

УДК 504.064

**Ю. А. Спири́н, С. И. Зо́тов**

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА  
ВОДОСБОРОВ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ ПОЛЬДЕРНЫХ ЗЕМЕЛЬ  
КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

46

Поступила в редакцию 19.02.2022 г.

Рецензия от 26.04.2022 г.

*Химическое загрязнение водотоков можно рассматривать как один из интегральных показателей геоэкологического состояния водосбора. Такой индикатор больше всего учитывается в двухстороннем взаимодействии человека с водотоками как с точки зрения водопользователя, так и с точки зрения оказания негативного влияния на водотоки. Благодаря анализу данных о загрязнении можно выявить его источники, как антропогенные, так и природные, доминирующие загрязнители, их интенсивность и динамику, необходимость в очистных и природоохранных мероприятиях, их характер и др. Гидрохимические показатели, на основе которых рассчитывается уровень загрязнения воды, можно условно поделить на две группы: качественные (концентрации химических веществ) и количественные (масса химических веществ). Если концентрации определенных химических веществ можно получить в лабораторных условиях, при помощи методов, описанных в принятых на территории РФ нормативных документах, то получение показателей их массы за определенный период времени является нетривиальной задачей. Основные методы по расчету этой характеристики включают в себя потребность в наличии разноплановой и емкой информационной базы, которая по польдерным землям региона почти полностью отсутствует. Цель исследования – разработать методический подход для получения геоэкологического индикатора, представленного количественным показателем загрязняющих химических веществ в воде, путем сопряженного анализа имеющихся, но сильно ограниченных гидрологических, гидрохимических и геоэкологических данных. Для достижения цели были проведены гидрологические расчеты, натурные и ретроспективные гидрохимические исследования, проанализированы геоэкологические характеристики. Результатом работы стало создание методического обеспечения для получения дополнительного индикатора, участвующего в оценке геоэкологического состояния бассейнов малых водотоков польдерных земель Калининградской области.*

*Chemical pollution of watercourses can be considered as one of the integral indicators of the geoeological state of the catchment area. Such an indicator is most likely to be taken into account in the two-way interaction of a person with watercourses, both for a water user and a negative impact on them, since in both cases, water quality very often comes high in priority. Thanks to the analysis of data on pollution, it is possible to find out its sour-*



*ces, both anthropogenic and natural, the dominant pollutants, together with their intensity and dynamics, the need for treatment and environmental protection measures and their nature, and more. Hydrochemical indicators, the background of water pollution assessment, can be roughly divided into 2 groups: qualitative (concentration of chemicals) and quantitative (mass of chemicals). If the concentrations of certain chemicals can be obtained in laboratory conditions, using the methods described in the regulatory documents adopted in the territory of the Russian Federation, then obtaining their mass indicators, for a certain period of time, is not a trivial task. The main methods for calculating this characteristic indicate the need for a diverse and capacious information base, which is almost completely absent for the polder lands of the region. The aim of the work is to develop a methodological approach for obtaining a geoecological indicator represented by a quantitative indicator of polluting chemicals in water, leveling the information deficit, by means of a coupled analysis of available, but very limited hydrological, hydrochemical and geoecological data. To achieve the goal, hydrological calculations, full-scale and retrospective hydro-chemical researches were carried out, geoecological characteristics were analyzed. The work resulted in creating methodological support for obtaining an additional indicator for the assessment of the geoecological state of the basins of small streams of polder lands in the Kalinin-grad region.*

**Ключевые слова:** геоэкологический индикатор, оценка геоэкологического состояния, бассейны малых водотоков, масса загрязняющих веществ, химические загрязнения, польдерные земли

**Keywords:** geoecological indicator; assessment of the geoecological state; small watercourse basins; the mass of pollutants; chemical pollution; polder lands

## Введение

По разным оценкам, в Калининградской области сосредоточено от 70 до 80 % всех польдерных земель России, поэтому именно здесь исследования такого типа ландшафтов и его компонентов представляют наибольший интерес. Данные земли по большей части мелиорируемые, и на них активно развивается сельскохозяйственный комплекс. Из-за ряда хозяйственных и природных особенностей польдерных земель региона внимания заслуживает речная сеть, располагающаяся на них. Природные особенности, негативно влияющие на геоэкологическое состояние водотоков, безусловно, обостряются на них.

Несмотря на распространенность польдерных земель в Калининградской области, они по большей части представлены разрозненными польдерными массивами площадью от 0,8 до 7,5 тыс. га. Такие размеры влекут за собой и отсутствие крупных участков речной сети для целостного и всестороннего геоэкологического и гидрологического исследования речных объектов и их бассейнов. Исключением может считаться самая крупная польдерная территория региона, расположенная на территории Неманской низменности в МО «Славский городской округ» (далее — Славский район). Польдерные земли здесь занимают площадь около 68,0 тыс. га (68 % от всех польдерных земель региона) и включают в себя достаточно большое количество водотоков, что хорошо подходит для исследования.



При изучении геоэкологического состояния водотоков и их водосборов одним из основных критериев является уровень загрязнения воды [2; 5; 9; 20]. Загрязнителем считается то вещество, показатель которого превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК), связанную с ним. Для выявления таких веществ необходимо иметь ряды актуальных гидрохимических данных. Следует также разделять и учитывать как качественные гидрохимические характеристики (концентрации химических веществ), так и количественные (масса химических веществ). Если говорить о прямом использовании водотоков для удовлетворения человеческих нужд, то здесь значение имеют качественные характеристики загрязнения, но если требуется в какой-то мере иметь представление об общей картине загрязнения, то на передний план выходят количественные характеристики [1; 7; 8; 19; 23].

В рассматриваемом районе по каждому из озвученных параметров актуальных, целостных и систематических данных наблюдений почти нет. Если массив концентраций химических веществ в воде можно получить благодаря натурным систематическим исследованиям [3; 6; 12; 21] и дополнить его имеющейся в небольших количествах ретроспективной информацией, то количественные показатели таким способом можно получить лишь гипотетически. Обычно ведется наблюдение за сбросом загрязняющих веществ соответствующими структурами, но с учетом специфики сельскохозяйственного загрязнения это сделать проблематично.

Цель работы — разработать методический подход для получения геоэкологического индикатора, представленного количественным показателем загрязняющих химических веществ в воде, нивелируя информационный дефицит путем сопряженного анализа имеющихся, но сильно ограниченных гидрологических, гидрохимических и геоэкологических данных.

## Материалы и методы

Существуют различные методики по расчету количественных показателей загрязняющих веществ в водотоках. Чаще всего они сконцентрированы на определении биогенной нагрузки. Эти методы уже доказали свою эффективность, адекватность, теоретическую и практическую значимость.

Хорошим примером может послужить математическая модель ILLM — Institute of Limnology Load Model (Свидетельство о государственной регистрации №2014612519 от 27.02.2014), разработанная в Институте озераведения РАН на основе отечественного и зарубежного опыта моделирования выноса биогенных веществ с водосборных территорий, а также рекомендаций ХЕЛКОМ по оценке нагрузки на водные объекты бассейна Балтийского моря [1; 19]. В ней учитываются поступления биогенных веществ от диффузных источников: поверхностный сток, эрозия, грунтовые воды, почвенные воды, дренажные воды, осаждение из атмосферы. Для реализации такого подхода нужно иметь крупный информационный базис о дозах вносимых сельскохозяйственных



удобрений, содержание биогенного вещества в пахотном слое почвы, типах почв и другом. Все это обеспечивает хорошую точность полученного результата.

