

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА НОРМАТИВОВ ДОПУСТИМОГО ПОСТУПЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С РЕКИ ПОДБОРЕНКИ В ИЖЕВСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ (на примере никеля, меди и цинка)

Наумова М. Э., Бухарина И. Л., Ведерников К. Е.

DEVELOPMENT OF METHODS TO DETERMINE THE MAXIMUM INPUT OF POLLUTANTS FROM THE PODBORENKA RIVER INTO THE IZHEVSK RESERVOIR (in terms of Nickel, Copper and Zinc)

Naumova M. E., Bukharina I. L., Vedernikov K. E.

Аннотация

Актуальной проблемой Ижевского водохранилища является ухудшение качества воды. Загрязняющие вещества поступают в Ижевское водохранилище как со сточными водами промышленных предприятий, так и через водосборную площадь водного объекта. В последнее время началась интенсивная застройка водосборной площади водохранилища, что приводит к значительному ухудшению качества воды и усилению процесса эвтрофирования водоема. Единая система мониторинга за состоянием Ижевского водохранилища и его водосборной площади отсутствует, а оценка воздействия водосборной площади на водохранилище не проводится. Целью исследований являлось изучение геоэкологических показателей бассейновых малых рек (на примере реки Подборенки) в условиях урбанизированной среды для оценки влияния и нормирования поступления тяжелых металлов в Ижевское водохранилище. Малая река Подборенка впадает в Ижевское водохранилище, образуя локальный очаг загрязнения. Изучены гидрологические характеристики, качество воды реки Подборенки и ее влияние на состояние Ижевского водохранилища. Установлена максимальная кратность превышения предельно допустимой концентрации тяжелых металлов и дана оценка степени загрязненности воды в реке по створам наблюдений. Антропогенное воздействие на реку Подборенки обусловлено хозяйственной деятельностью, которая осуществляется как в пределах водосборного бассейна, так и на самом водотоке. Предложен расчет нормативов допустимого поступления тяжелых металлов с реки Подборенки в Ижевское водохранилище.

Ключевые слова: малая река, тяжелые металлы, створы наблюдения, объем загрязняющих веществ, качество воды, нормативы поступления тяжелых металлов, Ижевское водохранилище.

Введение

В настоящее время водохранилище является градообразующим объектом города Ижевска — крупного промышленного центра Уральского

Abstract

Degradation of water quality in the Izhevsk Reservoir constitutes an important problem. Pollutants enter the reservoir both with wastewater from industrial enterprises and through the catchment area of the water body. Intensive construction at sites related to the reservoir catchment area started a while ago, leading to significant deterioration in water quality and eutrophication enhancement. Unfortunately, there is no unified system for monitoring over the state of the Izhevsk Reservoir and its catchment area, and the impact of the catchment area on the reservoir is not assessed. The purpose of the study is to analyze geo-ecological indicators of minor rivers in the basin (case study of the Podborenka River) under conditions of the urbanized environment to assess the impact of heavy metals' input into the Izhevsk Reservoir and set corresponding limits. The Podborenka River flows into the Izhevsk Reservoir, forming a local pollution focus. Hydrological characteristics, water quality in the Podborenka River and its influence on the state of the reservoir are studied. Maximum excess (multiplicity) of allowable concentrations of heavy metals is determined, the water pollution level in the river is estimated from different observation points. Anthropogenic impact on the Podborenka River is caused by commercial activity both within the catchment area and in the watercourse itself. An algorithm is proposed to determine the maximum permissible inputs of heavy metals from the Podborenka River into the Izhevsk Reservoir.

Keywords: minor river, heavy metals, observation points, pollution volumes, water quality, maximum permissible inputs of heavy metals, Izhevsk Reservoir.

региона, источником хозяйственно-бытового и промышленного водоснабжения города. Среднегодовой объем забора воды составляет 65–70 млн м³. Водосборная площадь водохрани-

лица представлена малыми реками Подборенка, Пазелинка, Малиновка и Люк [15].

Проблематике, связанной с геоэкологической оценкой состояния малых рек страны, посвящены работы Левина А. В., Нагорновой Н. Н., Сидоровой М. Ю., Тимченко З. В. [6, 8, 12, 14] Значительная часть малых водотоков гидрологическими и гидрохимическими наблюдениями не охвачена. Отсутствует оценка фактического состояния малых рек при помощи показателя балловой загрязненности, а также их вклада в загрязнение крупных водоемов. Методология поступления загрязняющих веществ из малых рек в водоемы и водотоки не разработана [1, 20, 22].

Тяжелые металлы поступают в Ижевское водохранилище, как со сточными водами промышленных предприятий, так и через водосборную площадь водного объекта. Процессы урбанизации усиливают изменения гидрохимических и гидрологических характеристик рек и являются основной причиной изменения водности малых рек, ухудшения качества воды, и, как следствие, водохранилища. Ранее к исследованию экологического состояния Ижевского водохранилища были привлечены коллективы научно-исследовательских и проектных институтов, высших учебных заведений. Обзор работ показал, что основное внимание в них уделялось экологическому состоянию Ижевского водохранилища и разработке путей решения возникающих проблем, тогда как вопросы, связанные с изучением источников поступления загрязняющих веществ исследованы далеко не в полной мере. Мониторинг состояния Ижевского водохранилища и его водосборной площади проводится только промышленными предприятиями. Отсутствие единой системы наблюдений и достоверных данных не позволяют получить единую картину, а следовательно, и принять эффективные меры по экологической оптимизации водохранилища. Для исследования была выбрана наиболее крупная река водосборной площади Ижевского водохранилища — река Подборенка, протекающая по территории г. Ижевска [9, 10].

Целью исследований являлось изучение геоэкологических показателей малых рек (на примере бассейна р. Подборенки) в условиях урбанизированной среды для оценки влияния и норми-

рования поступления тяжелых металлов в Ижевское водохранилище.

