей, подверженных ветровой эрозии на территории Беларуси, %

Материалы и методы

Объектом исследования являются почвы территории Республики Беларусь. В работе использованы официальные данные Национальной системы Мониторинга земель (почв) [13], климатического мониторинга, Реестра земельных ресурсов Республики Беларусь [3]. Данные характеризуют площади земель, скорость и повторяемость ветра.

Предметом исследования являются эрозионные процессы, происходящие на территории Беларуси.

Основная часть

В Белорусском Поозерье и Центральной Беларуси, где ярко выражен холмистый рельеф и преобладают почвы связанного гранулометрического состава, наиболее активно проявляются водно-эрозионные процессы. Эрозия развивается в условиях мелко- и среднехолмистого рельефа на почвах, сформированных на моренных почвообразующих породах. В Центральной части эрозионные процессы формируются на лессовидных и лессовых породах, приуроченных к крупнохолмистым формам рельефа.

Водная эрозия происходит в результате неурегулированности поверхностного стока дождевых и талых вод и начинает проявляться при уклоне 1° . Водная эрозия подразделяется на два вида: поверхностную или плоскостную, и линейную или овражную.

Плоскостная эрозия, процесс протекающей в условиях сглаженных однородных склонов, при равномерном слое стекании воды. Равномерный смыв почвы осуществляется со всей эродированной поверхности, что существенно влияет на уменьшение мощности перегнойного горизонта и в целом на состояние почвы. При регулярном развитии плоскостной эрозии она постепенно переходит в следующую стадию: струйчатую или ручейковую. Струйчатая эрозия

характеризуется формированием стока в виде ручейков, в результате которых образуются ручейковые размывы, достигающие глубину до 20-30 см. По степени плоскостного смыва подразделяют почвы на пять групп: слабосмытые, среднесмытые, сильносмытые, весьма сильносмытые, намытые [15].

Объем смытой почвы зависит от ряда факторов, таких как: крутизна склона (i); водопроницаемость почв; состояние поверхности; продолжительность воздействия атмосферных осадков талых вод. Таким образом можно вышесказанное можно преобразовать в формулу:

$$V_d = 17,59 + 5,62 * i, \text{ м}^3/\text{га} \quad (1)$$

где V_d – объем смытой почвы;
 i – уклон склона, град.

Наибольшая величина смыва почвы в Беларуси наблюдается преимущественно весной, когда оттаявшая почва, перенасыщенная влагой, залегает на еще мерзлом непроницаемом для воды слое. При этих условиях почва легко подвергается эрозии даже при небольшом количестве воды. Формула (1) получена нами по эмпирическим данным и характеризует максимально возможный объем смытой почвы за период весеннего снеготаяния.

На территории Белорусского Полесья, где преобладают мелиорированные и прилегающие к ним земли плоских водно-ледниковых и древнеаллювиальных равнин, а также преобладают почвы легкого гранулометрического состава с хорошей водопроницаемостью и осушенные торфяные почвы, характеризуются наиболее интенсивным изменением почв и почвенного покрова. На таких участках трансформация почвенного покрова обусловлена снижением уровня грунтовых вод, изменением баланса питательных веществ, усиление выноса элементов питания из верхних горизонтов и развитием ветровой эрозии.

В результате ветровой эрозии (дефляции) происходит выдувание, перенос мелких частиц почвы ветром на большие расстояния. Дефляция проявляется в виде пыльных (черных) бурь или повседневной (местной) эрозией. Для территории Беларуси наиболее характерен вид местной эрозии.

Отличительные черты, ветровой эрозии следующие: проявление на различных формах рельефа независимо от уклона местности; возможность переноса материала не только сверху вниз, но и наоборот; протекание эрозии как летом, так и в зимнее время, когда ветры сдувают со склонов снег, а затем подсохший верхний слой почвы.

К факторам, влияющим на интенсивность ветровой эрозии, относят: тип почвы (наиболее подвержены почвы, сформированные на сыпучем песке и лёссах); рельеф (большие ровные пространства способствуют развитию ветровой эрозии); отсутствие растительного покрова; непрерывная вырубка кустарников и лесных угодий.