Имеются методы, которые по большей части работают со стоком воды из различных природных и хозяйственных структур, а также с концентрацией химических веществ в ней [7; 22]. На базе натуральных наблюдений и других информационных источников учитывались биогенный речной сток, поступление биогенных элементов в озеро с атмосферными осадками, водный и биогенный подземные стоки в озеро, биогенный сток от точечных источников загрязнения, поступление биогенных элементов от рыбоводческих хозяйств, биогенная нагрузка сельско- и лесохозяйственных объектов и др. Это позволяет составить комплексную картину о количественных загрязнениях биогенными веществами, поступающими в различные водные объекты. В работе [10] косвенно фигурировал схожий расчет в упрощенной форме.

Все эти методы включают в себя потребность в наличии разноплановой и емкой информационной базы, которая по изучаемому объекту и по другим польдерным территориям региона почти полностью отсутствует. Геоэкологические исследования и оценка речной сети и водосборов в условиях нехватки необходимой информации всегда подразумевает использование нестандартных методов исследования, что влечет за собой их авторскую разработку под конкретные случаи. В отсутствие сведений о количественной характеристике массы сбрасываемых загрязняющих веществ и ряда других косвенных параметров альтернативой может служить расчет массы загрязняющих веществ, проходящей через створ, в единицу времени, например в гидрологический сезон. Теоретически ее можно получить перемножением таких компонентов, как сверхнормативные концентрации загрязняющих веществ и расход воды в единицу времени. Для этого нужно получить максимально возможный массив гидрологической, гидрохимической и геоэкологической информации. Поскольку неотъемлемой частью подобного подхода можно считать ряд допущений и гипотез, то его точность зависит от качества первичной обработки подобных массивов данных и логического обоснования принимаемых решений.

В качестве опоры разрабатываемого методического обеспечения выступают работы [7; 10; 22], а точнее, элементы из них, связанные с расчетом загрязнений в речном стоке. При использовании речной сети Славского района как полигона для исследований появится возможность спроецировать некоторые полученные результаты на другие польдеры региона, где проведение схожего исследования из-за их маленьких размеров и еще большей неизученности было бы невозможно.

Методологический подход включает в себя следующие составные части:

1. Гидрологические расчеты ключевых характеристик речного стока малых водотоков польдерных земель и выявление зависимости между ними. Расчеты по данным многолетних гидрологических наблюдений



проводились по р. Злая, Немонинка, Оса, Матросовка [13; 15]. Моделирование речного стока с использованием данных о мгновенных кратковременных наблюдениях и полученных во время гидрологических расчетов районных соотношениях коэффициентов вариации и асимметрии проводилось по р. Разлив и Промысловая [16]. Во время работы в этом направлении обоснованы однородность водного режима; хорошая связь между стоком различных водотоков; схожесть внутригодового распределения стока между реками; стабильное протекание русловых процессов (размыв и заиление не сильно влияют на поведение стока).

2. Получение гидрохимических комплектов данных и определение основных источников загрязнения водотоков Славского района. Актуальные данные о загрязнении речной сети за 2020/21 г. по четырем гидрологическим сезонам получены нами при помощи проведения натурных исследований по р. Злая, Шлюзовая, Немонинка, Оса [4; 14; 17]. Исследование проводилось по контрольным (К) и фоновым (Ф) пунктам мониторинга. Также использовались ретроспективные данные прошлых лет по р. Матросовка и Товарная за 2010 г. [11] и по р. Разлив и Промысловая за 2013–2019 гг., предоставленные филиалом ФГБУ «Балттехмордирекция» с разрешения заказчика услуг СПК «Рыболовецкий колхоз «Рыбак Балтики». При проведенном анализе результатов отмечены относительная пространственная равномерность источников загрязнения, стабильный тренд загрязнений и привязка гидрохимических показателей к водному режиму, погодным условиям, природным и сельскохозяйственным циклам.

3. Сопряжение гидрологической, гидрохимической, геоэкологической информации и определение количественных показателей загрязняющих веществ в водотоках польдерных земель. Эта часть исследования будет состоять из следующих этапов:

а) расчет абсолютных значений превышения концентрации загрязняющих веществ путем нахождения разности между концентрацией вещества и соответствующей ей нормой ПДК; концентрации веществ будут получены во время проведения натурных гидрохимических исследований и ретроспективного анализа результатов прошлых лет;

б) определение среднесезонных расходов воды с использованием полученных в работе результатов гидрологических исследований в пунктах их гидрохимического мониторинга; по тем точкам мониторинга, у которых такая информация отсутствует, будет осуществлено проецирование данных с изученных рек с применением выявленных связей и зависимостей;

в) получение количественных показателей загрязняющих веществ, проходящих через речной створ по каждому гидрологическому сезону, при помощи данных из пункта «а» и «б» этого списка;

г) построение зависимостей и выведение формул по расчету массы загрязняющих веществ за сезон (тонн) по заданным веществам;

д) формирование границ использования методического подхода;

е) верификация результативности методического подхода.



### Расчет абсолютных значений превышения концентрации загрязняющих веществ

Загрязнение водотоков Славского района по большей части имеет нецентрализованный характер и тяжело поддается контролю, из-за чего информация о сбросах сточных вод почти полностью отсутствует, а та, что есть, не может дать полной картины о загрязнении речной сети. Для того чтобы в какой-то мере ее восполнить и оценить, перейдем от качественных характеристик загрязнения к количественным. Для начала вычислим абсолютные значения превышения концентраций загрязняющих веществ по каждому сезону (разность полученных концентраций и ПДК) (табл. 1 – 4).

51

Таблица 1

#### Абсолютные значения превышения концентраций загрязняющих веществ за летний гидрологический сезон, мг/л

Река	Злая		Шлюзовая		Немонинка		Оса	
	К	Ф	К	Ф	К	Ф	К	Ф
Место отбора проб								
ХПК	-3,05	-2,70	0,09	-2,06	-2,79	-2,03	-2,9	-2,8
БПК <sub>5</sub>	0,67	1,46	1,46	1,10	1,22	0,43	2,06	1,49
Нитраты	-37,84	-39,08	-38,03	-38,47	-39,11	-38,15	-38,96	-39,01
Нитриты	0,153	0,043	0,266	0,023	0,055	0,102	0,051	0,061
Аммоний	0,61	1,35	1,28	0,22	0,36	0,50	0,88	0,93
Фосфаты	-0,034	-0,019	-0,023	-0,016	0,041	0,003	-0,033	-0,026
Хлориды	-156	-110	-228	-157	-170	-121	-150	-180
Сульфаты	-7,54	-5,19	48,05	-10,44	6,69	13,24	-15,36	-17,49
Натрий	92	93	80	78	90	80	88	84
Магний	-13	-9	-15	-20	-15	-19	-17	-18
Железо общее	0,83	0,37	0,54	0,12	-0,03	2,30	-0,02	0,11
Нефтепродукты	0,756	0,967	1,200	0,114	-0,031	0,097	0,027	0,134

