

# ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

## WATER RESOURCES

### ВОДНЫЯ РЭСУРСЫ

ISSN 1810-9810 (Print)  
УДК 504.453/556.53

**В. Н. Корнеев, И. А. Булак, А. О. Русина**

*Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов,  
Минск, Беларусь, e-mail: i\_bulak@tut.by, kvn@cricuwr.by, nastena\_rusina@mail.ru*

### ОЦЕНКА ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УЧАСТКОВ РЕК В БАСЕЙНЕ НЕМАНА, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД РИСКОМ ЗАМОРНЫХ ЯВЛЕНИЙ

**Аннотация.** Проведен анализ методических подходов по определению участков рек, находящихся под риском заморных явлений по гидроморфологическим показателям; определен предварительный перечень участков рек в бассейне Немана, находящихся под возможным риском заморных явлений; проведены экспедиционные исследования гидроморфологических показателей участков рек в летне-осенний период с уточнением перечня участков и их характерных створов; разработаны предложения по местоположению створов для установки автоматических гидрохимических станций (АГХС) на реках в бассейне Немана.

**Ключевые слова:** заморные явления, водохранилище, гидрологический режим, методические подходы, гидроморфологические, гидрохимические и гидробиологические показатели, гидрометрические измерения, скоростной и кислородный режимы, точечные и рассредоточенные (диффузные) источники загрязнений

**V. N. Korneev, I. A. Bulak, A. O. Rusina**

*Central Research Institute for Complex Use of Water Resources, Minsk, Belarus,  
e-mail: i\_bulak@tut.by, kvn@cricuwr.by, nastena\_rusina@mail.ru*

### ASSESSMENT OF HYDROMORPHOLOGICAL INDICATORS OF RIVERS IN THE NEMAN RIVER BASIN THAT ARE AT RISK OF FISH KILL

**Abstract.** The analysis of methodological approaches was carried out to determine the sections of rivers that are at risk of fish kill phenomena, according to hydromorphological indicators; a preliminary list of sections of rivers in the Neman river basin, which are under the possible risk of fish kill phenomena, has been determined; expeditionary studies of hydromorphological indicators of river sections in the summer-autumn period were carried out with the specification of the list of sections and their characteristic cross-sections; proposals were developed for the location of sites for the installation of automatic hydrochemical stations (AHCS) on rivers in the Neman river basin.

**Keywords:** fish kill phenomena, reservoir, hydrological regime, methodological approaches, hydromorphological indicators, hydrochemical indicators, hydrobiological indicators, hydrometric measurements, flow-velocity regime, oxygen regime, point sources of pollution, dispersed (diffuse) sources of pollution

**У. М. Карнееў, І. А. Булак, А. А. Русіна**

*Цэнтральны навукова-даследчы інстытут комплекснага выкарыстання водных рэсурсаў,  
Мінск, Беларусь, e-mail: kvn@cricuwr.by, i\_bulak@tut.by, nastena\_rusina@mail.ru*

### АЦЭНКА ГІДРАМАРФАЛАГІЧНЫХ ПАКАЗЧЫКАЎ УЧАСТКАЎ РЭК У БАСЕЙНЕ НЁМАНА, ЯКІЯ ЗНАХОДЗЯЦЦА ПАД РЫЗЫКАЙ ЗАМОРНЫХ З'ЯЎ

**Анотацыя.** Праведзены аналіз метадычных падыходаў па вызначэнні участкаў рэк, якія знаходзяцца пад рызыкай заморных з'яў па гідрамарфалагічных паказчыках; вызначаны папярэдні пералік участкаў рэк у басейне Нёмана, якія знаходзяцца пад магчымай рызыкай заморных з'яў; праведзены экспедыцыйныя даследаванні гідрамарфалагічных паказчыкаў участкаў рэк у летне-асенні перыяд з удакладненнем пераліку участкаў і іх характэрных створаў; распрацаваны прапановы па месцазнаходжанні створаў для ўстаноўкі аўтаматычных гідрахімічных станцый (АГХС) на рэках у басейне Нёмана.

**Ключавыя словы:** заморныя з'явы, вадасховішча, гідралагічны рэжым, метадычныя падыходы, гідрамарфалагічныя, гідрахімічныя і гідрабіялагічныя паказчыкі, гідраметрычныя вымярэнні, хуткасны і кіслародны рэжымы, кропкавыя і разгрупаваныя (дыфузныя) крыніцы забруджванняў

**Введение.** На водотоках Республики Беларусь происходят заморные явления, сопровождающиеся массовой гибелью рыбы. В том числе эти явления эпизодически происходят в бассейне Немана. В дальнейшем стоит ожидать усиления данного процесса с учетом влияния изменения климата на

водные ресурсы. По информации Гродненского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды за период с 2013 по 2020 г. выявлено 42 случая возникновения пред- и заморных явлений, из которых в 11 случаях установлены факты гибели рыбы на 9 водных объектах. К наиболее значимым относятся случаи заморы на реках: Неман в 2013 и 2020 гг. и Берестовичанка в 2020 г.

Проведенный анализ произошедших за период с 2005 по 2020 г. в бассейне Немана заморы рыбы показал, что в основном до размещения водохранилища Гродненской ГЭС и до ее ввода в эксплуатацию заморы преимущественно были в Минской области. Они происходили вследствие высокой концентрации загрязняющих веществ на водотоках Минской области из-за наличия различного рода производственных предприятий и особенностей гидроморфологических показателей принимающих водотоков, включая невысокую разбавляющую способность этих водотоков – притоков Немана. Однако в связи со строительством на Немане в Гродненской области водохранилища Гродненской ГЭС, то заморы стали происходить как на самой реке, так и на ее притоках, на участке влияния данного водохранилища.