Развитие дефляционных процессов зависит от целого ряда факторов, среди которых важное место занимают особенности ветрового режима в пределах исследуемой территории [14]. Учитываются они посредством расчета интегрального показателя – дефляционный потенциал ветра (ДПВ) D . Наибольшее значения дефляционного потенциала происходит при скорости ветра 3-5 м/с [16].

$$D = \frac{U - U_0}{U_{кр} - U_0} \quad (2)$$

где U , $U_{кр}$ – заданная и критическая скорость ветра (м/с);
 U_0 – пороговая скорость ветра.

Также важным фактором развития ветровой эрозии является шероховатость подстилающей поверхности, от которой напрямую зависит ветровой режим территории.

Территория Республики Беларусь по особенностям рельефа разделена на четыре типа, каждый из которых характеризуется своими элементами шероховатости и может быть отнесен к определенному классу.

Классу 0 (поверхность воды) соответствует поверхности водохранилищ и озер; размер шероховатости $z_0 = 0,0002$ м (рисунок 6)



Рисунок 6 – Пример территории шероховатости класса 0

Классу 1 соответствуют открытые области с небольшими лесозащитными полосами (равнины или небольшие холмы). Могут быть фермерские постройки, отдельно стоящие деревья или кустарники. Размер шероховатости $z_0 = 0,03$ м (рисунок 7).



Рисунок 7 – Пример территории шероховатости класса 1

Классу 2 соответствуют территории хозяйственных земель с небольшими лесозащитными полосами, среднее расстояние между которыми составляет 1000 м, с разбросанными областями построек. Территория характеризуется большими открытыми областями между лесозащитными полосами, придающими ландшафту открытый внешний вид. Территория может быть ровной или слегка холмистой, на ней может быть множество деревьев и зданий. Размер шероховатости $z_0 = 0,10$ м (рисунок 8).



Рисунок 8 – Пример территории шероховатости класса 2

Классу 3 соответствуют территории с городскими застройками, лесом или сельскохозяйственные земли с многочисленными лесозащитными полосами. Сельскохозяйственные угодья характеризуются многочисленными близкорасположенными лесозащитными полосами, среднее расстояние между которыми составляет несколько сотен метров. Леса и городские застройки также принадлежат к этому классу. Размер шероховатости составляет $z_0 = 0,40$ м (рисунок 9) [17].



Рисунок 9 – Пример территории шероховатости класса 3

На рисунке 10 представлено распределение среднегодовых скоростей ветра на территории Беларуси. Наибольшим дефляционным потенциалом обладает западная и восточная части Беларуси. Именно в этих районах среднегодовые скорости ветра превышают 3,0 м/с. Однако как уже было сказано выше необходимо учитывать шероховатость подстилающей земной поверхности (рисунки 6-9).

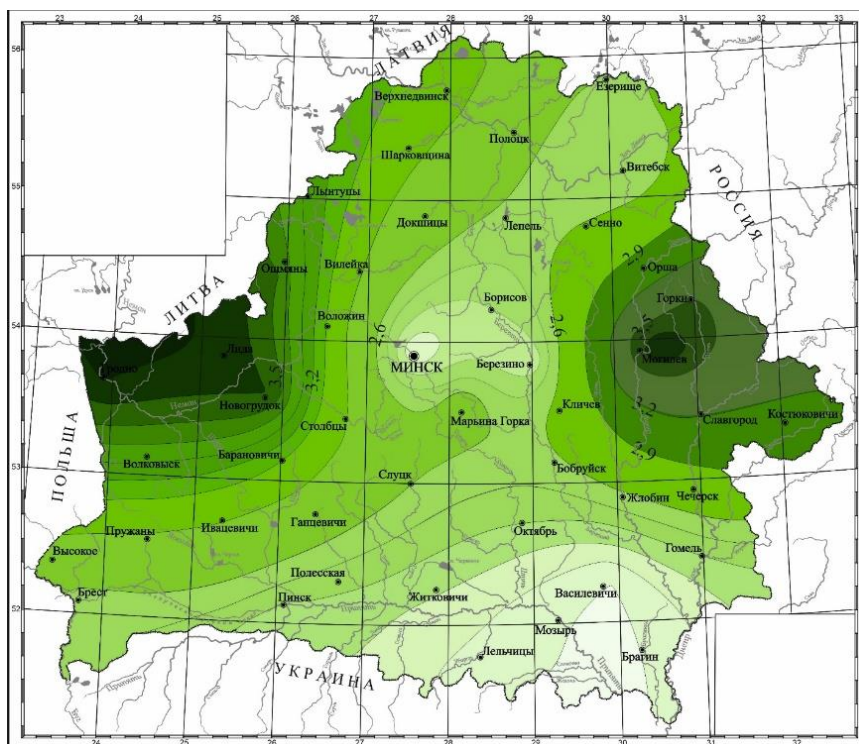


Рисунок 10 – Распределение среднегодовых скоростей ветра на территории Беларуси, м/с