Таблица 2

#### Абсолютные значения превышения концентраций загрязняющих веществ за осенний гидрологический сезон, мг/л

Река	Злая		Шлюзовая		Немонинка		Оса	
	К	Ф	К	Ф	К	Ф	К	Ф
Место отбора проб								
ХПК	-3,68	-3,10	-2,81	-1,89	-2,93	-2,07	-3,58	-2,68
БПК <sub>5</sub>	-0,06	1,15	1,75	3,66	1,5	3,29	0,15	2,02
Нитраты	-36,81	-37,67	-35,74	-37,55	-36,57	-37,92	-23,17	-25,45
Нитриты	0,00	-0,022	-0,004	-0,021	-0,005	-0,024	-0,019	0,003
Аммоний	0,61	-0,16	0,24	-0,26	-0,33	-0,22	-0,34	-0,35
Фосфаты	0,362	0,165	0,037	0,058	0,128	-0,041	0,053	0,054
Хлориды	-155	-210	-207	-39	-61	-95	-120	-197
Сульфаты	-53,57	-81,71	-23,04	-62,76	-54,27	461,71	-35,38	-38,73
Натрий	80	87	97	96	80	101	82	78
Магний	-14	-10	-15	-13	-14	-11	-21	-15
Железо общее	0,17	0,40	0,08	0,23	0,00	1,17	-0,09	-0,09
Нефтепродукты	-0,043	0,014	0,097	0,069	0,08	0,008	0,045	0,021



Таблица 3

**Абсолютные значения превышения концентраций загрязняющих веществ за зимний гидрологический сезон, мг/л**

Река	Злая		Шлюзовая		Немонинка		Оса	
	К	Ф	К	Ф	К	Ф	К	Ф
Место отбора проб								
ХПК	-4,97	-4,96	-4,96	-4,87	-4,87	-4,85	-4,71	-4,92
БПК <sub>5</sub>	-1,75	-1,84	-1,78	-1,91	-1,7	-1,88	-1,62	-1,8
Нитраты	-5,89	-21,32	-34,55	-34,17	-14,7	-30,26	-1,87	-0,49
Нитриты	-0,028	-0,042	-0,024	-0,027	-0,025	-0,024	-0,025	-0,018
Аммоний	0,79	0,09	0,36	0,64	0,45	0,18	0,06	-0,05
Фосфаты	0,085	0,074	0,035	0,053	0,072	0,038	0,031	0,027
Хлориды	121	63	-78	45	-58	-25	100	200
Сульфаты	-42,84	-53,72	-36,12	-20,29	-21,84	-41,12	-43,18	-49,08
Натрий	61	70	92	53	8	63	24	2
Магний	-20	-14	-22	-25	-18	-23	-20	-19
Железо общее	0,86	0,47	0,79	2,00	0,79	5,38	0,68	0,26
Нефтепродукты	-0,027	-0,007	-0,037	-0,029	-0,036	0,012	-0,034	-0,038

Таблица 4

**Абсолютные значения превышения концентраций загрязняющих веществ за весенний гидрологический сезон, мг/л**

Река	Злая		Шлюзовая		Немонинка		Оса	
	К	Ф	К	Ф	К	Ф	К	Ф
Место отбора проб								
ХПК	-3,45	-3,29	-2,99	-3,38	-2,67	-3,44	-3,23	-3,49
БПК <sub>5</sub>	0,32	0,74	1,31	0,33	2,05	0,46	0,89	0,33
Нитраты	-34,67	-32,58	-36,25	-36,9	-8,83	-35,46	-33,87	-31,96
Нитриты	0,041	0,019	0,036	0,038	0,024	0,035	0,022	0,022
Аммоний	0,92	1,05	1,05	0,57	1,69	0,98	0,81	0,91
Фосфаты	0,063	0,063	0,108	0,073	0,061	0,036	0,071	0,03
Хлориды	-191	-175	-223	-184	-189	-100	-245	-238
Сульфаты	-65,48	-71,59	-73,23	-37,25	-70,57	-31,21	-74,9	-76,18
Натрий	75	99	75	51	87	100	96	49
Магний	-20	-19	-16	-20	-12	-24	-20	-24
Железо общее	1,04	0,57	0,39	3,00	0,65	3,45	0,32	0,43
Нефтепродукты	0,562	0,63	0,501	0,218	0,446	21,306	1,938	0,431

**Определение среднесезонных расходов воды**

Чтобы вычислить массу каждого загрязнителя, проходящую через створ реки за сезон, необходимо знать среднесезонный многолетний расход. Поскольку определить водность 2020/21 г. достаточно проблематично, так как современные данные о мониторинге попадают в открытый доступ с задержкой в несколько лет, внутригодовое распределение стока будет взято по всем данным наблюдения. Поэтому среднесезонный многолетний расход будет также вычисляться исходя из всех данных наблюдений, а не по годам определенной водности.

У р. Оса контрольные и фоновые точки гидрохимического мониторинга находятся вблизи пункта гидрологического мониторинга и от-



сутствуют какие-либо факторы, которые могут значительно повлиять на речной сток этого участка. Это говорит о том, что данные по расходам воды, полученные из пункта гидрологического мониторинга, можно применить к фоновой и контрольной точкам гидрохимического мониторинга. К сожалению, из-за недостаточной продолжительности оригинального гидрологического ряда р. Оса нам не удалось произвести расчет внутригодового распределения стока этой реки, но сток р. Злая имеет крепкую корреляционную связь со стоком р. Оса. Также они схожи по многим другим гидрологическим параметрам. Сама же р. Злая имеет самые продолжительные, фактически непрерывные данные гидрологических наблюдений. Поэтому мы приняли решение спроецировать распределение стока р. Злая на среднемноголетний расход р. Оса без внесения корректировок. Благодаря этому мы сможем вычислить среднесезонный многолетний расход по каждому сезону.

Похожая ситуация наблюдается и у фоновой точки гидрохимического мониторинга р. Немонинка, которая находится выше по течению от гидропоста водотока. В отличие от ситуации с р. Оса на промежутке от гидропоста до фоновой точки гидрохимического мониторинга р. Немонинки имеется ряд факторов, которые могут повлиять на сток реки. Это осушительные насосные станции №44 и 21а, для которых р. Немонинка является водоприемником, и несколько небольших каналов, впадающих в нее. Визуальный полевой осмотр и гидрометрические измерения в этих двух пунктах мониторинга показали схожесть створов между собой, что говорит о том, что указанные факторы незначительным образом влияют на сток реки. В действительности насосные станции работают сезонно и с сильными перебоями, а впадающие каналы очень часто находятся в заросшем и непрочищенном состоянии, что не дает им пропускать воду. Стоит учесть и возможную схожесть химического состава воды у фоновой точки гидрохимического мониторинга и с точки гидрологического мониторинга из-за небольшого расстояния между ними и отсутствия явных крупных загрязнителей на участке. Это все дает возможность использовать данные о среднесезонных многолетних расходах воды, полученных по р. Немонинке в точке гидропоста.