Заморные явления происходят вследствие ухудшения гидроморфологических показателей, связанных с нарушением непрерывности потока, изменением условий проточности за счет значительного уменьшения скорости течения в связи с размещением плотины ГЭС. Причинами заморных явлений могут выступать антропогенные источники (сброс загрязненных сточных вод в водные объекты, попадание химических удобрений с близлежащих полей при интенсивных дождях и др.), природные явления (высокая температура, вследствие чего активизируются процессы разложения органических веществ, приводящие к резкому снижению кислорода в воде, резкое снижение уровня воды и др.), а также комплексное воздействие антропогенных и природных факторов.

Одним из наиболее значимых факторов, обеспечивающих нормальную жизнедеятельность рыб в водоемах/водотоках, является концентрация в воде растворенного кислорода. Чаще всего заморы рыбы происходит вследствие недостатка кислорода. Его содержание в летний период должно быть не менее 6,0 мг  $O_2/дм^3$ , в подледный период – не менее 4,0 мг  $O_2/дм^3$  (для лососе- и осетрообразных эти показатели еще выше – 8,0 и 6,0 мг  $O_2/дм^3$  соответственно).

Заморы рыб бывают летние и зимние. Причин может быть несколько: во-первых, при повышении температуры воды снижается концентрация растворенного в ней кислорода; во-вторых, повышение температуры воды ведет к активному размножению фитопланктона, что происходит при нарушении условий или полном отсутствии течения. Гидроморфологические данные рек, включая условия проточности и наличия течений, наряду с гидробиологическими и гидрохимическими показателями оказывают значимое влияние на содержание растворенного кислорода. Кроме того, к массовой гибели рыбы может привести сброс сточных вод или поступление воды с заболоченных территорий, содержащих большое количество органических веществ и продуктов гниения, поглощающих в процессе окисления из воды кислород. Летние заморы рыб наблюдаются в прудах, озерах и других непроточных и малопроточных водоемах, богатых растворенными органическими веществами.

Заморы в зимний период (январь–апрель) связаны с продолжительными сильными морозами, которые способствуют замерзанию воды, заливающей все трещины слоя льда на поверхности водоема. Эти заморы обусловлены тем, что накопившиеся за летний период на дне водоема растительность и животные остатки разрушаются с помощью бактерий; при этом поглощается значительное количество кислорода, а его поступление из воздуха отсутствует из-за ледяного покрова. В редких случаях наблюдаются заморы рыб от пресыщения воды растворенным кислородом вследствие интенсивного развития растительных организмов. Иногда зимний замор случается из-за наличия в воде большого количества гуминовых веществ и закиси железа.

**Методическая часть.** Методические подходы по определению участков рек, находящихся под риском заморных явлений по гидроморфологическим показателям, основаны на критических значениях этих показателей, соответствующих условиям для проживания рыб. Следовательно, значения показателей меньше, чем критические будут свидетельствовать о возможности возникновения риска пред- и заморных явлений.

Гидроморфологические показатели представлены в СТБ 17.13.04-02-2013/EN 15843:2010 [1] и включают следующие характеристики: геометрия русла, включая плановую конфигурацию реки, профиль русла (продольный и поперечный); донные отложения, включая распространенность искусственных донных отложений, «естественные», смешанные или характерно измененные, характер эрозии, отложений; русловая растительность и органические остатки, включая размер и количество древесных остатков; характеристики течения, включая воздействие внутрирусловых искусственных сооружений в пределах участка реки, изменений на водосборе на характер естественного течения, последствия изменений суточного расхода (например, попуски воды); продольная непрерывность под воздействием искусственных сооружений; структура берега и его изменения; вид и структура

растительности на берегах и прилегающих землях; прилегающие земли и связанные с ними особенности; взаимосвязь между руслом и поймой, включая степень взаимосвязи и интенсивность смещения русла реки. К важным гидроморфологическим показателям также относятся характеристики водосбора водотока, приходящиеся к требуемому расчетному характерному створу его рассматриваемого участка, а также его гидрологическая характеристика в части расходов и уровней воды заданных вероятностей превышения (обеспеченностей). Для оценки риска заморных явлений наиболее значимыми являются характеристики минимального стока и соответствующие им уровни воды.

Основным и наиболее значимым гидроморфологическим показателем, оказывающим влияние на кислородный режим водного объекта и условия проживания рыб, является скорость течения, которая определяет необходимые условия проточности. Следует отметить, что указанный показатель является обобщенным, зависящий от остальных гидроморфологических данных, значение которых определяется влиянием других параметров. Основной причиной изменения гидроморфологических показателей является нарушение продольной непрерывности потока за счет размещения внутрируслового искусственного сооружения – плотины гидроузла водохранилища Гродненской ГЭС. На изменение скоростного режима также влияет шероховатость русла и поймы и взаимосвязь между руслом и поймой. Данная шероховатость, выражаемая соответствующими коэффициентами шероховатости, определяется видами растительности на берегах и прилегающих землях, а также характеристикой гранулометрического (механического) состава донных отложений.

