

УДК 556 +504.45.058

**Александр Александрович Волчек¹, Сергей Иванович Парфомук²,
Николай Николаевич Шешко³, Наталья Николаевна Шпендик⁴,
Денис Николаевич Дашкевич⁵**

¹д-р геогр. наук, проф., декан факультета инженерных систем и экологии
Брестского государственного технического университета

²канд. техн. наук, доц., зав. каф. информатики и прикладной математики
Брестского государственного технического университета

³канд. техн. наук, доц., начальник научно-исследовательской части
Брестского государственного технического университета

⁴канд. геогр. наук, доц., доц. каф. теплогазоснабжения и вентиляции
Брестского государственного технического университета

⁵ст. преподаватель каф. природообустройства
Брестского государственного технического университета

Alexander Volchek¹, Sergey Parfomuk², Nikolay Sheshko³, Natallia Shpendik⁴, Denis Dashkevich⁵

¹Doctor of Geographical Sciences, Professor,
Dean of the Faculty of Engineering Systems and Ecology of Brest State Technical University

²PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Informatics and Applied Mathematics of Brest State Technical University

³PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Research Department
of Brest State Technical University

⁴PhD in Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department
of Heat and Gas supply and Ventilation of Brest State Technical University

⁵Senior Lecturer of the Department of Environmental Engineering of Brest State Technical University
e-mail: volchak@tut.by

ГИДРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ДОБЫЧИ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РУСЛЕ Р. ПРИПЯТЬ УЧАСТОК Н. П. КАЧАНОВИЧИ

Рассмотрены вопросы добычи нерудных строительных материалов (НСМ), которая оказывает негативное воздействие на окружающую среду и в каждом конкретном случае нуждается в научном обосновании допустимого изъятия. Нами изучалось влияние добычи НСМ на участке р. Припять около г/у Качановичи. С использованием программного комплекса «Гидролог» и COMSOL Multiphysics были рассчитаны гидрологические характеристики данного участка реки и смоделированы русловые процессы до и после проведения добычи НСМ. С учетом текущего рельефа дна и аналитически установленных участков потенциальной добычи нерудных материалов установлен объем возможного забора материала, который составил 80 376,04 м³. С целью обеспечения сохранения экологического стока реки работы на данных участках можно проводить не чаще одного раза в три года при обязательной повторной экологической оценке гидравлических и гидрологических процессов.

Ключевые слова: нерудные строительные материалы, экологический сток, Припять, русловые наносы.

Hydroecological Justification of Non-Metallic Building Materials Extraction in the Pripyat River Riverbed at the Kachanovich Section

The paper considers the issues of extraction of non-metallic building materials (NBM), which has a negative impact on the environment and in each case needs a scientific justification of the permissible withdrawal. The impact of the NBM extraction in the area of the Pripyat River at the Kachanovich section was studied. Using the software package «Hydrologist» and COMSOL Multiphysics, the hydrological characteristics of this river section were calculated and channel processes were modeled before and after the NBM extraction. Taking into account the current riverbed relief and analytically established areas of potential extraction of non-metallic materials, the volume of possible material intake amounted to 80376.04 m³ was determined. In order to ensure the preservation of the ecological flow of the river, the works on these sections can be carried out no more than once every three years with a mandatory re-environmental assessment of hydraulic and hydrological processes.

Key words: non-metallic building materials, ecological runoff, Pripyat River, riverbed sediments.

Введение

Добыча в руслах и поймах рек и других водоемах нерудных строительных материалов (НСМ), т. е. песка, гравия, гальки и их смесей, и доставка их потребителям – одна из важнейших составляющих деятельности речных портов, пароходств и речного транспорта в целом. Одновременно с речниками добычу НСМ ведут многочисленные строительные организации, располагающие мощными добывающими средствами. Координация природоохранных действий всех добывающих организаций пока еще организована слабо. Добывают НСМ землесосными, многочерпаковыми и одночерпаковыми снарядами и плавучими кранами в больших масштабах. Стремясь снизить расходы на добычу нерудных строительных материалов, места их добычи стараются размещать вблизи городов, где сосредоточены рабочие ресурсы. Особенно остро проявляются эти отрицательные последствия на реках с малыми расходами воды в межень либо в тех случаях, когда неблагоприятные изменения гидрологического режима под влиянием зарегулирования стока усугубляются последствиями добычи НСМ.