Фоновая точка гидрохимического мониторинга р. Злая совпадает с пунктом гидрологического мониторинга, поэтому к ней применимы данные, собранные имеющимся гидропостом, однако контрольная точка находится в значительной удаленности от него. Визуальные наблюдения показывают, что створы фоновой и контрольной точек гидрохимического мониторинга р. Злая отличаются друг от друга. Также сложности обстоят с контрольной точкой гидрохимического мониторинга р. Немонинка, поскольку она тоже находится в удаленности от гидропоста и при этом существенно изменяется в размерах вниз по течению. У контрольной и фоновой точек гидрохимического мониторинга р. Шлюзовая и вовсе отсутствуют данные о гидрологических наблюдениях. К сожалению, из-за отсутствия каких-либо гидрологических на-





блюдений за этими речными створами произвести моделирование рядов среднегодовых расходов воды для них не получится. Строить такую модель исходя из приблизительных расходов, к которым придется прибегнуть в расчетах, нецелесообразно.

В связи с отсутствием необходимой гидрологической информации по створам контрольных точек р. Злая, Немонинка и Шлюзовая и фоновой точке р. Шлюзовая средний многолетний расход будет задан на основе примерных косвенных величин. В основу его вычисления лягут измеренные во время полевых изысканий скорости течения воды, средняя ширина исследуемого створа (измеренная по картам), средняя глубина, полученная со специализированных форумов по рыбалке, и в некоторых случаях аналогия по створам. Из этого следует, что полученное количество загрязняющих веществ будет тоже примерным по обозначенным рекам и их точкам, но их количественное соотношение по сезонам будет достаточно достоверным из-за применения соответствующего внутригодового распределения стока. Так, к среднему многолетнему расходу створа контрольной точки гидрохимического мониторинга р. Немонинка будет применено внутригодовое распределение стока р. Матросовка, так как в своем устье река ближе по гидрологическому режиму к ней, а не к своему створу, на котором располагается гидрост. Устья этих рек и вовсе практически идентичны между собой. К контрольной точке гидрохимического мониторинга р. Злая будет применено распределение стока, полученное по гидросту р. Злая, а к контрольной и фоновой точкам р. Шлюзовая – осредненное распределение стока, полученное на гидростах р. Злая и Немонинка. Рассчитанные среднесезонные многолетние расходы внесем в таблицу 5.

Таблица 5

**Среднесезонные многолетние расходы воды в исследуемых реках по каждому гидрологическому сезону, м<sup>3</sup>/с**

Река	Злая		Шлюзовая		Немонинка		Оса	
	К	Ф	К	Ф	К	Ф	К	Ф
Место отбора проб								
Летний сезон	2,00	0,32	3,62	3,94	76,60	0,19	0,18	0,18
Осенний сезон	7,99	1,33	12,41	13,47	96,40	0,57	0,75	0,75
Зимний сезон	13,77	2,30	17,92	19,46	154,30	0,67	1,28	1,28
Весенний сезон	11,79	1,96	16,96	18,43	173,90	0,71	1,11	1,11

**Получение количественных показателей загрязняющих веществ, проходящих через речной створ по каждому гидрологическому сезону 2020/21 г.**

Переведем значения в таблицах 1–4 из мг/л в т/м<sup>3</sup> и умножим их на соответствующий среднесезонный расход, что даст количество загрязняющих веществ, проходящих через створ в секунду (т/с). Умно-



жим получившийся результат на количество секунд в сезоне (7776000 с) и получим количество загрязняющих веществ в тоннах, проходящих через створ за сезон. Внесем данные в таблицу 6 и выведем суммарное количество загрязнителей по всем контрольным и фоновым точкам на рисунок 1.

Таблица 6

**Количество загрязняющих веществ, проходящих через створ  
по каждому сезону и за год, т**

Река	Злая		Шлюзовая		Немнинка		Оса	
	К*	Ф	К*	Ф*	К*	Ф	К	Ф
<i>Лето</i>								
Нитриты	2,38	0,11	7,49	0,70	32,76	0,15	0,07	0,09
Аммоний	9,49	3,39	36,03	6,74	214,43	0,74	1,25	1,32
Фосфаты	0,00	0,00	0,00	0,004	24,42	0,00	0,00	0,00
Сульфаты	0,00	0,00	1352,57	0,00	3984,84	19,56	0,00	0,00
Натрий	1430,78	233,58	2251,93	2389,72	53607,7	118,20	125,22	119,53
Железо общее	12,91	0,93	15,20	3,68	0,00	3,40	0,00	0,16
Нефтепродукты	11,76	2,43	33,78	3,49	0,00	0,14	0,04	0,19
<i>Осень</i>								
Нитриты	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Аммоний	37,90	0,00	23,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Фосфаты	22,49	1,71	3,57	6,08	95,95	0,00	0,31	0,31
Сульфаты	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2046,45	0,00	0,00
Натрий	4970,42	899,76	9360,52	10055,3	59968,5	447,66	478,22	454,90
Железо общее	10,56	4,14	7,72	24,09	0,00	5,19	0,00	0,00
Нефтепродукты	0,00	0,14	9,36	7,23	59,97	0,04	0,26	0,12
<i>Зима</i>								
Аммоний	84,59	1,61	50,16	96,85	539,93	0,94	0,60	0,00
Фосфаты	9,10	1,32	4,88	8,02	86,39	0,20	0,31	0,27
Хлориды	12956,1	1126,74	0,00	6809,44	0,00	0,00	995,33	1990,66
Натрий	6531,61	1251,94	12819,8	8020,01	9598,69	328,22	238,88	19,91
Железо общее	92,08	8,41	110,08	302,64	947,87	28,03	6,77	2,59
Нефтепродукты	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00
<i>Весна</i>								
Нитриты	3,76	0,29	4,75	5,45	32,45	0,19	0,19	0,19
Аммоний	84,34	16,00	138,48	81,69	2285,30	5,41	6,99	7,85
Фосфаты	5,78	0,96	14,24	10,46	82,49	0,20	0,61	0,26
Натрий	6875,93	1508,86	9891,07	7308,90	117645	552,10	828,61	422,94
Железо общее	95,35	8,69	51,43	429,94	878,96	19,05	2,76	3,71
Нефтепродукты	51,52	9,60	66,07	31,24	603,10	117,63	16,73	3,72
<i>За год</i>								
Нитриты	6,14	0,4	12,24	6,15	65,21	0,34	0,26	0,3
Аммоний	216,32	21	247,83	185,28	3039,66	7,09	8,84	9,17
Фосфаты	37,37	3,99	22,69	24,564	289,25	0,4	1,23	0,84
Хлориды	12956,1	1126,74	0,00	6809,44	0,00	0,00	995,33	1990,66
Сульфаты	0,00	0,00	1352,57	0,00	3984,84	2066,01	0,00	0,00
Натрий	19808,7	3894,14	34323,3	27773,9	240820	1446,18	1670,93	1017,28
Железо общее	210,9	22,17	184,43	760,35	1826,83	55,67	9,53	6,46
Нефтепродукты	63,28	12,17	109,21	41,96	663,07	117,87	17,03	4,03

\* Приблизительные данные.