Для обеспечения необходимых условий проточности средние в поперечных сечениях продольные скорости течения воды должны быть в диапазоне от 0,10 до 0,25 м/с с учетом исследований Финского института экологических исследований, основанных на опыте восстановления малых рек, а также опыта Новой Зеландии при размещении рыбопропускных устройств [2]. Согласно рекомендациям, представленным в [3], данный диапазон также составляет от 0,1 до 0,25 м/с с минимальными необходимыми условиями проточности при средней в поперечном сечении водотока скорости не менее 0,1 м/с.

Необходимым условием, определяющим приведенные выше условия проточности, является наличие необходимого экологического стока. При этом достаточными условиями являются морфометрические характеристики реки для обеспечения соответствующей средней в сечении скорости, включая ширину русла и его среднюю глубину, а также характеристику шероховатости русла вдоль участков периметра поперечных сечений, которая определяется донными отложениями, русловой растительностью (при ее наличии), а также структурой берегов.

Для определения экологического стока используется методика, представленная в Пособии в области охраны окружающей среды и природопользования по порядку расчета лимитирующих гидрологических и гидравлических характеристик поверхностных водных объектов, разработанном РУП «ЦНИИКИВР» [4]. Согласно данному документу, определение количественных характеристик гидрологического режима водотоков, обеспечивающих их экологическое функционирование, должно основываться на использовании результатов гидрологических и гидравлических расчетов. Основным критерием при определении экологического стока является сохранение в реке объемов стока не менее чем 75 % от минимальных среднемесячных расходов воды 95 %-ной обеспеченности. Данный подход согласуется с применяемыми в государствах Европейского союза подходами, представленными в руководящем документе 2015 г. Европейской Комиссии по экологическому стоку [5] при внедрении Водной рамочной директивы Европейского союза [6]. Согласно данному документу, величина возможного количества воды для изъятия с учетом обеспечения экологического стока также составляет от 10 до 25 % от расходов воды при их обеспеченности (вероятности превышения) 95 %.

**Результаты исследования гидроморфологических показателей участков рек в бассейне Немана, находящихся под риском заморных явлений.** В результате проведенного анализа водотоков определено 14 участков водотоков, которые могут находиться под риском заморных явлений. В том числе 9 участков на самой реке Неман (из них 4 в пределах Гродненского водохранилища) и 5 на ее притоках. Два участка являются фоновыми: Неман у н. п. Збойск Ивьевского района и Сула у н. п. Новоселье Столбцовского района (рис. 1).

Исследования гидроморфологических показателей участков рек в бассейне Немана, находящихся под риском заморных явлений включает проведение экспедиций с прямыми гидрометрическими измерениями, гидроморфологические и гидрологические расчеты с использованием фондовых данных мониторинга гидрологического режима, картографической информации, результатов фотосъемки с использованием квадрокоптера, а также характеристик землепользования. Для определения гидроморфологических, гидрохимических и гидробиологических показателей в характерных створах участков рек бассейна Немана, находящихся под возможным риском заморных явлений, в период с 6 по 10 сентября и с 1 по 5 ноября 2021 г. РУП «ЦНИИКИВР» совместно с НПЦ НАН Беларуси по