Для решения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Исследовать гидрологические и гидрохимические параметры р. Подборенки; на основе сравнительного анализа с фондовыми материалами прошлых лет определить тренды изменения качества воды.

2. Исследовать состояние водоохранной зоны р. Подборенки.

3. Провести расчеты поступления загрязняющих веществ с различных частей водосбора в р. Подборенку.

4. Предложить методику расчета нормативов допустимого поступления загрязняющих веществ с малых рек в Ижевское водохранилище (на примере р. Подборенки), обосновать необходимость введения норматива в систему экологического мониторинга малых рек на примере р. Подборенки.

Теоретическая значимость результатов работы заключается в том, что предложен научно обоснованный расчет нормативов допустимого поступления загрязняющих веществ с малых рек в Ижевское водохранилище (на примере р. Подборенки).

Практическая значимость работы и реализация результатов работы.

1. Результаты гидрохимического и гидрологического исследования, а также предложенные створы наблюдения р. Подборенки, могут быть использованы в системе мониторинга состояния данного водного объекта.

2. Материалы исследования используются на практике специалистами отдела водных ресурсов Камского бассейнового водного управления для составления отчетности по итогам проведения общественного мониторинга водного объекта.

Результаты исследования применяются в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению подготовки «Природообустройство и водопользование» в ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», а также могут послужить основой для подготовки учебно-методических пособий.

Подборенка — это малая река, которая входит в водосборную площадь Ижевского водохранилища на р. Иж. Река течет по территории

г. Ижевска, поэтому ее водосборная площадь пересечена автомобильными дорогами и трассами (40 % от общей площади). Длина р. Подборенки — 4,9 км, а водосборная площадь — 13,4 км² [15].

Методы и материалы

Для оценки влияния и нормирования поступления тяжелых металлов в Ижевское водохранилище была разработана программа исследований на основе интегрирующего подхода и принципа комплексности. Был проведен выбор створов наблюдения на водотоках для отбора проб воды [13]. При выборе створов наблюдения учитывали уровень трудоемкости отбора проб, доступность места отбора проб при любых погодных условиях, безопасность работ, а также возможность оценки качества воды на всей протяженности р. Подборенки [5]. В результате были выделены 4 створа наблюдения на реке, расположение фиксировалось с помощью системы глобального позиционированного GPS (рис. 1).

Для химического анализа воды проведен отбор проб реки Подборенки в выбранных створах наблюдения. Для анализа бралась смешанная проба, которая была составлена смешением равных объемов проб, отобранных через равные промежутки времени [4]. Отбор проб воды р. Подборенки проводили в трех точках: в фарватере и у обоих берегов с глубины $0,6h$ (h — глубина реки). Для отбора использовали пробоотборник горизонтальной конфигурации, отбор осуществлялся при контроле сотрудников аккредитованной лаборатории. Отбор проб воды проводили в основные гидрологические фазы (семь раз в год): во время половодья (подъем, пик и спад), летне-осенней межени (наименьшего расхода и прохождение дождевого паводка), осенью перед ледоставом и в зимнюю межень [3].

В полевых условиях определяли гидрологические характеристики реки (ширина, глубина реки и скорость течения воды) с помощью гидрометрических методов [2, 5]. Результаты расчета гидрологических характеристик в каждом створе наблюдения представлен как среднее арифметическое из трех параллельных определений. В районах исследования изучалось состояние водоохранной зоны водного объекта по пяти категориям: с искусственным покрытием, забо-

лоченные, недоступные, оголенные территории и растительные группировки [11].

Химический состав воды реки определяли в аккредитованной лаборатории, результаты химического анализа представлены как средние арифметические показатели из двух параллельных измерений.

На основании результатов изучения фондовых материалов за 2005–2008 гг. (производственные данные МУП г. Ижевска «Ижводоканал») был рассмотрен целый ряд тяжелых металлов, загрязняющих реку Подборенку. По ряду элементов концентрация загрязняющих веществ не превышала установленный норматив, в то время как содержание меди, никеля и цинка превышало установленный норматив до 6 раз. В связи с этим в задачи исследования было решено внести изучение содержания химических элементов, превышающих норматив в воде р. Подборенки, в различных створах наблюдений и в различные периоды. Таким образом, химический анализ воды проводили на содержание меди, цинка и никеля в соответствии с утвержденными методиками [17, 18, 19].

Подборенка является водным объектом рыбохозяйственного значения, поэтому при нормировании учитываются допустимые концентрации рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}) [16].

Объем стока загрязняющих веществ исследуемого объекта через поперечное сечение рассчитали как произведение концентрации загрязняющих веществ на расход воды в каждом исследуемом створе наблюдения в каждую гидрологическую фазу. Результаты объема стока загрязняющих веществ реки представлены суммированием объемов стока за исследуемые гидрологические фазы по каждому створу наблюдения реки.

В исследовании были предложены расчеты допустимых нормативов поступления загрязняющих веществ с водотока р. Подборенки в Ижевское водохранилище [7].

Результаты исследования и обсуждение

Полученные результаты гидрологических характеристик р. Подборенки представлены в табл. 1. Данные гидрологические характеристики реки увеличиваются от истока к устью. Наибольшие значения наблюдаются во время подъема половодья, а минимальные — во время межени. Для



Рис. 1. Карта-схема расположения створов наблюдения на р. Подборенке: ● — створы наблюдения; створ № 1 — исток Подборенки; створ № 2 — Подборенка в районе улицы Холмогорова; створ № 3 — Подборенка в районе улицы Кирова; створ № 4 — устье Подборенки

оценки изменения расхода воды в реке произвели расчет площади водного сечения.

Оценка полученных значений расхода воды в реке показывает, что наибольший расход наблюдается во время половодья в устье р. Подборенки (створ наблюдения № 4) со значением $0,7 \text{ м}^3/\text{с}$ (табл. 2).