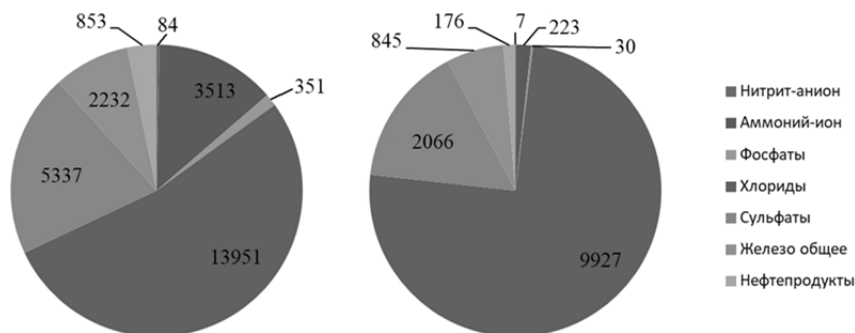


Рис. 1. Суммарное количество загрязнителей по всем контрольным и фоновым точкам по каждому показателю 2020/21 г., т

### Получение количественных показателей загрязняющих веществ, проходящих через речной створ, по ретроспективным данным загрязнения

По аналогии рассчитаем количественные показатели для ретроспективных данных устьевых участков р. Промысловая и Разлив (2013–2019), а также р. Матросовка и Товарная (2010). К части ретроспективных гидрохимических данных можно применить средние многолетние расходы воды и внутригодовое распределение стока определенной водности.

Для расчета абсолютных значений загрязнения для устьевых участков р. Промысловая и Разлив будут использованы сгенерированные данные и спроецированное на них осредненное распределение стока, полученное на гидропостах р. Злая и Немонинка. Эти реки имеют схожую гидрологию между собой, а описанная связь речного стока в целом может дать результаты, приближенные к достоверным. Сгенерированные ряды имеют хорошую надежность, поскольку построены на основе хоть и мгновенных, но зато затрагивающих все сезоны на годы вперед расходах.

Годы гидрохимического мониторинга имели следующую водность: 2013, 2016, 2017 гг. — многоводный; 2014, 2015 гг. — маловодный. По 2018 и 2019 гг. данных по водности нет, поэтому здесь будут применяться распределения за все годы наблюдений. Средний многолетний расход воды многоводного и маловодного года должен удовлетворять интервалам  $P_{16,7\%} \geq Q > P_{33,3\%}$  и  $P_{66,7\%} > Q \geq P_{83,3\%}$  соответственно. Возьмем средние значения этих интервалов ( $P_{25\%}$  и  $P_{75\%}$ ) и найдем среднегодовые расходы заданной обеспеченности. Затем применим к ним указанное ранее осредненное распределение по годам различной водности и получившийся результат запишем в таблицу 7.



Таблица 7

**Среднесезонные многолетние расходы воды в р. Промысловая и Разлив по каждому гидрологическому сезону с учетом водности года, м<sup>3</sup>/с**

Река	Промысловая			Разлив		
	Многоводный	Маловодный	Все	Многоводный	Маловодный	Все
Водность года						
Летний сезон	0,48	0,34	0,53	3,37	2,41	3,76
Осенний сезон	1,51	1,51	1,83	10,70	10,70	13,01
Зимний сезон	4,28	1,89	2,62	30,23	13,37	18,63
Весенний сезон	3,16	1,54	2,48	22,37	10,88	17,62

57

Имея информацию о среднесезонных расходах, рассчитаем количество загрязняющих веществ, проходящих через створ. Общий тренд интегральных химических показателей этих двух рек почти стабилен, а многолетние наблюдения позволяют более наглядно представить на ситуацию с количеством загрязняющих веществ внутри каждого сезона. В связи с этим было принято решение взять средние многолетние абсолютные значения загрязнений для каждого сезона, что более точно охарактеризует состояние этих показателей (табл. 8). Расчеты по каждому отдельному году с учетом водности будут использованы для построения соответствующих формул и зависимостей.

Таблица 8

**Среднее количество загрязняющих веществ, проходящих через створ, по каждому сезону, т**

Река	Промысловая				Разлив			
	Лето	Осень	Весна	Зима	Лето	Осень	Весна	Зима
Сезон								
Нитриты	0,06	0,01	0,30	0,00	0,44	2,96	2,23	1,82
Аммоний	1,13	16,75	11,42	15,75	10,20	88,56	111,40	77,32
Фосфаты	0,32	1,64	2,58	1,39	1,09	9,92	18,97	9,17
Железо общее	0,10	3,71	2,32	5,08	3,67	9,05	10,57	12,67

Отбор проб воды для гидрохимического мониторинга р. Матросовка и Товарная производился в их устьевых частях. Исходя из исследований, проводимых «ГеоГидроБалт» в рамках «Мониторинга трансграничных водных объектов Вислинской и Куршской лагун Балтийского моря» [11], отчетливо видно, что сток р. Матросовка в области гидропоста мало отличается от стока в ее устьевой части. Это связано с тем, что река имеет правобережные и левобережные дамбы почти на всем своем протяжении, что сделало ее русло устойчивым к природным воздействиям, а незначительная приточность более маленьких водотоков не смогла существенно изменить сток. Из этого же отчета можно получить некоторые данные о мгновенных измерениях расходов воды в р. Товарная, которых все еще не хватает для адекватного моделирования, но



их можно будет использовать в расчете примерного среднесезонного расхода. Используя данные, полученные с гидропоста д. Мостовое, рассчитаем среднесезонные многолетние расходы по каждому имеющемуся сезону и применим получившийся результат к устьевой части р. Матросовка. К примерному среднему многолетнему расходу устьевой части р. Товарная применим осредненное распределение стока, полученное на гидропостах р. Злая и Немонинка. Год отбора проб (2010) для гидрохимических анализов является многоводным, поэтому расходы будут рассчитываться исходя из соответствующего внутригодового распределения (табл. 9). После рассчитаем количество загрязняющих веществ, проходящих через створ за сезон, в тоннах (табл. 10).

Таблица 9

**Среднесезонный многолетний расход воды в р. Матросовка и Товарная по каждому гидрологическому сезону для многоводного года, м<sup>3</sup>/с**

Река	Матросовка	Товарная
Зимний сезон	154,34	26,91
Весенний сезон	173,89	19,91
Осенний сезон	94,49	9,52

Таблица 10

**Количество загрязняющих веществ, проходящих через створ по каждому сезону, т**

Река	Матросовка			Товарная		
	Зима	Весна	Осень	Зима	Весна	Осень
Аммоний	0,00	0,00	0,00	0,00	65,02	0,00
Железо общее	76,81	597,66	196,18	29,30	108,37	13,70
Нефтепродукты	0,00	0,00	0,00	0,00	5,57	0,00

**Построение зависимостей и выведение формул по расчету массы загрязняющих веществ за сезон (т) по заданным веществам**

Закономерным этапом этого расчета является построение расчетных зависимостей и формул, которые можно будет применить как для рек исследуемой территории, так и для рек других польдеров. Подобные зависимости будут выстроены по каждому из основных загрязняющих веществ: нитритам, аммонии, фосфатам, железу, нефтепродуктам. Створы были разделены на три группы: группа 1 – со среднесезонным расходом до 2 м<sup>3</sup>/с (Оса (К, Ф), Злая (Ф), Немонинка (Ф), Промысловая); группа 2 – от 8 до 15 м<sup>3</sup>/с (Шлюзовая (К, Ф), Злая (К), Разлив) и группа 3 – более 100 м<sup>3</sup>/с (Немонинка (К) и Матросовка). Для построения зависимостей и формул использовался метод наименьших квадратов [18]. Графики связи между массой загрязняющих веществ за сезон (т) и абсолютными значениями превышения концентраций загрязняющих веществ (мг/л) представлены на рисунке 2.