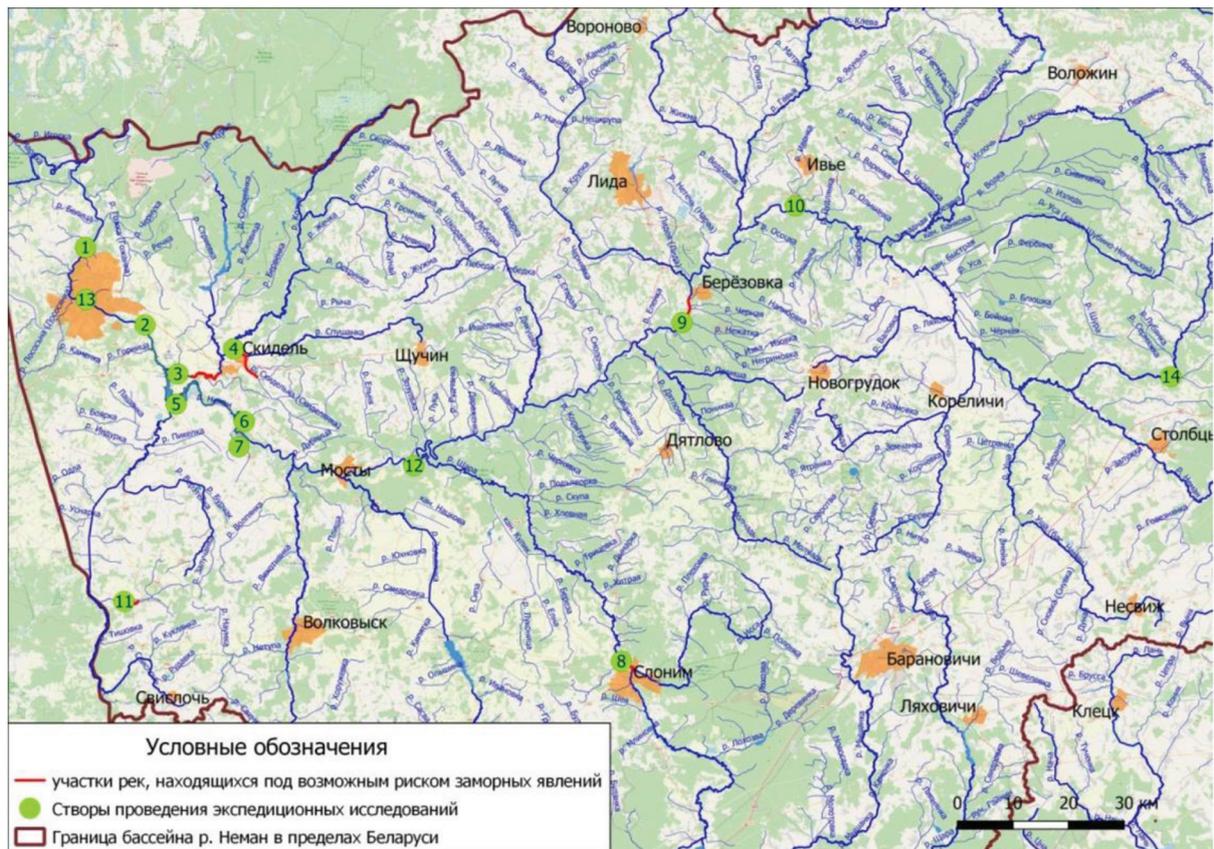


Рис. 1. Схема размещения участков водотоков бассейна Немана в пределах Гродненской обл., находящихся под возможным риском заморных явлений и характерных створов этих участков

биоресурсам организованы и проведены экспедиционные исследования с использованием представленных выше методических подходов.

Каждому исследованному участку соответствует 14 таблиц, где определены следующие гидро-морфологические показатели: плановая конфигурация реки, профиль русла, донные отложения, характер течения, продольная непрерывность русла, структура берегов, растительность и прилегающие к ним земли. Выявлено, что плановая конфигурация исследуемых рек в основном природная, исключение составляют участки водохранилища Гродненской ГЭС и участок Немана в пределах Гродна. Также незначительное изменение плановой конфигурации реки присутствует в створе Немана на территории н. п. Селец Лидского района.

Профиль русла на исследуемых участках в основном близкий к природному, нет изменений в поперечном и в продольном сечении русла (или они минимальны). Исключение составляют участки 2 и 3 (Неман, участок водохранилища Гродненской ГЭС, 500 м выше плотины, Котра у н. п. Огородники Гродненского района соответственно). Анализ донных отложений показал, что искусственные материалы на рассматриваемых участках присутствуют в минимальном количестве, за исключением участков водохранилища Гродненской ГЭС (створы 5, 6, 7) и участок Немана в пределах Гродна (створ 13).

Управление водной растительностью присутствует незначительно, исключение составляют участки водохранилища Гродненской ГЭС и Немана в пределах Гродна. На данных участках присутствует умеренный уровень управления растительностью.

Характер течения на анализируемых участках в основном незначительно подвержен изменению, за исключением водохранилища Гродненской ГЭС (створы 5, 6, 7), участка Немана в пределах Гродна (створ 13), а также участка Котра у н. п. Огородники Гродненского района (створ 2). Шесть анализируемых участков (водохранилище Гродненской ГЭС, реки Котра и Скиделянка) находятся в зоне влияния сооружений, которые являются препятствием для миграции всех видов биоты и транспорта наносов, на остальных участках искусственные сооружения отсутствуют.

Анализ структуры берега и его изменений показал, что на рассматриваемых участках берега не подвержены или подвержены незначительно культурно-техническому берегоукреплению искус-

ственными материалами. Преобладающий вид растительности на берегах и прилегающих землях естественный.

Степень взаимосвязи реки и поймы показывает, что почти все исследуемые участки не одамбированы за исключением участка Немана в пределах Гродна (створ 13). Также наблюдается частичное сдерживание русла на участке размещения водохранилища и полное сдерживание русла на Немане в пределах Гродна.

По результатам экспедиционных исследований также определены морфометрические характеристики створов исследуемых участков водотоков, характеристики скоростного режима в данных створах и расходы воды, наличия на пойме в пределах территории водосбора точечных и рассредоточенных источников загрязнений. Расходы воды и средние скорости течения определены с использованием МВИ 107-94 [7] (табл. 1).

В табл. 2 приведены характеристики водосборов и расчетные минимальные расходы воды 95 %-ной вероятности превышения (обеспеченности). Гидрологические характеристики участков в части расходов воды, включая экологический сток, определены РУП «ЦНИИКИВР» в рамках софинансирования и представлены в отдельном приложении. При этом использовали методики [4, 8, 9], а также данные регулярных наблюдений гидрологического режима на стационарных гидрологических постах Белгидромета. Для водных объектов, где отсутствуют такие данные, расчетные расходы воды получены по характеристикам водосборов этих рек, приходящихся к требуемым створам.