Таблица 1
Предельные гидрологические характеристики реки Подборенки в 2014 г.

№ п/п	Гидрологическая характеристика	Минимальные значения	Максимальные значения
1	Скорость течения, м/с	$0,030 \pm 0,010^*$ $0,005-0,050^{**}$	$0,68 \pm 0,07$ $0,50-0,86$
2	Ширина водного объекта, м	$0,600 \pm 0,015$ $0,560-0,630$	$6,00 \pm 0,09$ $5,78-6,22$
3	Глубина водного объекта, м	$0,01 \pm 0,00$ $0,01-0,01$	$1,10 \pm 0,1$ $0,85-1,35$

* Среднее значение \pm стандартное отклонение.

** Доверительный интервал для среднего значения.

Сравнительный анализ полученных значений с фондовыми материалами (2005–2008 гг.) выявил существенные изменения гидрологических показателей р. Подборенки (в створах наблюдения № 3 и № 4). Основная причина — изменение условий формирования поверхностного и подземного стока Подборенки за счет развития инженерной, транспортной и социальной инфраструктуры (вырубка зеленых насаждений, строительство многоквартирных домов и иных объектов города).

Анализ химического состава воды показал превышение предельно допустимой концентрации меди ($0,001 \text{ мг}/\text{дм}^3$) в воде во всех створах наблюдения во все гидрологические фазы (за исключением створа в районе улицы Кирова в летне-осеннюю межень дождевого паводка). Наибольшие значения содержания меди в воде наблюдаются в районах автомагистралей в створах наблюдения № 2 и № 3 ($0,055$ и $0,057 \text{ мг}/\text{дм}^3$ соответственно) (рис. 2).

Во время летне-осенней межени и осенью перед ледоставом наблюдаются максимальные значения содержания меди (кратность превышения ПДК — 57 раз). Сравнительный анализ результатов загрязненности реки с 2005–2008 гг. позволил установить тенденцию к увеличению концентрации меди в воде.

Наибольшее содержание цинка в воде наблюдается во время половодья и в летне-осеннюю межень наименьшего расхода ($0,09 \pm 0,022 \text{ мг}/\text{дм}^3$), а минимальная концентрация — во всех створах наблюдения в летне-осеннюю межень дождевого паводка и в зимнюю межень (менее $0,005 \text{ мг}/\text{дм}^3$). Результаты анализа содержания цинка показали высокую загрязненность реки на всем протяжении, а максимальным содержанием цинка установлены в створах наблюдения № 2 и № 3, то есть на участках влияния автомагистралей (рис. 3).

Превышение установленного норматива содержания никеля в воде выявлено в период половодья, когда наблюдается максимальный объем поверхностных вод с рельефа местности. Концентрация никеля во время половодья достигает $0,110 \dots 0,173 \text{ мг}/\text{дм}^3$. Наибольшее содержание наблюдается в истоке реки и в районах влияния автомагистралей.

Динамика расхода воды в р. Подборенки, м³/с

№ п/п	Наименование гидрологической фазы	Створы наблюдения р. Подборенки			
		створ №1 — исток реки	створ №2 — в районе ул. Холмогорова	створ №3 — в районе ул. Кирова	створ №4 — устье реки
1	Половодье подъем	0,016	0,063	0,520	0,700
2	Половодье пик	0,011	0,120	0,390	0,610
3	Половодье спад	0,017	0,024	0,130	Нет данных*
4	Летне-осенняя межень наименьшего расхода	0,007	0,043	0,104	То же
5	Летне-осенняя межень дождевого паводка	0,009	0,060	0,140	— " —
6	Осенью перед ледоставом	0,003	0,180	0,220	— " —
7	Зимняя межень	нет данных	0,025	0,050	— " —

* Исследования не проводились по причинам выклинивания зоны подбора Ижевского водохранилища или замерзания воды в реке.

Установлено, что повторяемость превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) меди составило 95,7, цинка — 60,9, никеля — 17,4 % проб.

Характеристика обследованной территории водоохранной зоны р. Подборенки показывала, что основную площадь водоохранной зоны исследуемого объекта составляют растительные группировки (74,02 %) с большим количеством высокоствольных деревьев. Участки с искусственным покрытием составляют 12,68 %, из которых: 8,86 % — застройка с автогаражами; 3,47 % — заасфальтированные автомобиль-

ные автодороги по ул. Кирова и Холмогорова; 0,35 % — застройка с автостоянкой. Среди недоступных участков (5,76 %) основная часть приходится на садовые некоммерческие участки (4,03) и застройку автогаражным кооперативом (1,73). Оголенные участки представлены территориями, образовавшимися в результате вытаптывания растительности (3,45 %).

Для оценки объема стока загрязняющих веществ по длине р. Подборенки, а также анализа динамики выноса по протяженности водного объекта был проведен расчет объема стока по тяжелым металлам между створами наблюдения.