Анализ полученной карты (рисунок 10) показал следующие особенности пространственного распределения скоростей ветра по территории Беларуси. Среднегодовая скорость увеличивается с юго-востока к центру Беларуси (от 2,1 м/с до 2,7 м/с) и от центра идет на спад в северо-восточном направлении (от 2,7 м/с до 2,4 м/с), а с запада и востока страны идет уменьшение скоростей ветра к центру страны (от 3,7 м/с до 2,2 м/с). 5. Территорию Беларуси условно можно разделить на две ветровые зоны, границы которых должны уточняться в ходе расчетов параметров ветровой эрозии конкретных почв, занятых определенными сельскохозяйственными культурами, в т.ч. дифференцированно по периодам года, в которые поверхность освобождается от культурной растительности.

Заключение

Для предотвращения развития водной и ветровой эрозии необходима разработка почвозащитного комплекса по борьбе с ними, который решит задачи по созданию водо- и ветроустойчивой поверхности почвы и накопления в ней влаги, уменьшения скоростей ветра в приземном слое воздуха. Он также будет включать агротехнические (введение специальных почвозащитных севооборотов, применение системы безотвальной обработки почвы), лесомелиоративные

мероприятия, полосное размещение культур, экологическую реабилитацию территорий подверженных эрозии.

Список цитированных источников

1. Белых, Е. С. Деградация земель в Республике Беларусь / Е. С. Белых, Ю. А. Королькова // Культура и экология - основы устойчивого развития России. Человеческий капитал как ключевой ресурс зеленой экономики : материалы Международного форума, Екатеринбург, 13-16 апреля 2018 г. - Екатеринбург: УрФУ, 2018. - Ч. 1. - С. 155-158.
2. Мележ, Т.А. Геоэкологическое состояние земельных ресурсов на территории Беларуси в разрезе областей / Т.А. Мележ // Географические аспекты устойчивого развития регионов [Электронный ресурс] : II международная научно-практическая конференция (Гомель, 23-24 марта 2017 г.) : [материалы]. - Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2017. - С. 339-343.
3. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь (по состоянию на 1 января 2022 года). – Минск : Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь, 2022. – 57 с.
4. Шкредова, В. В. К вопросу деградации земель на территории Беларуси / В. В. Шкредова // Научный поиск молодежи XXI века: сборник научных статей по материалам XV Международной научной конференции студентов и магистрантов / редкол.: П. А. Саскевич (гл. ред.) [и др.]. – Горки : БГСХА, 2015. – Ч. 4. – С. 176-179.
5. Шибут, Л. И. Исторические аспекты картографирования эродированных почв и создания почвенно-эрозионной карты Беларуси / Л. И. Шибут, Н. Н. Цыбулько, Т. Н. Азаренко // Почвоведение и агрохимия. – 2020. № 1. С. 37-45.
6. Комлева, С. М. Региональные особенности и специальные вопросы землеустройства : учебно-методическое пособие / С. М. Комлева, С. З. Мастеров. – Горки : БГСХА, 2019. – 156 с.
7. Черныш, А. Ф. Оценка факторов формирования эрозионных процессов в целях планирования и адаптации противоэрозионных комплексов к почвенно-экологическим условиям Беларуси / А. Ф. Черныш, А. Э. Радюк // Почвоведение и агрохимия. – 2009. – № 43. – С. 23–31.
8. Смеян, Н. И. Почвы и структура посевных площадей / Н. И. Смеян. – Минск, 1990. – 150 с.
9. Мороз, Г. М. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель сельскохозяйственных организаций и крестьянских (фермерских) хозяйств: методика, технология, практика / Г. М. Мороз, В. В. Лапа, С. В. Дробыш. – Минск, 2017. – 208 с.
10. Черныш, А. Ф. Принципы экологического нормирования допустимой антропогенной нагрузки на почвенный покров агроландшафтов Беларуси // А. Ф. Черныш, А. Н. Червань, Ю. П. Качков // Научный журнал «Почвоведение и агрохимия». – 2013. №1(50). С. 26-41.
11. Романовская, А. О. Современные методы мониторинга ветровой эрозии почв // А. О. Романовская, И. Ю. Савин // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 104. – С. 110-157.
12. Global Assessment of Human-induced Soil Degradation (GLASOD) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Global Assessment of Human-induced Soil Degradation (GLASOD) (isric.org). – Дата доступа 17.11.2022.
13. Мониторинг земель (почв). – Минск : Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь, 2021 г.
14. Мешик, О. П. Экологические аспекты развития ветроэнергетики на территории Республики Беларусь / О. П. Мешик, М. В. Борушко, В. А. Морозова, К. О. Мешик, А. С. Протасевич // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. трудов V Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию кафедры природообстройки, Брест, 26-28 октября 2022 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест : БрГТУ, 2022. – Ч. II. – 129-138.
15. Тишкович, О. В. Эколого-экономическая оценка ущерба от водной эрозии почв сельскохозяйственных земель административных районов Беларуси / О. В. Тишкович, В. М. Яцухно // Вестник БГСХА : науч.-метод. журн. - 2020. - №3. - С. 212-216.
16. Черныш, А. Ф. Прогноз интенсивности выдувания почвы на землях Белорусского Полесья // А. Ф. Черныш, Н. А. Лихацевич // Научный журнал «Почвоведение и агрохимия». – 2013. №1(50). С. 80-89.