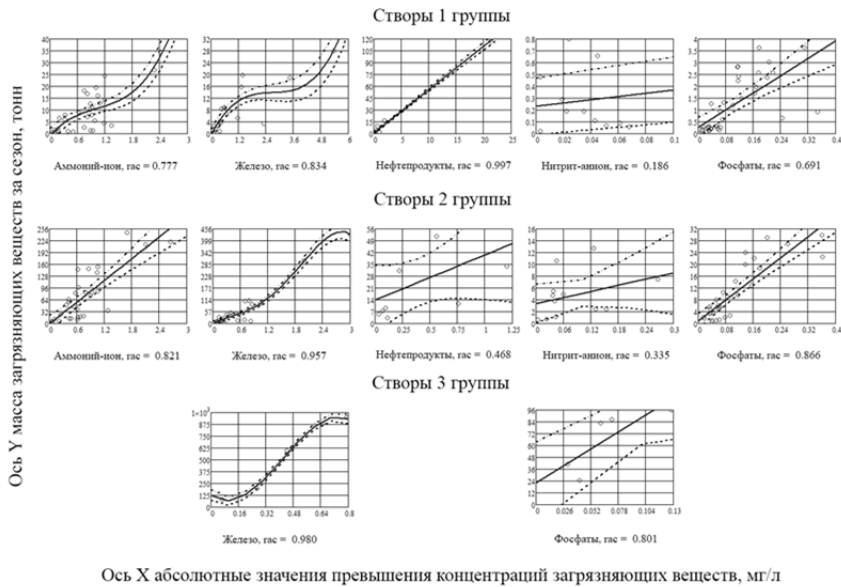


Рис. 2. Графики связи между массой загрязняющих веществ за сезон (т) и абсолютными значениями превышения концентраций загрязняющих веществ (мг/л):

точки — данные наблюдений; сплошная линия — уравнение линейной регрессии; штрихпунктирная линия — нижний и верхний доверительный интервалы; *r* — коэффициент парной корреляции

Построим формулы, выразив массу загрязняющих веществ за сезон (А, т), через абсолютные значения превышения концентраций загрязняющих веществ (b, мг/л), и внесем их в таблицу 11.

Таблица 11

**Формулы нахождения массы загрязняющих веществ за сезон (т) по ряду веществ**

Группа	Формула
1	$A_{аммон} = -0,893 + 22,168 \cdot b - 16,06 \cdot b^2 + 5,246 \cdot b^3$
	$A_{жел} = -0,641 + 15,506 \cdot b - 5,65 \cdot b^2 + 0,702 \cdot b^3$
	$A_{нефт} = 0,766 + 5,507 \cdot b$
	$A_{нитр} = 0,229 + 1,414 \cdot b$
	$A_{фосф} = 0,261 + 9,119 \cdot b$
2	$A_{аммон} = -1,078 + 97,911 \cdot b$
	$A_{жел} = -2,493 + 125,132 \cdot b - 128,266 \cdot b^2 + 123,151 \cdot b^3 - 26,094 \cdot b^4$
	$A_{нефт} = 13,901 + 26,714 \cdot b$
	$A_{нитр} = 3,355 + 17,331 \cdot b$
	$A_{фосф} = 0,845 + 89,365 \cdot b$
3	$A_{жел} = 127,585 + 1380 \cdot b - 8246 \cdot b^2 + 6581 \cdot b^3$
	$A_{фосф} = 22,322 + 658,551 \cdot b$



Как видно из рисунка 2, не все зависимости имеют высокую корреляционную связь. Она наблюдается по нитритам, где коэффициент парной корреляции равен 0,186 для первой группы и 0,335 для второй. Это может свидетельствовать о малом влиянии речного стока на концентрации нитритов или о недостаточном для такого показателя количестве членов выборки. Чуть лучше ситуация обстоит с нефтепродуктами во второй группе створов, где коэффициент корреляции равен 0,468, но это тоже относительно небольшой показатель, причины могут быть те же, что и с зависимостью по нитритам. Применить названные причины на эту зависимость нельзя, поскольку по первой группе створов ситуация противоположная. Однако зависимость по нефтепродуктам первой группы может иметь высокий коэффициент корреляции по случайному стечению обстоятельств, из-за малого количество членов выборки. В остальных же зависимостях коэффициенты корреляции говорят о тесной стохастической связи между величинами.

### **Границы использования методического подхода и верификация его результативности**

Следует очертить рекомендуемые границы применения таких зависимостей и формул на другие водотоки.

1. Территория, по которой протекают водотоки, должна иметь схожие природно-хозяйственные условия с исследуемым нами польдерным массивом.

2. Водотоки должны иметь схожие гидрологические характеристики с теми водотоками, которые использовались для построения зависимостей. Особое внимание необходимо уделить стоку и его внутригодовому распределению. При наличии данных о гидрологических наблюдениях наиболее простой способ – рассчитать коэффициенты парной корреляции между среднемесячными расходами рассмотренных в нашей работе рек и тех рек, к которым будут применяться зависимости.

3. Водотоки должны протекать по польдерным землям.

Верификация результативности методического подхода в полном его объеме – самый сложный этап работы. Чтобы оценить его точность, в идеале нужно знать, сколько поступает того или иного вещества с водосборного бассейна из различных источников с поправкой на растворимость, оседание, трансформацию веществ и прочие химические процессы. Поскольку речь идет в основном о загрязнениях, то достаточно было бы информации о количестве сбрасываемых веществ из антропогенных источников. Расчет количественных показателей химических веществ в воде при сопряжении гидрологических и гидрохимических характеристик уже осуществлялся в работах других ученых [7; 22], что указывает на корректность этой части методического подхода, поэтому этот вопрос не настолько значим. В то же время проверка точности зависимостей и формул – более ответственный момент, который будет представлен как элемент верификации. Проверка будет осуществляться путем сравнения результатов расчета количественных по-



казателей загрязнения, полученных на основе гидрологических и гидрохимических данных, с результатами, полученными по формулам и зависимостям.

Проверим точность работы методического подхода, применив его к трем водотокам, протекающим по польдерным землям: р. Мамоновка, Нельма и Дейма. Природно-хозяйственные условия территорий, по которым они протекают, схожи с районом нашего исследования, а расположение рек в разных частях Калининградской области даст возможность получить более разнообразные данные.

Хоть выбранные водотоки и имеют сходные гидрологические характеристики с исследуемыми в нашей работе водотоками (скорости течения, густота речной сети, приточность, модуль стока и т.д.), следует произвести расчет коэффициентов парной корреляции между их среднемесячными расходами. Расчеты будут проводиться по принципу наличия данных совместных наблюдений и схожести средних многолетних расходов. Из-за дефицита гидрологической информации выбор рек для расчета сильно ограничен, но наличие тесной связи между водотоками Славского района должно облегчить задачу. Так, например, для р. Мамоновка и Нельма со среднемноголетними расходами 3,32 и 2,67 м<sup>3</sup>/с рекой для расчета выступит р. Злая, а для р. Дейма со среднемноголетним расходом воды 33,99 м<sup>3</sup>/с – р. Матросовка (рис. 3).