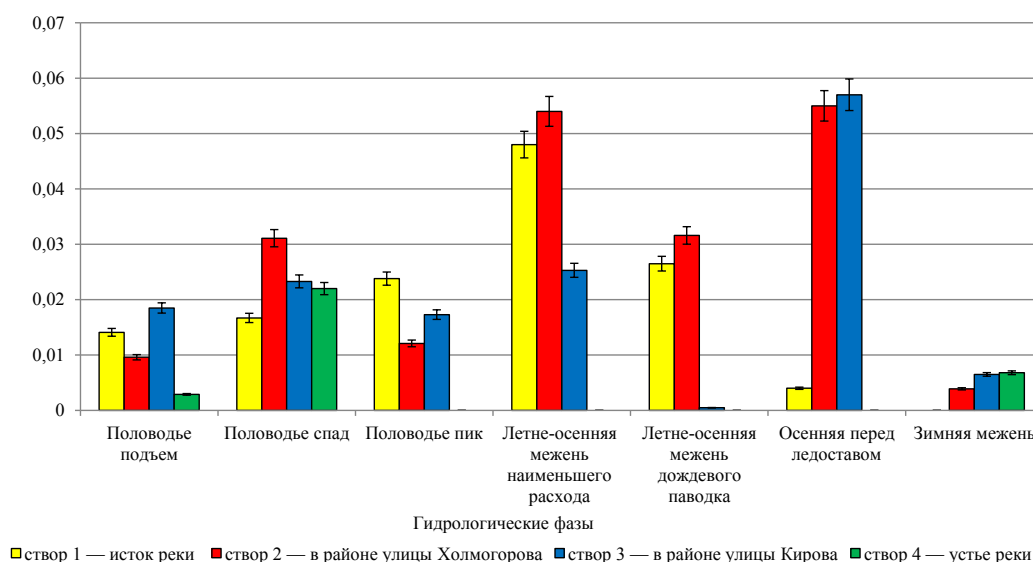


Рис. 2. Содержание меди в воде р. Подборенки, мг/дм³ (при предельно допустимой концентрации меди в воде 0,001 мг/дм³). Гидрологические фазы: 1 — половодье подъем; 2 — половодье пик; 3 — половодье спад; 4 — летне-осенняя межень наименьшего расхода; 5 — летне-осенняя межень дождевого паводка; 6 — осенью перед ледоставом; 7 — зимняя межень

Установлено увеличение объема загрязнения тяжелыми металлами воды реки от предыдущего створа к последующему створу наблюдения по всей длине реки (за исключением никеля).

Наибольший объем стока загрязняющих веществ наблюдается от створа № 3 до устья р. Подборенки, что связано с наибольшими концентрациями загрязняющих веществ и наибольшим расходом воды, которые наблюдаются в створах № 3 и № 4 (табл. 3).

При визуальном осмотре водосборной площади р. Подборенки выявлен ряд источников загрязнения, которые в зависимости от занимаемой ими площади можно выстроить в следующий ряд: жилая застройка > садовые некоммерческие участки > автомагистрали > стоянки автотранспорта.

Для разработки методики расчета нормативов допустимого поступления загрязняющих веществ с р. Подборенки в Ижевское водохранилище был проведен расчет объемов поступления тяжелых металлов из природно-техногенного и хозяйственного объектов. В расчете природно-техногенным объектом выступает р. Подборенка, а хозяйственным объектом — выпуск очистных сооружений канализации МУП г. Ижевска «Ижводоканал» (табл. 4).

Сравнение объемов поступления тяжелых металлов из природно-техногенного и хозяйственного объектов показывает, что из р. Подборенки в Ижевское водохранилище меди поступает в 1,4 раза больше, чем с очистных сооружений канализации г. Ижевска.

При сбросе сточных вод с очистных сооружений канализации МУП г. Ижевска «Ижводоканал» в р. Иж предприятие разрабатывает нормативы допустимого сброса (НДС) по утвержденным методикам, согласует и утверждает их в уполномоченных органах власти. Предприятие обязано соблюдать данные нормативы допустимого сброса сточных вод в водный объект, при этом проводится ежемесячный мониторинг и контроль качества сбрасываемых сточных вод. При этом мониторинг качества воды р. Подборенки не производится вообще. Следовательно, необходимо установить нормативы допустимого поступления загрязняющих веществ с малых рек (на примере Подборенки) в Ижевское водохранилище.

Для разработки расчета нормативов допустимого поступления (НДП) тяжелых металлов в Ижевское водохранилище (на примере р. Подборенки) за основу взята «Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ в водные объекты для водопользователей» [7]. Осно-

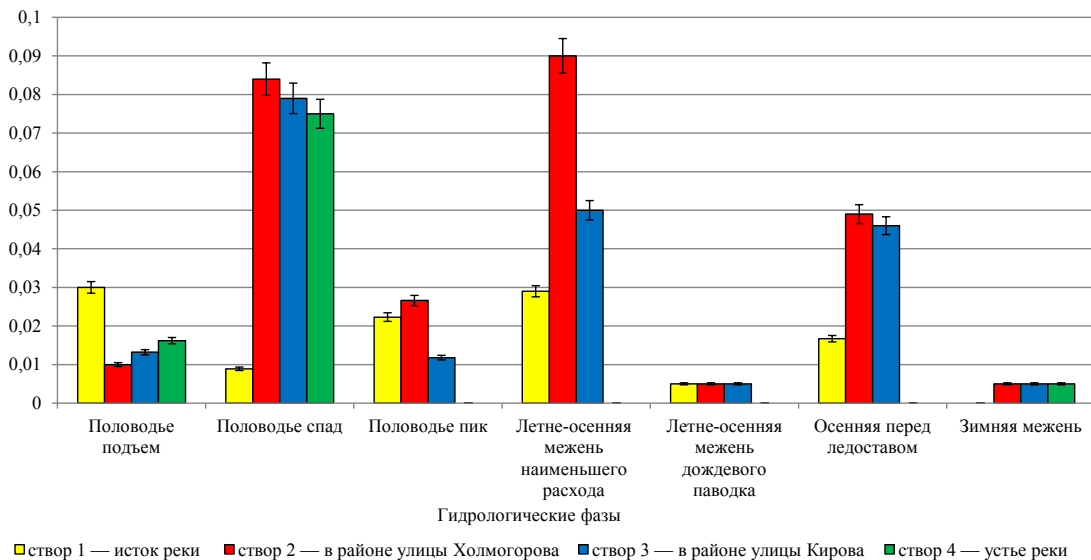


Рис. 3. Содержание цинка в воде р. Подборенки, мг/дм³ (при предельно допустимой концентрации цинка в воде 0,01 мг/дм³). Гидрологические фазы: 1 — половодье подъем; 2 — половодье пик; 3 — половодье спад; 4 — летне-осенняя межень наименьшего расхода; 5 — летне-осенняя межень дождевого паводка; 6 — осенью перед ледоставом; 7 — зимняя межень