17. Порядок оценки ветроэнергетического потенциала при размещении ветроэнергетических установок на территории Республики Беларусь=Парадак ацэнкі ветраэнергетычнага патэнцыяла пры размяшчэнні ветраэнергетычных устаноў на тэрыторыі Рэспублікі Беларусь : ТКП 17.10-39-2012 (02120). – Введ. 01.07.2012. – Минск : Республиканский гидрометеорологический центр, 2012. – 15 с.

УДК 639.3.043.13

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПРОТЕИНА В КАЧЕСТВЕ ЧАСТИЧНОГО ЗАМЕНИТЕЛЯ РЫБНОЙ МУКИ ДЛЯ ЛОСОСЁВЫХ КОМБИКОРМОВ

В. В. Шумак¹, Ю. А. Ярмошевич²

¹ *Доктор сельскохозяйственных наук, доцент, декан инженерного факультета,
УО «Полесский государственный университет», Пинск, Беларусь,
e-mail : vshumak@yandex.ru*

² *Аспирант кафедры технологий аквакультуры, УО «Полесский
государственный университет», Пинск, Беларусь, e-mail : himikat.rus10@mail.ru*

Реферат

В условиях современной аквакультуры при высокой концентрации рыб в выростных емкостях, когда роль естественной пищи практически сводится к нулю, резко возрастают требования к полноценности применяемых комбикормов. Основным принципом выбора рецептуры комбикормов становится их способность к наиболее полному удовлетворению пищевых потребностей рыб. Физиологические принципы кормления требуют, чтобы комбикорма содержали все без исключения компоненты питания, необходимые для нормального роста и развития организма в достаточных количествах и соотношениях.

Ключевые слова: аквакультура, аминокислотный баланс, комбикорм, лососёвые, протеин, рационы питания.

PROSPECTIVE SOURCES OF PROTEIN AS A PARTIAL SUBSTITUTE OF FISH MEAL FOR SALMON COMPOUND FEED

V. V. Shumak, U. A. Yarmoshevich

Abstract

In the conditions of modern aquaculture, with a high concentration of fish in rearing tanks, when the role of natural food is practically reduced to zero, the requirements for the usefulness of the feed used are sharply increased. The main principle of choosing the compound feed formulation is their ability to meet the nutritional needs of fish to the fullest extent. The physiological principles of feeding require that the compound feed contain all the nutritional components, without exception, necessary for the normal growth and development of the body in sufficient quantities and ratios.

Keywords: aquaculture, amino acid balance, compound food, diets, protein, salmon.