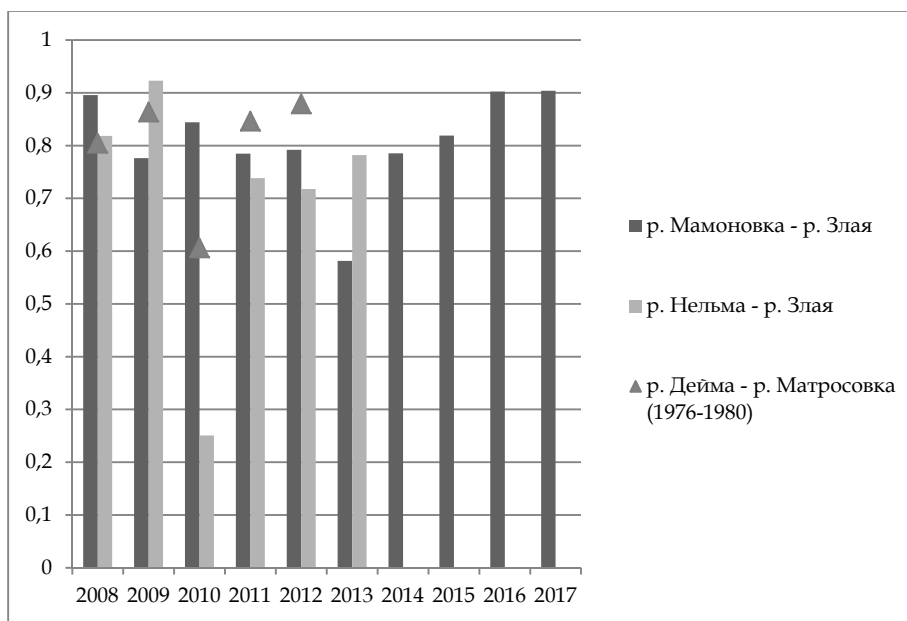


Рис. 3. Коэффициенты парной корреляции между среднемесячными расходами у рек

Как можно видеть из рисунка 3, связь между стоком водотоков высокая. Учитывая соответствия выбранных водотоков всем представленным критериям, можно приступить к проверке точности зависимости и формул.





В качестве гидрохимических данных выступают результаты исследования из [9; 11] за 2010 г. Точки отбора проб совпадают с гидропостами. Превышение концентраций, по которым построены зависимости, отмечены по показателям железа, аммония, нитритов и нефтепродуктов. Проверка точности зависимостей будет происходить посредством сравнения результатов расчета количественных показателей загрязнения с использованием принципа из [7; 22] с результатами, полученными с помощью выведенных формул (табл. 12, 13).

Таблица 12

62

**Определение количества загрязняющих веществ, проходящих через створ, по среднесезонным расходам и по формулам**

Река	Показатель, т	По среднесезонным расходам				По формулам			
		Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
Мамоновка	Аммоний	22,63	9,28	—	23,28	22,67	7,39	—	15,24
	Железо	11,39	11,33	—	15,91	13,32	7,16	—	10,28
	Нитриты	—	3,03	—	—	—	0,61	—	—
	Нефтепродукты	—	1,39	—	—	—	1,68	—	—
	Аммоний	27,78	—	34,37	11,67	29,17	—	42,62	9,84
	Железо	3,08	6,19	6,28	8,84	3,72	3,72	7,81	5,84
	Нитриты	—	0,57	1,32	—	—	0,42	0,57	—
Нельма	Железо	5,02	9,89	—	15,55	5,21	9,99	—	13,19
	Железо	—	2,04	1,79	4,17	—	2,54	2,54	5,31
	Аммоний	7,54	8,72	5,10	6,22	7,70	9,02	6,25	6,25
Дейма	Железо	38,10	167,65	—	91,60	27,60	88,15	—	75,25
	Железо	163,30	68,43	—	59,10	105,99	39,44	—	39,44

Таблица 13

**Отклонения количества загрязняющих веществ, проходящих через створ, по среднесезонным расходам от рассчитанных по формулам**

Река	Показатель, т	Отклонения							
		Абсолютные, т				Относительные, %			
		Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
Мамоновка	Аммоний	-0,04	1,89	—	8,04	-0,18	25,58	—	52,76
	Железо	-1,93	4,17	—	5,63	-14,49	58,24	—	54,77
	Нитриты	—	2,42	—	—	—	396,72	—	—
	Нефтепродукты	—	-0,29	—	—	—	-17,26	—	—
	Аммоний	-1,39	—	-8,25	1,83	-4,77	—	-19,36	18,60
	Железо	-0,64	2,47	-1,53	3	-17,20	66,40	-19,59	51,37
	Нитриты	—	0,15	0,75	—	—	35,71	131,58	—
Нельма	Железо	-0,19	-0,1	—	2,36	-3,65	-1,00	—	17,89
	Железо	—	-0,5	-0,75	-1,14	—	-19,69	-29,53	-21,47
	Аммоний	-0,16	-0,3	-1,15	-0,03	-2,08	-3,33	-18,40	-0,48
Дейма	Железо	10,5	79,5	—	16,35	38,04	90,19	—	21,73
	Железо	57,31	28,99	—	19,66	54,07	73,50	—	49,85



Поскольку расходы выбранных рек не попадают ни в одну из групп, к формулам были применены поправочные коэффициенты, а точнее, полученные результаты при использовании формул увеличивались на тот процент, на который среднемноголетний расход выбранных рек превышал верхнюю границу применяемой группы. К р. Мамонновка и Нельма применялись формулы из первой группы как самой ближайшей, а полученные результаты были увеличены на 66 и 33 %, так как именно на такую величину их среднемноголетний расход превышает верхнюю границу интервала. К р. Дейма применялись формулы из второй группы, а полученный результат был увеличен на 115 %.

Как видно из таблицы 13, по 20 из 32 показателей относительные отклонения не выходят за  $\pm 30\%$ . Граница в 30 %, на наш взгляд, является приемлемой для такого вида расчетов и подойдет для первоначальной оценки количественных показателей загрязнения. Сезонами, в которых формулы показали наибольшую точность, являются лето и зима, в них средняя относительная погрешность по всем веществам составила 21,60 и 22,50 % соответственно. Наименьшую точность продемонстрировали весенний и осенний сезоны со средними относительными погрешностями по всем веществам 41,20 и 31,08 % соответственно. Самая меньшая точность показателей зафиксирована по нитритам, что связано с низким коэффициентом парной корреляции применяемой зависимости. Самая меньшая точность отмечена у р. Дейма, поскольку хотя к результатам и были применимы поправочные коэффициенты, расход воды в водотоке вышел за рамки применения почти в два раза, что может вносить свои коррективы.