Таблица 3
Значения объема стока тяжелых металлов между створами наблюдения
р. Подборенки, кг/год

№ п/п	Наименование химического элемента	Наименование створа наблюдения		
		от истока реки до створа № 2	от створа № 2 до створа № 3	от створа № 3 до устья р. Подборенки (створ № 4)
1	Никель	65	13	124
2	Медь	80	80	75
3	Цинк	105	139	644

ванием для использования данной методики является следующее: 1) качество воды природно-техногенного объекта соизмеримо с качеством воды хозяйственного объекта; 2) гидрологические характеристики (расход воды) в течение года варьируют в пределах 10,0 %, что также соизмеримо с динамикой объемов сброса сточных вод.

Порядок расчетов НДП:

1. Концентрации загрязняющих веществ, допустимых к поступлению в Ижевское водохранилище ($C_{\text{НДП расчет}}, \text{ мг/дм}^3$), рассчитываем по формуле [7, с. 28]

$$C_{\text{НДП расчет}} = n \cdot C(C_{\text{ПДК}} - C_{\text{ф}}) + C_{\text{ф}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{ПДК}}$ — предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ в воде водоема, мг/дм³ (по общепринятым нормативам качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения); $C_{\text{ф}}$ — фоновая концентрация загрязняющего вещества в Ижевском водохранилище (мг/дм³) по среднегодовым гидрохимическим показателям Ижевского водохранилища за исследуемый период; n — кратность общего разбавления (произведение кратности начального разбавления $n_{\text{н}}$ на кратность основного разбавления $n_{\text{о}}$).

Расчет кратности начального разбавления производится по формуле [7, с. 28]

$$n_{\text{н}} = \frac{q + 0,00215 \cdot v \cdot H_{\text{ср}}^2}{q + 0,000215 \cdot v \cdot H_{\text{ср}}^2}, \quad (2)$$

где q — расход воды Подборенки в устье, м³/с (максимальный секундный расход воды в устье реки, который составил — 0,7 м³/с); v — скорость ветра над водой в устье реки, м/с (справочная величина, равная 3 м/с); $H_{\text{ср}}$ — средняя глубина Ижевского водохранилища вблизи устья р. Подборенки, м (составляет 4 м).

Кратность основного разбавления рассчитывается по формуле [7, с. 29]

$$n_{\text{о}} = 1 + 0,412 \left(\frac{l}{\Delta E} \right)^{0,627 + \frac{0,0002 \cdot l}{\Delta E}}, \quad (3)$$

где l — расстояние от устья р. Подборенки до контрольного створа, м (составляет 500 м);

$$\Delta E = 6,53 \cdot H_{\text{ср}}^{1,17}. \quad (4)$$

Подставив известные величины в формулы 2–4 получаем:

$$\Delta E = 6,53 \cdot 3^{1,17} = 23,613;$$

$$n_{\text{о}} = 1 + 0,412 \cdot (21,175)^{0,627 + 23,613} = 3,83;$$

$$n_{\text{н}} = \frac{0,7 + 0,00215 \cdot 3 \cdot 16}{0,7 + 0,000215 \cdot 3 \cdot 16} = 1,098;$$

$$n = 3,83 \cdot 1,098 = 4,21.$$

Значения начального и основного разбавления можно считать постоянными величинами на период действия нормативов допустимого поступления. Таким образом, кратность общего разбавления равна 4,21, поэтому формула для расчета расчетных концентраций загрязняющих веществ, допустимых к поступлению в Ижевское водохранилище, имеет следующий вид:

$$C_{\text{НДП расчет}} = 4,21 \cdot (C_{\text{ПДК}} - C_{\text{ф}}) + C_{\text{ф}}. \quad (5)$$

Если $C_{\text{ф}} > C_{\text{ПДК}}$, тогда $C_{\text{НДП расчет}} = C_{\text{ПДК}}$; если отсутствуют значения $C_{\text{ф}}$ — то расчет невозможен. Итоговые значения концентрации загрязняющих веществ, допустимых к поступлению в Ижев-

Таблица 4
Среднегодовые значения объема стока
загрязняющих веществ, поступающих
с р. Подборенки в Ижевское водохранилище
и с очистных сооружений канализации в р. Иж

№ п/п	Наименование загрязняющего вещества	Среднегодовые значения объема стока загрязняющих веществ, т/г	
		очистные сооружения канализации г. Ижевска (ОСК)	р. Подборенка
1	Медь	0,17	0,24
2	Никель	0,40	0,21
3	Цинк	2,07	0,89

ское водохранилище с р. Подборенки, определялись на основании сравнения концентраций загрязняющих веществ: расчетной концентрации, средней концентрации и концентрации ПДК загрязняющих веществ.

Средняя концентрация определяется как среднеарифметическое значение концентраций загрязняющих веществ за исследуемый период. Для предлагаемых расчетных нормативов допустимого поступления загрязняющих веществ использовались количественные данные по р. Подборенке (створ наблюдения № 4). Итоговая концентрация загрязняющих веществ $C_{\text{НДП}}$, допустимая к поступлению в Ижевское водохранилище с р. Подборенки, не должна превышать концентрацию ПДК ($C_{\text{НДП}} \leq C_{\text{ПДК}}$). Из расчетной концентрации ($C_{\text{НДП расчет}}$) и средней концентрации ($C_{\text{ср}}$) загрязняющих веществ выбирается концентрация с наименьшим значением.