Добыча НСМ из рек может привести к многообразным негативным последствиям, среди которых нарушение структуры речного ложа и его оголение, изменение баланса поступления наносов из верхнего течения и его ската в нижнее, заиливание песка и гравия. Извлечение НСМ из русла может привести к подрыву кормовой базы рыб, разрушить нерестилища, икру и молодь рыб, понижает способность реки к самоочищению. Наиболее опасным является «отложенный» эффект такой добычи, когда экологические последствия становятся очевидными спустя десятилетия. Кроме того, иногда добыча гравия из русла реки предлагается в целях «восстановления ложа реки». К таким проектам следует относиться с особой осторожностью и, как правило, избегать их реализации. Если власти все же дают разрешение на такую деятельность, обязательным условием должно быть создание фонда для мониторинга и проведение восстановительных работ при необходимости.

Исследователи отмечают, что добыча песка и гравия в реках является главной причиной их деградации, особенно тогда, когда естественный твердый сток седиментов в реке нарушен гидростроительством. При бесконтрольной добыче НСМ у многих рек может снизиться меандрирование, произойти обвал берегов, нарушиться геометрия русел. Кроме того, такая деятельность обычно вызывает оголение и огрубление дна, разрушение нерестилищ, подмыв гидростроений и разрушение мостов, а также снижение твердого стока в дельту.

Наиболее отрицательными факторами при этом становятся повышение мутности и снижение проницаемости воды для света, доступности пищи и неблагоприятности условий обитания, т.е. забивание взвесью жабр. После проведения работ такими факторами становятся нарушение и разрушение нерестилищ рыб – лимнофилов, ухудшение условий миграции рыб, а также снижение самоочистительной способности реки.

Песок и гравий служат субстратом, на котором живут и размножаются нитрифицирующие бактерии. Поскольку частицы песка и гравия имеют разные размеры, песок находится под гравием и циркуляция воды обеспечивает обмыв всех частиц, играющих роль фильтров. При извлечении гравия и песка со дна там может остаться голая глина, которая в силу очень мелких частиц не обеспечивает циркуляции воды и ее самоочистки. В обычной же ситуации добыча песка и гравия вызывает понижение среднего уровня воды в реке и снижение уровня грунтовых вод. Вероятными морфологически важными последствиями добычи НСМ в руслах рек являются угрозы вероятности подмыва и эрозии берегов реки выше и ниже по течению из-за замещения добытого материала другим и изменения скорости и направления течения.

Также добыча НСМ в русле реки приводит к нарушению естественной водозащитной зоны реки – подмыву берегов, обрушению в воду деревьев и потере территории,

а также к снижению прочности гидросооружений (мостов, плотин и др.), что особенно часто проявляется в экстремальных ситуациях (наводнениях, землетрясениях и др.). Снижение уровня воды в реке также ведет к незалитию традиционных мест нереста фи-тофильных видов рыб и снижению количества отложенной икры и выклюнувшихся личинок. По этой причине в ряде стран добыча НСМ полностью запрещена.

Таким образом, при проектировании добычи строительных материалов из русловых карьеров крайне необходимо учитывать, что их добыча вносит в гидравлику речного потока и русловые процессы более существенные изменения, чем землечерпательные работы, проводимые для улучшения судоходных условий, когда грунт лишь перемещается в русле реки. Эти изменения выражаются в снижении уровней на участке расположения карьеров и вышележащем участке, в размыве русла в зоне кривой спада и увеличении там скоростей перемещения русловых мезоформ.

Материалы и методика исследования

Республиканское унитарное эксплуатационно-строительное предприятие «Днепро-Бугский водный путь» (РУЭСП «Днепробугводпуть») планирует выработку НСМ на участке 24–25 км р. Припять выше г. Пинска г/у Качановичи (рисунок 1).