Основная часть

В процессе обмена веществ особое место отводится протеину - основной составной части живой материи. Говоря о пищевой ценности белков, следует иметь в виду их аминокислотный состав. Общими для всех белков растительного и животного происхождения являются более 20 аминокислот, однако биологическая ценность белка определяется наличием в нем незаменимых аминокислот, то есть тех, синтез которых в организме не происходит, или идет недостаточно быстро для удовлетворения потребности организма.

Многочисленными исследованиями установлено, что белки не откладываются в запас в отличие от липидов, поэтому качество белков в составе комбикормов для рыб должно быть высокое, особенно для лососёвых. Организм для питания использует не сам белок, а его структурные элементы — аминокислоты. В состав комбикормов, как правило, входят белки животного и растительного происхождения. Для нормальной жизнедеятельности рыб в корме должен находиться комплекс питательных веществ в определенном количестве и соотношении. Потребность рыб в структурных элементах питания не остается постоянной, она изменяется в зависимости от возраста, размера, половой зрелости, гидрохимических показателей и температуры воды, а также от качественных особенностей самих питательных веществ корма. Потребность рыб в белке значительно выше, чем у теплокровных животных. Однако по использованию протеина и энергии корма на прирост биомассы рыбы выгодно отличаются от других сельскохозяйственных животных. Оптимальный уровень протеина в кормах для молоди лососевых рыб был установлен в пределах 45-55%, для взрослых особей - 35-45%. При использовании полноценных комбикормов, представленных в гранулированном виде, на 1 кг прироста рыб требуется 550-650 г сухого протеина.

Аминокислотный профиль таких белков различен по содержанию аминокислот, поэтому состав комбикорма должен быть сбалансирован таким образом, чтобы удовлетворить потребность рыб. Белки, как животного, так и растительного происхождения, состоят из 20 аминокислот, десять из них незаменимые (лизин, аргинин, гистидин, треонин, лейцин, изолейцин, валин, метионин, триптофан и фенилаланин). Установлено, что при недостатке заменимых аминокислот незаменимые могут расходоваться на их синтез в организме. Так, при недостатке цистеина на его синтез расходуется метионин, а при недостатке тирозина — фенилаланин [3]. Недостаток незаменимых аминокислот при кормлении приводит к повышенному потреблению белка, то есть к увеличению затрат корма на единицу прироста рыбы.

В то же время наличие тех или иных аминокислот не означает, что они будут хорошо усваиваться. Аминокислоты могут находиться в трудноусвояемой форме для организма рыб, в первую очередь из-за их пространственного строения (D-, L-изомеры) и т.п. [6].

Проблема с обеспеченностью сырьем комбикормового производства в Беларуси стоит чрезвычайно остро. Это вызвано в первую очередь высокой стоимостью рыбной муки, а в последующем и ее дефицитом. Низкое качество ряда традиционных компонентов способствовало активизации исследований в области поиска альтернативных заменителей и обогащению кормов биологически

активными добавками. Большинство вопросов, изученных учеными в этом направлении ранее, остаются актуальными и в настоящее время. Однако с развитием технологий переработки сырья перечень возможных компонентов для производства рыбных кормов постоянно обновляется. Оптимальный уровень сырого протеина в кормах зависит от качества источников белка и предполагаемых норм кормления. Предпринимаемые попытки использовать при выращивании лососёвых рыб дешёвые растительные рационы терпели и терпят неудачу [4]. Состав растительного белка значительно отличается от животного. В связи с этим при вводе большого количества растительных компонентов необходимо тщательно контролировать аминокислотный состав [7].

При этом дисбаланс соотношения растительного и животного протеина при соблюдении всех остальных показателей (питательной ценности сырья и комбикорма, условий кормления, сбалансированности аминокислотного состава) приводит к нарушению обменных процессов в организме форели, в первую очередь нарушается функция печени, что негативно сказывается на жизнеспособности рыбы. В связи с этим при составлении рецептур комбикормов необходимо контролировать соотношение растительного и животного протеина.

Нетрадиционные кормовые компоненты в составе комбикормов. Поиском заменителей рыбной муки как основного белкового компонента занялись ещё в 70-е годы в СССР. Одним из передовых является опыт использования в качестве такого компонента молочно-белковый концентрат (МБК) и биомассу водородоокисляющих бактерий (БВБ), разработанный Е.А. Гамыгиным и А.Н. Канидьевым.