2. Расчет массы (объема) загрязняющих веществ, допустимых к поступлению с р. Подборенки в Ижевское водохранилище (НДП, кг/год) [7, с. 30]

$$\text{НДП} = Q \cdot C_{\text{НДП}} \quad (6)$$

где $C_{\text{НДП}}$ — итоговые концентрации загрязняющих веществ, допустимых к поступлению в Ижевское водохранилище с р. Подборенки, мг/дм³.

Объем воды, поступающий с р. Подборенки в Ижевское водохранилище, в расчетах предлагается принимать как среднегодовой объем сточных вод за исследуемый период, потому что во время спада половодья, в летне-осеннюю межень и осенью перед ледоставом наблюдается выклинивание зоны подбора Ижевского водохранилища.

Q — среднегодовой объем воды, поступающий с реки Подборенка в Ижевское водохранилище тыс.м³/год (средне арифметическое значение объема воды) [2]

$$Q = v \cdot S, \quad (7)$$

где v — скорость течения воды в устье р. Подборенки (в створе наблюдения № 4), м/с; S — площадь водного сечения в устье реки Подборенка, м²/с (определяется аналитически суммированием геометрических площадей, на которые водный объект делится сечением промерными вертикалями).

Расчетные нормативы допустимого поступления загрязняющих веществ с р. Подборенки

в Ижевское водохранилище предлагается устанавливать на три года, т.е. на срок, аналогичный для установления нормативов допустимого сброса сточных вод в водные объекты.

Показатели фактического поступления тяжелых металлов с р. Подборенки и расчетные нормативы допустимого поступления тяжелых металлов с реки в Ижевское водохранилище представлены в табл. 5.

После расчета нормативов допустимого поступления загрязняющих веществ в Ижевское водохранилище проведено ранжирование тяжелых металлов по степени потенциального вклада в его загрязнение: никель – цинк – медь. Следует отметить, что в воде р. Подборенки содержание никеля не превышает показатель рассчитанного норматива, а его фактический объем близок к нему, т. е. при увеличении объема стока воды или концентрации загрязняющих веществ в реке возможно превышение установленного норматива.

Таким образом, по результатам сравнительного анализа фактического поступления тяжелых металлов в Ижевское водохранилище с расчетными нормативами можно сделать вывод о том, что река Подборенка является локальным источником загрязнения Ижевского водохранилища тяжелыми металлами.

Заключение

Предложена методика расчета нормативов допустимого поступления загрязняющих веществ с р. Подборенки в Ижевское водохранилище и произведен расчет нормативов допустимого поступления тяжелых металлов. Масса загрязняющих веществ, допустимая к поступлению в Ижевское водохранилище с реки, составила по содержанию никеля и цинка 0,21 т/год, а по меди — 0,02 т/год. Фактическое содержание никеля в воде реки Подборенка не превышает рассчитанный норматив, но весьма близко к установленному рассчитанному нормативу.

Предложенная методика расчета нормативов допустимого поступления загрязняющих веществ с р. Подборенки в Ижевское водохранилище позволит оценить нагрузку на водоем со стороны малых рек, которые впадают в водохранилище. В Ижевское водохранилище, кроме р. Подборенки впадают малые реки Малиновка, Пазелинка, Шабердинка и Люк. Данную методику расчета нормативов можно применить для

Таблица 5

Фактическое поступление загрязняющих веществ с р. Подборенки в Ижевское водохранилище и расчетные нормативы поступления

№ п/п	Наименование загрязняющего вещества	$C_{ндп}^*$, мг/дм ³	НДП ^{**} , т/год	Фактическое поступление за 2014 г.	Кратность превышения
1	Медь	0,001	0,02	0,24	12,0
2	Цинк	0,01	0,21	0,89	4,2
3	Никель	0,01	0,21	0,21	нет превышения

* Концентрации загрязняющих веществ, допустимые к поступлению в Ижевское водохранилище с р. Подборенки.

** Масса загрязняющих веществ, допустимая к поступлению в Ижевское водохранилище с р. Подборенки.

этих малых рек по аналогичной схеме исследования (гидрологические и гидрохимические показатели воды рек, состояние водосборной площади и водоохранной зоны).

По результатам проводимых гидрологических исследований установлено, что гидрологические показатели р. Подборенки увеличиваются от истока к устью, наибольшие значения наблюдаются во время половодья, а минимальные — во время межени. Определены предельные гидрологические характеристики р. Подборенки: ширина — 0,6–6,0 м; глубина — 0,01–1,1 м; скорость течения воды — 0,03–0,68 м/с. В последнее десятилетие наблюдаются изменения гидрологических характеристик р. Подборенки в сторону увеличения расхода воды за счет изменения условий формирования стока с водосборной площади.

Гидрохимическая оценка загрязненности воды Подборенки показала высокое содержание тяжелых металлов, наибольшее содержание наблюдается во время половодья, а минимальное — во время межени.

Финансирование

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ФГБОУ ВО УДГУ «Научный потенциал 2018».

Литература

1. Амосов, Д. В., Ахметзянова, Н. Ш. и др. (2003). Экологические проблемы малых рек Республики Татарстан (на примере Мешки, Казанки и Свяги). Казань: Фэн, 289 с.
 2. Быков, В. Д. и Васильев, А. В. (1977). Гидрометрия: учебное пособие. 4-е изд. Л.: Гидрометеиздат, 448 с.
 3. Гидрохимический институт (2011). РД 52.24.309–2011. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ГХИ, 104 с.

4. Гидрохимический институт (2012). Р 52.24.353–2012. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ГХИ, 36 с.

5. Главный государственный санитарный врач РФ (2000). СанПин 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. М.: Минздрав России, 18 с.

6. Левин, А. В. (2007). Геоэкологический анализ территории водосбора малой реки: на примере бассейна Угры. Канд. геогр. наук. М.: Московский государственный областной университет.