Т а б л и ц а 1. **Обобщенные результаты определения расходов воды и средних скоростей течения по результатам измерений, выполненных в ходе экспедиционных исследований в 2021 г.**

Наименование реки, населенный пункт	Дата измерений	Измеренный расход воды, м <sup>3</sup> /с	Измеренная средняя скорость течения воды, м <sup>3</sup> /с	Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>
р. Неман – н. п. Збойск, Ивьевский район	06.09.2021	29,722	0,296	100,41
р. Неман – н. п. Селец, Лидский район	06.09.2021	35,276	0,367	96,12
р. Котра – н. п. Огородники, Гродненский район	07.09.2021	5,898	0,049	120,37
р. Скиделянка – н. п. Некраши, Гродненский район	07.09.2021	0,968	0,176	5,50
р. Берестовичанка – н. п. Иодичи, Берестовицкий район	08.09.2021	0,305	0,074	4,13
р. Щара – н. п. Розановщина, Слонимский район	09.09.2021	10,109	0,312	32,40
р. Неман – речной порт – гидрологический пост с установленной АГХС	02.11.2021	145,327	0,874	166,28
р. Неман – н. п. Новоселки, Мостовский район	03.11.2021	87,306	0,492	177,45

Т а б л и ц а 2. **Обобщенные морфометрические и гидрологические характеристики участков рек под риском заморных явлений и фоновых**

Номер створа	Наименование водного объекта	Населенный пункт	Координаты	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Длина, км	Уклон, промилле	Расчетный минимальный среднемесячный расход воды 95%ВП, м <sup>3</sup> /с	Расчетный расход воды, соответствующий экологическому стоку, м <sup>3</sup> /с	Минимальный наблюдаемый расход воды, м <sup>3</sup> /с	
									период открытого русла	зимний период
1	р. Неман	н. п. Зарица, Гродненский район	53.761538 23.810586	34540	437	0,19	75,2	56,4	44,5	17,9
2	р. Неман, участок водохранилища Гродненской ГЭС, 500 м выше плотины	н. п. Береговой, Гродненский район	53.639574 23.982202	33490	410.5	0,17	73,0	54,7	43,2	17,3
3	р. Котра	н. п. Огородники, Гродненский район	53.562156 24.077017	2050	137	0,2	0,864	0,648	НРН <sup>1</sup>	НРН
4	р. Скиделянка	н. п. Некраши, Гродненский район	53.606514 24.225583	448	27	1,4	0,245	0,184	НРН	НРН

Окончание табл. 2

Номер створа	Наименование водного объекта	Населенный пункт	Координаты	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Длина, км	Уклон, промилле	Расчетный минимальный среднемесячный расход воды 95%ВР, м <sup>3</sup> /с	Расчетный расход воды, соответствующий экологическому стоку, м <sup>3</sup> /с	Минимальный наблюдаемый расход воды, м <sup>3</sup> /с	
									период открытого русла	зимний период
5	р. Неман, участок в средней части водохранилища Гродненской ГЭС	н. п. Хомики, Гродненский район	53.512885 24.075553	29 000	393,6	0,17	63,2	47,4	37,4	15,0
6	р. Неман, участок в верхней части водохранилища Гродненской ГЭС	н. п. Подбораны, Гродненский район	53.472343 24.240322	28 950	373	0,18	68,5	51,4	49,3	28,0
7	р. Неман, затока в верхней части водохранилища Гродненской ГЭС	н. п. Подбораны, Гродненский район	53.471370 24.240176	28 950	373	0,18	68,5	51,4	49,3	28,0
8	р. Щара	н. п. Розановщина, Слонимский район	53.117675 25.300086	5580	235	0,24	8,53	6,4	3,1	2,5
9	р. Неман	н. п. Селец, Лидский район	53.671495 25.443263	15 430	253	0,22	38,8	29,1	24,4	12,9
10 <sup>2</sup>	р. Неман	н. п. Збойск, Ивьевский район	53.865081 25.746204	11 910	208,3	0,22	30,0	22,5	18,8	10,0
11	р. Берестовичанка	н. п. Иодичи, Берестовицкий район	53.188470 23.957263	128	10,3	3,78	0,216	0,162	НРН	НРН
12	р. Неман	н. п. Новоселки, Мостовский район	53.429497 24.726166	25 320	329	0,22	59,9	45,0	43,1	24,5
13	р. Неман	г. Гродно, речной порт, гидрологический пост с установленной АГС	53.676592 23.819822	33 600	423	0,21	73,2	54,9	43,3	17,4
14 <sup>2</sup>	р. Сула	н. п. Новоселье, Столбцовский район	53.593309 26.774557	430	41,5	3,14	1,358	1,019	НРН*	НРН*

Примечание. 1 – НРН – нет регулярных наблюдений; 2 – фоновый створ.

**Результаты исследований изменения скоростей течения, растворенного кислорода и температуры воды по глубине потока в водохранилище Гродненской ГЭС.** В ходе проведенных экспедиционных исследований на четырех вертикалях створов Немана на участке размещения водохранилища Гродненской ГЭС выполнены измерения местных продольных скоростей течения, растворенного кислорода и температуры воды по глубине потока (рис. 2). Произведена оценка стратификации в данном водном объекте путем определения указанных характеристик по слоям по всей водной толще водного объекта на измерительных вертикалях. Измерения выполнены в нижней части водохранилища 500 м выше плотины, в средней, в верхней части водохранилища и в затоке.

С использованием статистических методов путем проведения корреляционного анализа [10] определены закономерности характеристик скоростного режима и температуры воды с содержанием в воде растворенного кислорода. На рис. 3–6 представлены результаты послойной (через 0,5 м) стратификации водохранилища Гродненской ГЭС по характеристикам скоростного, кислородного и температурного режимов. Здесь же представлены и корреляционные зависимости попарного сравнения этих характеристик.