### Заключение

Зависимости и формулы при применении их к водотокам других речных систем показали неплохую точность по большинству показателей, но при этом почти треть результатов имела низкую точность. Для дальнейшего развития метода необходимо получить дополнительные гидрохимические данные с водотоков Славского района, чтобы расширить выборку членов ряда для построения зависимостей, тем самым повысив их точность. Следует провести проверку точности и на других водотоках, но для этого надо иметь большое количество гидрологической и гидрохимической информации. Кроме того, желательно найти те водотоки, которые подпадут под одну из трех групп без поправочных коэффициентов. Эти и прочие задачи должны стать дальнейшим направлением исследования.

Основные отличия предлагаемого методического подхода заключаются в следующем.

1. Проведенный детальный анализ гидрологической информации по ключевым рекам объекта исследования позволяет нивелировать отсутствие таковой по отдельным участкам речной сети при расчете количественных характеристик загрязнения.

2. Построенные с использованием количественных характеристик загрязнения формулы и зависимости можно будет применить к водотокам объекта исследований и в рамках определенных границ методического подхода к водотокам других польдеров.



3. Количественные характеристики загрязняющих веществ можно будет получать не за целый год, а по каждому гидрологическому сезону.

Ключевым преимуществом по сравнению с другими подходами можно считать необязательное наличие больших и разнообразных массивов данных для расчета, что является и минусом в виде потенциально более низкой точности получаемых данных. Однако это оправдывается тем фактом, что описанные методы к нашей ситуации не применимы. В условиях больших массивов данных, безусловно, лучше применять тот метод, который даст наибольшую точность.

### Список литературы

64

1. Брюханов А. Ю., Кондратьев С. А., Обломкова Н. С. и др. Методика определения биогенной нагрузки сельскохозяйственного производства на водные объекты // Теоретический и научно-практический журнал. ИАЭП. 2016. Вып. 89. С. 175–182.

2. Великанов Н. Л., Наумов В. А., Маркова Л. В., Смирнова А. А. Результаты натурных исследований малых водотоков на мелиорированных землях региона // Вода: химия и экология. 2013. №7. С. 18–26.

3. Дмитриев В. В., Зуева Н. В., Лубенцова А. С. Экологическое состояние водных объектов карельского Приладожья: традиционный взгляд и современные акценты // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2017. №47. С. 126–144.

4. Зотов С. И., Спирин Ю. А., Таран В. С., Королева Ю. В. Гидрологические особенности и геоэкологическое состояние малых водотоков польдерных территорий Калининградской области // Географический вестник = Geographical bulletin. 2021. №3 (58). С. 92–106. doi: 10.17072/2079-7877-2021-3-92-106.

5. Киселев В. В., Курепина В. А., Корнилов А. Г. Динамика гидрохимических показателей малых рек в связи с внесением химических удобрений на сельскохозяйственные поля // Геология, география и глобальная энергия. 2020. №2 (77). С. 102–110.

6. Константинова Т. Г., Васильева Л. В. Экологический мониторинг состояния малой реки Кукшум в условиях антропогенного воздействия // Вестник Чувашского университета. 2013. №3. С. 114–122.

7. Лозовик П. А., Бородулина Г. С., Карпечко Ю. В. и др. Биогенная нагрузка на Онежское озеро по данным натурных наблюдений // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. №5. С. 35–52.

8. Минакова Е. А., Шлычков А. П., Биктемирова Э. И., Кондратьев С. А. Внешняя биогенная нагрузка организованных источников на водотоки в пределах Республики Татарстан в современный период // Проблемы региональной экологии. 2020. №1. С. 74–78.

9. Нагорнова Н. Н. Геоэкологическая оценка состояния малых водотоков Калининградской области : дис. ... канд. геогр. наук. Калининград, 2012. С. 8–19.

10. Нагорнова Н. Н., Берникова Т. А., Цуцикова Н. А. Формирование гидрологических особенностей малых рек в физико-географических условиях Калининградской области на примере р. Прохладной // Вестник РУДН. Сер.: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2014. №4. С. 70–77.

11. Отчет о научно-исследовательской работе по государственному контракту №617-к от 21.12.2009 г. Мониторинг трансграничных водных объектов Вислинской и Куршской лагун Балтийского моря. Калининград, 2010. Ч. 1. С. 92–123.

12. Решетняк О. С., Никаноров А. М., Трофимчук М. М., Гришанова Ю. С. Оценка гидроэкологического риска в бассейне реки Ока // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. №3 (71). С. 159–171.



13. Спири́н Ю.А. Анализ внутригодового распределения стока рек Славского района Калининградской области // Региональные геосистемы. 2020. Т. 44, №2. С. 231–242.

14. Спири́н Ю.А., Зото́в С.И. Оценка геоэкологического состояния поверхностных водотоков Славского района Калининградской области (летний гидрологический сезон) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер.: Науки о Земле. 2021. Т. 21, вып. 1. С. 33–43.

15. Спири́н Ю.А. Гидрологические характеристики речного стока в геоэкологических исследованиях поверхностных вод Славского района Калининградской области // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2021. Т. 31, №2. С. 185–197.

16. Спири́н Ю.А. Моделирование рядов среднегодовых расходов воды р. Разлив и р. Промысловая с использованием данных о кратковременных наблюдениях // Вестник ВГУ. Сер.: География. Геоэкология. 2021. №2. С. 30–37.

17. Спири́н Ю.А., Зото́в С.И., Тара́н В.С., Королева Ю.В. Оценка геоэкологического состояния поверхностных водотоков Славского района Калининградской области // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2021. Вып. 7 (73), №1. С. 183–202.

18. Спири́н Ю.А., Пунтусов В.Г. Особенности формирования уровня грунтовых вод на полдере насосной станции №20а в Славском районе Калининградской области // Мелиорация и водное хозяйство. 2018. №2. С. 27–30.

19. Терехов А.В., Обломкова Н.С., Шмакова М.В. и др. Внешняя и внутренняя фосфорная нагрузка на Дудерговские озера // Ученые записки РГТМУ. 2019. №54. С. 58–72.

20. Шестеркин В.П., Афанасьева М.И., Шестеркина Н.М. Особенности качества воды малых рек Хабаровска в зимний период // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2019. №3. С. 42–51.

21. Aleksander-Kwaterczak U., Plenzler D. Contamination of small urban watercourses on the example of a stream in Krakow (Poland) // Environmental Earth Sciences. 2019. 78: 530. P. 1–13.

22. Quilbe R., Rousseau A.N., Duchemin M. et al. Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient loads in streams: Application to the Beauvillage River (Quebec, Canada) // Journal of Hydrology. 2006. 326 (1). P. 295–310.

23. Tong Y., Zhao Y., Zhen G. Nutrient et al Loads Flowing into Coastal Waters from the Main Rivers of China (2006–2012) // Scientific reports. 2015. Vol. 5. P. 1–12.

#### Об авторах

Юрий Александрович Спири́н – независимый исследователь.

E-mail: spirin1234567890@rambler.ru

Сергей Игоревич Зото́в – д-р геогр. наук, проф., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия.

E-mail: zotov.prof@gmail.com

#### The authors

Yury A. Spirin, independent researcher.

E-mail: spirin1234567890@rambler.ru

Prof. Sergey I. Zotov, Immanuel Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: zotov.prof@gmail.com