7. Министерство природных ресурсов РФ (2007). Приказ Министерства природных ресурсов РФ от 17 декабря 2007 г. N 333 «Об утверждении методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей».

8. Нагорнова, Н. Н. (2012). Геоэкологическая оценка состояния малых водотоков Калининградской области. канд. геогр. наук. Калининград: Калининградский государственный технический университет.

9. Наумова, М. Э. и Бухарина, И. Л. (2015). Динамика содержания меди в поверхностных водах реки Подборенка. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, № 4, сс. 110–119.

10. Наумова, М. Э. и Бухарина, И. Л. (2017). Оценка качества воды малых рек Подборенка и Пазелинка водосборной площади Ижевского водохранилища. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление, № 4, сс. 48–59.

11. Потапова, Е. В., Пшеничникова, М. Е. и Соколова, О. Е. (2016). Исследование состояния водоохранной зоны рек г. Иркутска. Известия Иркутского государственного университета. Серия «Наука о Земле», т. 15, сс. 89–103.

12. Сидорова, М. Ю. (2012). Геоэкологическая оценка загрязнения территории Новосибирска и его малых рек. канд. геогр. наук. Барнаул: Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук.

13. Технический комитет по стандартизации ТК 343 «Качество воды» (2008). ГОСТ Р 51592–2000. Вода. Общие требования к отбору проб воды. Москва: Стандартинформ, 45 с.

14. Тимченко, З. В. (2000). Оценка геоэкологического состояния водных ресурсов малых рек (на примере малых рек северного макросклона Крымских гор). канд. геогр. наук. Симферополь: Таврический национальный университет.

15. Туганаев, В. В. (2002). Ижевский пруд: сборник статей. Ижевск: Издательский дом «Удмуртский университет», 188 с.

16. Федеральное агентство по рыболовству (2010). Приказ № 20 от 18 января 2010 г. «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». М.: Росрыболовство, 369 с.

17. Центр экологического контроля анализа вод (2002). ПНД Ф 14.1:2:4.183–02. Методика измерений массовой концентрации цинка в пробах природных, питьевых и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «ФЛЮОРАТ-02». М.: Росстандарт, 18 с.

18. Центр экологического контроля анализа вод (2003). ПНД Ф 14.1:2:4.202–03. Методика измерений массовой концентрации никеля в пробах природных, питьевых и сточных вод фотометрическим методом на анализаторе жидкости «ФЛЮОРАТ-02». М.: Росстандарт, 14 с.

19. Центр экологического контроля анализа вод (2010). ПНД Ф 14.1:2:4.257–10. Методика измерений массовой концентрации меди в пробах природных, питьевых и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «ФЛЮОРАТ-02». М.: Росстандарт, 13 с.

20. Черняев, А. М. (2001). Вода России. Малые реки. Екатеринбург: АКВА-ПРЕСС, 804 с.

21. Naumova, M. and Bukharina, I. (2015). The impact of human activities on the oil content in the water of the river Podborenka. *Japanese Educational and Scientific Review*, No. 1 (9), pp. 423–427.

22. Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R. and Cushing, C. E. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 37, No. 1, pp. 130–137. doi: 10.1139/f80-017.

References

1. Amosov, D. V., Akhmetzyanova, N. Sh. et al. (2003). *Ekologicheskiye problemy malyykh rek Respubliki Tatarstan (na primere Meshi, Kazanki i Sviyagi) [Ecological problems of minor rivers in the Republic of Tatarstan (case study of the Mesha River, Kazanka River and Sviyaga River)]*. Kazan: Fen, 289 p. (in Russian).

2. Bykov, V. D. and Vasilyev, A. V. (1977). *Gidrometriya: uchebnoye posobiye [Hydrometry: textbook]*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 448 p. (in Russian).

3. Hydrochemical Institute (2011). *RD 52.24.309–2011. Organizatsiya i provedeniye rezhimnykh nablyudeniye za sostoyaniyem i zagryazneniyem poverkhnostnykh vod sushi: [Regulatory Document RD 52.24.309–2011. Organization and implementation of monitoring observations of the state and pollution of land surface waters]*. Rostov-on-Don: Rosgidromet, Hydrotechnical Institute, 104 p. (in Russian).

4. Hydrochemical Institute (2012). *R 52.24.353–2012. Otkor prob poverkhnostnykh vod sushi i ochishchennykh stochnykh vod [Recommendations R 52.24.353–2012. Sampling of land surface water and treated wastewater]*. Rostov-on-Don: Rosgidromet, Hydrochemical Institute, 36 p. (in Russian).

5. Chief Public Health Officer of the Russian Federation (2000). *SanPin 2.1.5.980–00. Gigiyenicheskiye trebovaniya k okhrane poverkhnostnykh vod [Sanitary Rules and Regulations*

SanPin 2.1.5.980–00. Hygienic requirements for surface water protection]. Moscow: Ministry of Health of the Russian Federation, 18 p. (in Russian).

6. Levin, A. V. (2007). *Geoekologicheskiy analiz territorii vodosbora maloy reki: na primere basseyna Ugry [Geoecological analysis of the catchment area of a minor river: case study of the Ugra basin]*. PhD in Geography. Moscow: Moscow Region State University, 191 p. (in Russian).

7. Ministry of Natural Resources of the Russian Federation (2007). *Prikaz Ministerstva prirodnnykh resursov RF ot 17 dekabrya 2007 g. N 333 "Ob utverzhdenii metodiki razrabotki normativov dopustimyykh sbrosov veshchestv i mikroorganizmov v vodnye obyekty dlya vodopolzovateley" [Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 333 dd. 17.12. 2007 "On approval of a method for determination of permissible discharges of substances and microorganisms into water bodies for water users"]* (in Russian).

8. Nagornova, N. N. (2012). *Geoekologicheskaya otsenka sostoyaniya malyykh vodotokov Kaliningradskoy oblasti [Geoecological assessment of the state of minor watercourses in the Kaliningrad Region]*. PhD in Geography. Kaliningrad: Kaliningrad State Technical University (in Russian).