По результатам проведенного корреляционного анализа наблюдается средняя и высокая корреляция с коэффициентами в диапазоне 0,74–0,98 при соблюдении условия величины достоверности аппроксимации  $R^2$  больше, чем 0,5. *Справочно: Величина коэффициента корреляции отражает*

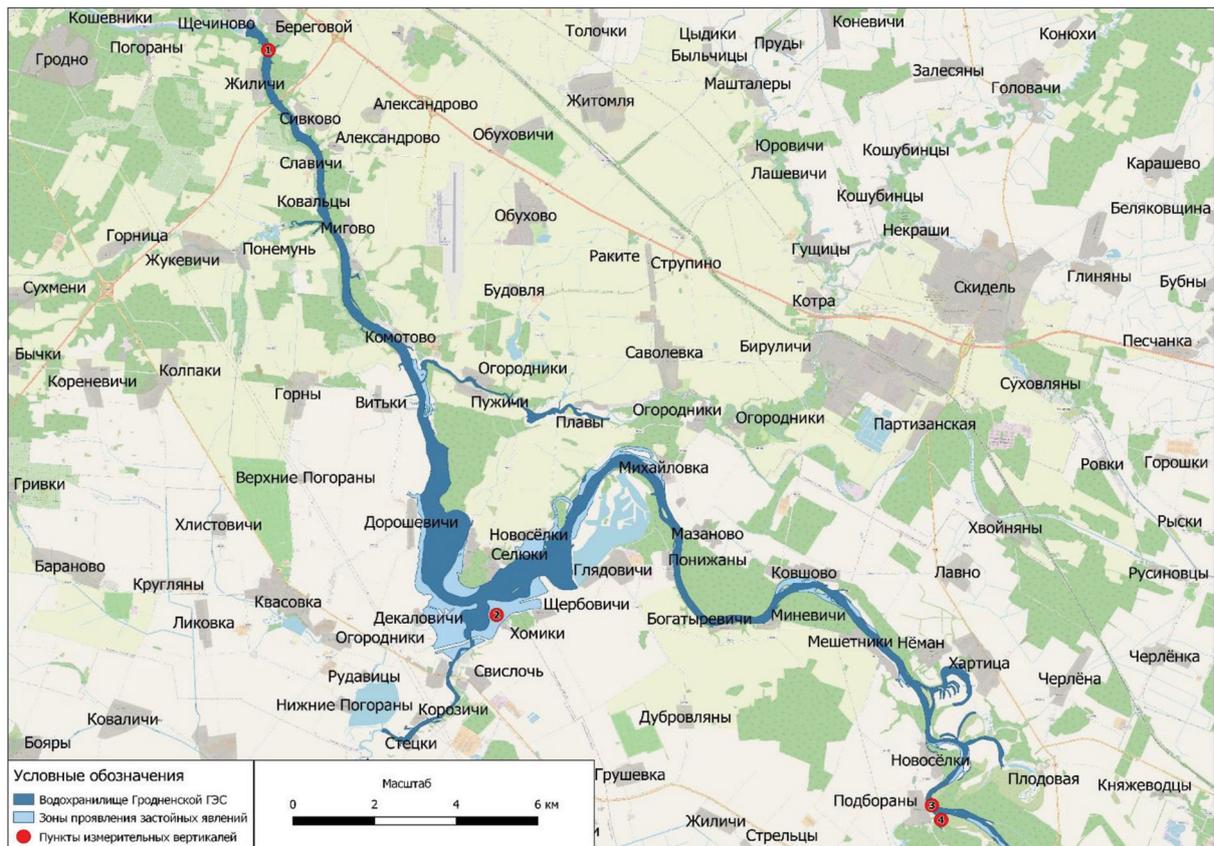


Рис. 2. Схема местоположения измерительных вертикалей изучения скоростного режима течений, растворенного кислорода и температуры воды по глубине потока

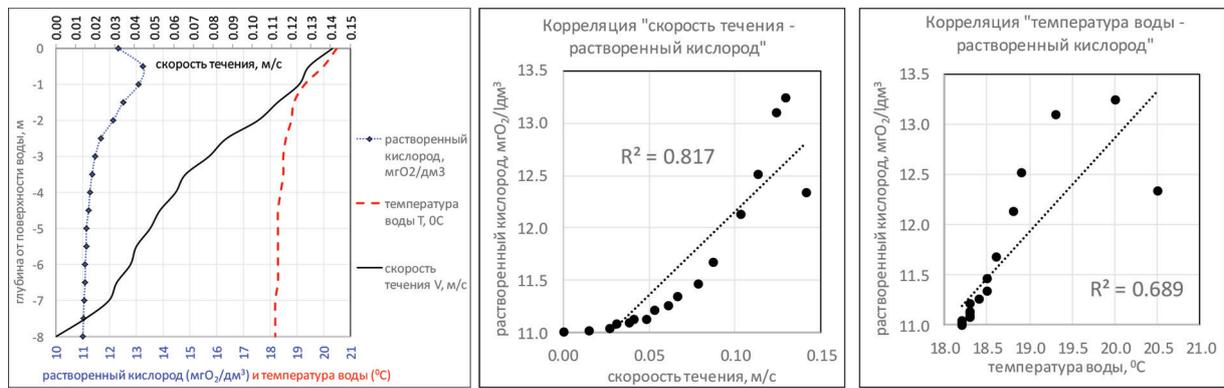


Рис. 3. Оценка стратификации в водохранилище Гродненской ГЭС, 500 м выше плотины

силы связи. Оценка силы связи коэффициентов корреляции следующая: от 0 до 0,3 очень слабая; от 0,3 до 0,5 слабая; от 0,5 до 0,7 средняя; от 0,7 до 0,9 высокая; от 0,9 до 1 очень высокая.