Молочно-белковый концентрат представляет собой высокобелковый на основе казеина продукт, богатый незаменимыми аминокислотами. После первого месяца выращивания лучший результат показал корм с МБК – прирост массы рыб составил на 13% выше, чем без него, однако, к концу второго месяца исследований результаты изменились в худшую сторону.

Известно, что БВБ в виде сухих порошков отличается высоким уровнем протеина, до 80% в составе и достаточно благоприятным сочетанием незаменимых аминокислот, однако, при довольно высоком содержании аргинина, лизина и фенилаланина, относительно бедны метионином и триптофаном, что ограничивает возможность включения их в больших количествах в комбикорма для лососёвых. Из данных Е.А. Гамыгина и А.Н. Канидьева, рыбы получающие в рационе питания БВБ увеличили свой прирост на 24% и практически на 10% позволили уменьшить затраты корма. Однако с ростом рыбы, положительный эффект от использования БВБ уменьшался от месяца к месяцу, экспериментально было установлено, что наилучшим образом БВБ проявляет себя при кормлении молоди лососёвых рыб.

Параллельно с этим велись эксперименты по замещению дорогой рыбной муки и другими нетрадиционными белковыми компонентами. Так на базе лаборатории кормов РУП «Институт рыбного хозяйства» для исследований возможности замены рыбной муки использовали протеиновую муку – биотехнологического производства и соевую муку обезжиренную [4].

Анализ экспериментальных данных показал, что протеиновую муку можно использовать в составе комбикормов для лососевых рыб в количестве 5–10%, дезодорированную необезжиренную соевую муку в количестве 5–13%.

Заключение

Актуальным остаётся вопрос по поводу частичной или полной замены дорогостоящей рыбной муки на более дешёвые компоненты и аналоги, которые еще позволят заменить 60-70 % рыбной муки.

Список цитированных источников

1. Сергеева, Т. Н. Питательная ценность компонентов животного происхождения для радужной форели / Т. Н. Сергеева, Н. П. Нефедова // Вопросы физиологии и биохимии питания рыб : сб. научн. трудов. — М., 1987. — Вып. 52. — С. 34–44.
2. Щербина, М. А. Кормление рыб в пресноводной аквакультуре / М. А. Щербина, Е. А. Гамыгин. — М. : ВНИРО, 2006. — 360 с.
3. Канидьев А.Н., Гамыгин ЕА. Первый поливитаминный премикс отечественного производства для форели // Рыбное хоз-во, 1976, № 11, с. 12- 14.
4. Гамыгин ЕА., Канидьев А.Н. О возможности замены протеина животного происхождения растительным в кормах для мальков-сеголетков радужной форели // Сб.научн, тр. ВНИИПРХ. Биотехника индустриального рыбоводства, 1975, вып. 14, с.129-141.
5. Складов В.Я. Корма и кормление рыб в аквакультуре / В.Я. Складов. — М.: Изд-во ВНИРО, 2008. - 150 с.
6. Goddard, S. Feed management in intensive aquaculture / S. Goddard. — New-York : Chapman & Hall, 1996. — 193 p.
7. Philips, A. M. Trout feed and feeding / A. M. Philips // Manual of Fish Culture. — Part 3 management. — Sec. B. — Hatchery operations. — Ch. 5. — 1970. — 49 p.

Научное издание

**«Перспективные направления инновационного
развития и подготовки кадров» :
международная научно-практическая конференция**
ЧАСТЬ 1

*Текст печатается в авторской редакции,
орфографии и пунктуации*

Ответственный за выпуск: Зазерская В. В.

Редактор: Митлошук М. А.

Компьютерная верстка: Соколюк А. П.

Издательство БрГТУ.

Свидетельство о государственной регистрации

издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/235 от 24.03.2014 г., № 3/1569 от 16.10.2017 г.

Подписано в печать 20.12.2022 г. Формат 60х84 ¹/₁₆.

Бумага «Performer». Гарнитура «Times New Roman».

Усл. печ. л. 15,07. Уч. изд. л. 15,13. Заказ № 1541. Тираж 100 экз.

Изготовлено и отпечатано в учреждении образования
«Брестский государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

ISBN 978-985-493-605-5



9 789854

936055