9. Naumova, M. E., Bukharina, I. L. (2015). Dinamika soderzhaniya medi v poverkhnostnykh vodakh reki Podborenka [Dynamics of the copper content in the Podborenka River surface water]. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*, No. 4, pp. 110–119 (in Russian).

10. Naumova, M. E. and Bukharina, I. L. (2017). Otsenka kachestva vody malyykh rek Podborenka i Pazelinka vodosbornoy ploshchadi Izhevskogo vodokhranilishcha [Assessment of the Izhevsk Reservoir catchment Podborenka and Pazelinka small water quality]. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*, No. 4, pp. 48–59 (in Russian).

11. Potapova, E. V., Pshenichnikova, M. E. and Sokolova, O. E. (2016). Issledovaniye sostoyaniya vodookhrannykh zon rek g. Irkutsk [Investigation of the water protection zones of rivers Irkutsk]. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series "Earth Sciences"*, vol. 15. pp. 89–103 (in Russian).

12. Sidorova, M. Yu. (2012). *Geoekologicheskaya otsenka zagryazneniya territorii Novosibirskaya i ego malyykh rek [Geoecological assessment of pollution in the territory of Novosibirsk and its minor rivers]*. PhD in Geography. Barnaul: Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (in Russian).

13. Technical Committee for Standardization TK 343 "Kachestvo Vody" (2008). *GOST R 51592–2000 Voda. Obshchiye trebovaniya k otkoru prob vody [State Standard GOST R 51592–2000. Water. General requirements for sampling]*. Moscow: Standardinform, 45 p. (in Russian).

14. Timchenko, Z. V. (2000). *Otsenka geoekologicheskogo sostoyaniya vodnykh resursov malyykh rek (na primere malyykh rek severnogo makrosklona Krymskikh gor) [Assessing the geoecological state of water resources of minor rivers (case study of minor rivers on the northern macro slope in the Crimean mountains)]*. PhD in Geography. Simferopol: Taurida National University.

15. Tuganaev, V. V. (2002). *Izhevsky prуд: sbornik statey [Izhevsk Pond: collection of articles]*. Izhevsk: Publishing House "Udmurtsky Universitet", 187 p. (in Russian).

16. Federal Agency for Fisheries (2010). *Prikaz No. 20 ot 18 yanvarya 2010 g. "Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predelno dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya"* [Order No. 20 dd. 18.01.2010 "Concerning approval of water quality standards for fishery water bodies, including maximum permissible concentrations of hazardous substances in waters of fishery water bodies"]. Moscow: Rosrybolovstvo, 369 p. (in Russian).

17. Center for Environmental Monitoring and Water Analysis (2002). *PND F 14.1:2:4.183–02. Metodika izmereniy massovoy koncentratsii tsinka v probakh prirodnykh, pitevykh i stochnykh vod fluorimetricheskim metodom na analizatore zhidkosti "FLYUORAT-02"* [Regulatory document for nature protection (federative) PND F 14.1:2:4.183–02. Method for measurement of zinc mass concentration in samples of natural, drinking and waste water by means of fluorimetric method using liquid analyzer "FLYUORAT-02"]. Moscow: Rosstandart, 18 p. (in Russian).

18. Center for Environmental Monitoring and Water Analysis (2003). *PND F 14.1:2:4.202–03. Metodika izmereniy massovoy koncentratsii nikelya v probakh prirodnykh, pitevykh i stochnykh vod fotometricheskim metodom na analizatore zhidkosti "FLYUORAT-02"* [Regulatory document for nature protection (federative) PND F 14.1:2:4.202–03. Method for measurement of nickel mass concentration in samples of natural, drinking and wastewater by means of photometric method using liquid analyzer "FLYUORAT-02"]. Moscow: Rosstandart, 14 p. (in Russian).

19. Center for Environmental Monitoring and Water Analysis (2010). *PND F 14.1:2:4.257–10. Metodika izmereniy massovoy koncentratsii medi v probakh prirodnykh, pitevykh i stochnykh vod fluorimetricheskim metodom na analizatore zhidkosti "FLYUORAT-02"* [Regulatory document for nature protection (federative) PND F 14.1:2:4.257–10. Method for measurement of copper mass concentration in samples of natural, drinking and waste water by means of the fluorimetric method using liquid analyzer "FLYUORAT-02"]. Moscow: Rosstandart, 13 p. (in Russian).

20. Chernyaev, A. M. (2001). *Voda Rossii. Malye reki [Waters of Russia. Small rivers]*. Yekaterinburg: AKVA-PRESS, 804 p. (in Russian).

21. Naumova, M. and Bukharina, I. (2015). The impact of human activities on the oil content in the water of the river Podborenka. *Japanese Educational and Scientific Review*, No. 1 (9), pp. 423–427.

22. Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R. and Cushing, C. E. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 37, No. 1, pp. 130–137. doi: 10.1139/f80-017.

Авторы

Наумова Марина Эдуардовна

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия

E-mail: esenin8@gmail.com

Бухарина Ирина Леонидовна, д-р биол. наук, профессор
Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия

E-mail: buharin@udmlink.ru

Ведерников Константин Евгеньевич, канд. биол. наук, доцент

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Россия

E-mail: buharin@udmlink.ru

Authors

Naumova Marina Eduardovna

Udmurt State University, Izhevsk, Russia

E-mail: esenin8@gmail.com

Bukharina Irina Leonidovna, Dr. of Biology, Professor
Udmurt State University, Izhevsk, Russia

E-mail: buharin@udmlink.ru

Vedernikov Konstantin Evgenievich, Ph. D. in Biology,
Associate Professor

Udmurt State University, Izhevsk, Russia

E-mail: buharin@udmlink.ru