По результатам проведенных измерений и их анализа при наличии условий проточности и благоприятных гидрометеорологических условий во время проведения экспедиционных исследований в сентябре 2021 г. содержание растворенного кислорода в воде изменялось в диапазоне 8,1–21,6 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. В это же время при отсутствии условий проточности в затоке в верхней части водохранилища Гродненской ГЭС содержание растворенного кислорода снижалось с 11,4 до 2,1–2,15 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, что может способствовать возникновению риска заморных явлений.

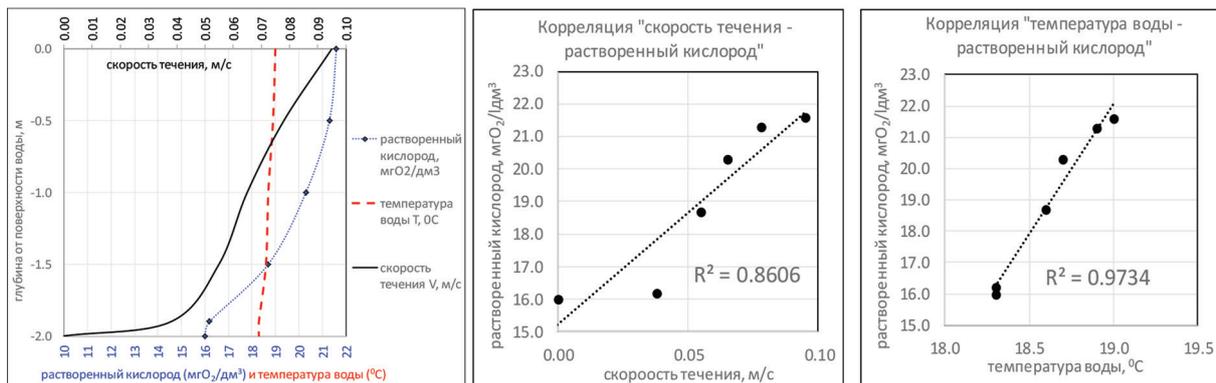


Рис. 4. Оценка стратификации в водохранилище Гродненской ГЭС, средняя часть вблизи н. п. Хомики, Гродненский район

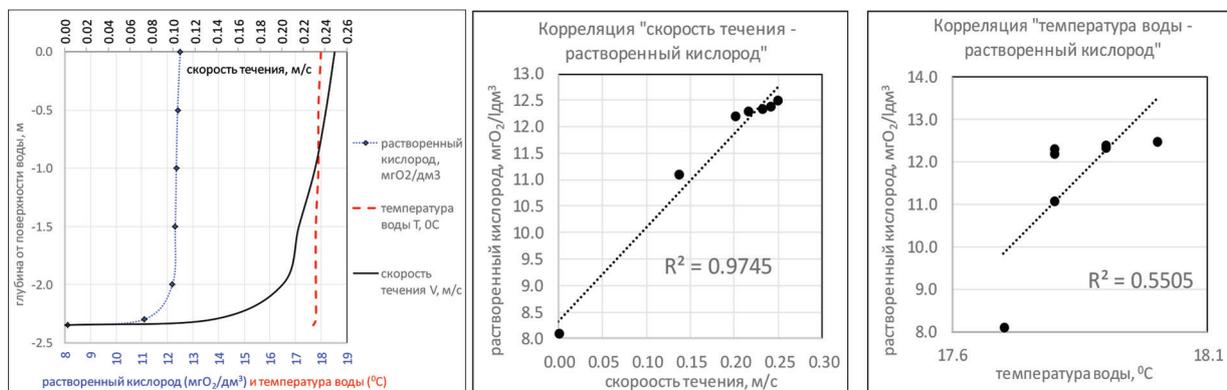


Рис. 5. Оценка стратификации в водохранилище Гродненской ГЭС, верхняя часть у н. п. Подбораны, Гродненский район

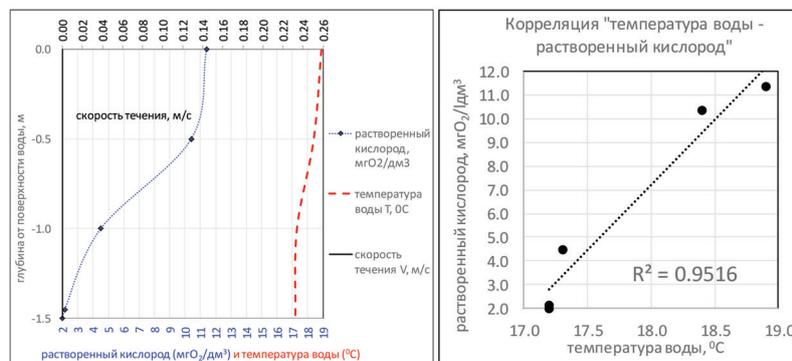


Рис. 6. Оценка стратификации в водохранилище Гродненской ГЭС, затока в верхней части у н. п. Подбораны при отсутствии условий проточности (течения)

**Заключение.** Исследования гидроморфологических показателей участков рек в бассейне Немана, находящихся под риском заморных явлений, показали значимость этих параметров для обеспечения удовлетворительного кислородного режима для предотвращения заморных явлений, а также значимость гидрохимических и гидробиологических данных. Результаты проведенного корреляционного анализа послойного по глубине водохранилища Гродненской ГЭС измерения скоростного, температурного и кислородного режимов подтвердили необходимость наличия условий проточности для обеспечения удовлетворительного кислородного режима для предотвращения заморных явлений.

Анализ гидрологического режима и характеристик водопользования в период возникновения случаев заморных явлений показал, что их причиной являлись преимущественно природные фак-

торы, связанные с жаркими и засушливыми периодами. Исключение могут составлять реки Котра и Берестовичанка, когда имеется сочетание неблагоприятных факторов, связанных как с большой антропогенной нагрузкой на указанные водотоки, так и с природными факторами в связи с жаркими и маловодными периодами.

Основываясь на данных о случаях возникновения заморных явлений в период с 2005 по 2020 г., можно сделать вывод, что реки Берестовичанка и Котра можно отнести к рекам с высокой вероятностью возникновения заморных явлений. Также высокая вероятность возникновения заморных явлений на участке Немана ниже сброса сточных вод ОАО «Гродноводоканал». Результаты исследований гидроморфологических показателей участков рек в бассейне Немана, находящихся под риском заморных явлений, позволили разработать предложения по местоположению створов для установки автоматических гидрохимических станций (АГХС) в бассейне Немана.

В конце 2021 г. на Немане в створе действующего гидрологического поста в Гродно установлена и функционирует АГХС. Данные, получаемые в режиме реального времени, могут позволить повысить информационную поддержку при выявлении риска заморных явлений на участке Немана в нижнем бьефе водохранилища Гродненской ГЭС. Предложена установка еще одной АГХС на правом берегу Немана на участке водохранилища Гродненской ГЭС 1 км ниже впадения Котры. Установка указанной АГХС в верхнем бьефе водохранилища Гродненской ГЭС повысит информационную поддержку своевременного выявления риска заморных явлений на наиболее проблемном участке размещения водохранилища.

Рекомендуется автоматизация проведения гидрологических наблюдений на 22 действующих гидрологических постах Белгидромета с измерением уровней и температуры воды, воздуха, атмосферного давления и количества осадков. Для шести действующих гидрологических постов дополнительно предложено дооснащение датчиками качества воды: растворенного кислорода, водородного показателя, аммоний-иона, атмосферного давления, мутности и электропроводности воды. В том числе это следующие гидрологические посты: Неман – н. п. Белица; Неман – г. Мосты; Щара – г. Слоним; Свислочь – н. п. Диневичи; Котра – Сахкомбинат; Ошмянка – н. п. Большие Яцыны. При автоматизации действующих гидрологических постов необходимо обеспечить защиту от несанкционированного доступа, что будет являться определяющим фактором по возможности установки АГХС.

**Благодарности.** Исследования выполнены в рамках задания «Разработать научно-методические основы оперативного мониторинга пред- и заморных явлений в бассейне Немана, включая состав мероприятий по их предупреждению» (этап 2021 года) подпрограммы «Устойчивое использование природных ресурсов и охрана окружающей среды с учетом изменения климата» ГНТП «Зеленые технологии ресурсопользования и экобезопасности», 2021–2025 гг.

#### Список использованных источников

1. СТБ 17.13.04-02-2013/EN 15843:2010. Охрана окружающей среды и природопользование Аналитический контроль и мониторинг. Руководство по определению степени изменения гидроморфологических показателей состояния рек. – Минск: Госстандарт, 2010. – 28 с.
2. New Zealand Fish Passage Guidelines. National Institute of Water and Atmospheric Research. – 2018. – 226 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://niwa.co.nz/static/web/freshwater-and-estuaries/NZ-FishPassageGuidelines-upto4m-NIWA-DOC-NZFPAg.pdf>. – Дата доступа: 11.02.2022.
3. Яцык, А. В. Экологические основы рационального водопользования / А. В. Яцык. – К.: Генеза, 1997. – 640 с.
4. П-ООС 17.06-03-2017. Пособие в области охраны окружающей среды и природопользования: Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Порядок расчета лимитирующих гидрологических и гидравлических характеристик поверхностных водных объектов. – Минск, 2017. – 13 с.
5. Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. Guidance Document No. 31/Technical Report-2015-086: European Commission. – 2015. – 106 р. Экологический сток при внедрении Водной рамочной директивы. Руководящий документ № 31 / Технический доклад – 2015-086: Европейская Комиссия. – 2015. – 106 с. (на английском языке). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://circabc.europa.eu/sd/a/4063d635-957b-4b6f-bfd4-b51b0acb2570/Guidance%20No%2031%20-%20Ecological%20flows%20%28final%20version%29.pdf>. – Дата доступа: 11.02.2022.
6. Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза № 2000/60/ЕС от 23 октября 2000 года, устанавливающая основы для деятельности Сообщества в области водной политики (Водная Рамочная Директива). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.caresd.net/iwrm/new/doc/direct.pdf>. – Дата доступа: 11.02.2022.
7. МВИ 107-94. Методика выполнения измерений расхода воды в каналах методом «скорость–площадь» с интерполяцией измеренных скоростей на промерные вертикали. Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов (ЦНИИКИВР), НПП «Водкосмос». – Минск, 1994. – 16 с.
8. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения: ТКП 45-3.04-168-2009. – Введ. 01.07.2010. – Минск: Мин-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. – 55 с.
9. Определение основных расчетных гидрологических характеристик: СП 33-101-2003. – М.: Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России), 2004. – 73 с.
10. Рождественский, А. В. Статистические методы в гидрологии / А. В. Рождественский, А.И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.

Поступила 24.02.2022