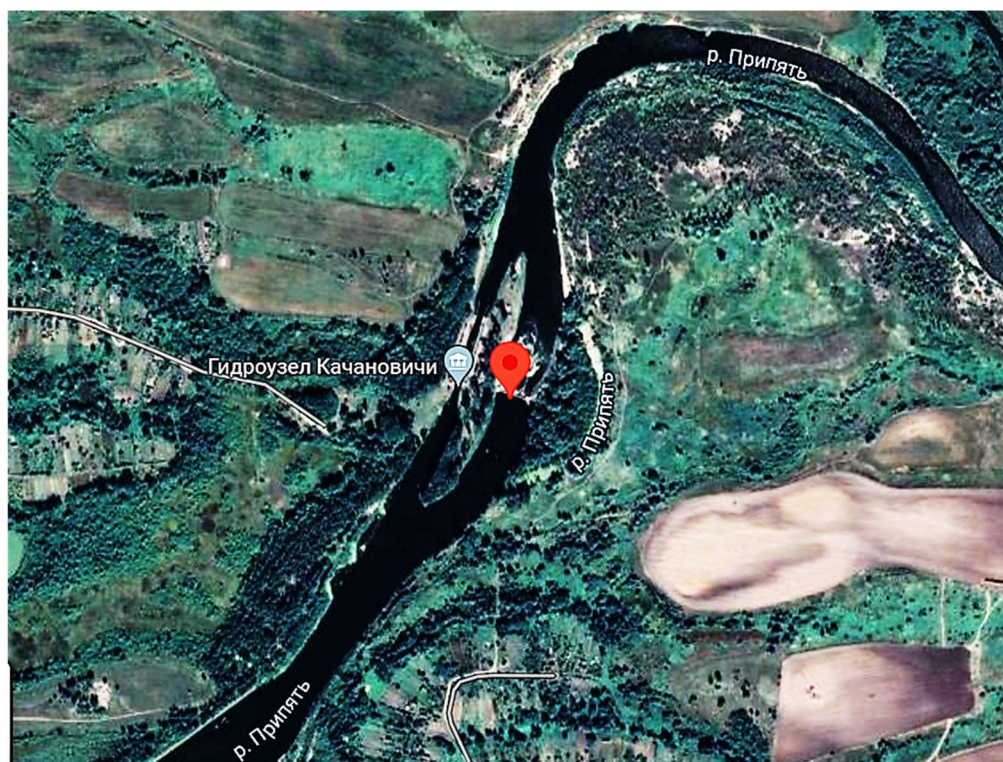


Рисунок 1 – Месторасположение исследуемого участка

Согласно ТКП 45-3.04-168-2009, определение расчетных гидрологических характеристик должно основываться на данных гидрометеорологических наблюдений, в т. ч. регулярных наблюдений последних лет, опубликованных в специальных документах в области гидрологии; дополнительно должны учитываться данные инженерно-гидрометеорологических изысканий [1]. В связи с тем, что на р. Припять в створе г/у Качановичи ведутся регулярные гидрологические наблюдения Республиканским центром по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, то определение расчетных гидрологических характеристик осуществлялось непосредственно по данным гидрологических наблюдений с учетом требований, изложенных

в [2]. В настоящей работе использованы данные гидрометрических наблюдений за период с 1978 по 2018 г., т. е. 41 год, что достаточно для получения объективных статистических гидрологических характеристик по р. Припять.

Пропущенные данные в рядах наблюдений восстановлены с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов с учетом наличия синхронности в колебаниях речного стока расчетного створа и створов-аналогов с помощью программного комплекса «Гидролог-2» [3].

Разработанная нами методика определения экологического стока рек детально изложена в работах [4; 5]. Остановимся вкратце на ее сути. Экологический сток – это то количество воды, которое должно оставаться в реке для обеспечения условий существования гидробионтов с одновременным сохранением ее необходимого качества. В этом случае сохраняются экосистемы пойм, а река остается элементом ландшафта. Таким образом, экологический сток обеспечивает количественное и качественное состояние водного объекта в самый маловодный период года. Существующие подходы определения экологического стока регламентируют только минимальное значение стока реки. При этом отсутствует определение экологического стока при различных обеспеченностях. Наиболее эффективным способом определения экологического стока с учетом внутригодового распределения является способ повышения обеспеченности, поэтому он использован в данной работе.

Русловые процессы в реках непрерывны и постоянно изменяются в зависимости от гидрологического режима. Интенсивность, характер и направленность русловых процессов определяются взаимодействием движущейся воды, перемещаемых водой наносов и слагающих ложе потока грунтов. Под влиянием этого взаимодействия возникают различные формы русла, которые влияют на гидравлические параметры потока. Климатические условия и свойства подстилающей поверхности водосбора обуславливают объем и режим стока воды, а также формирование твердого стока. Тем не менее русловой процесс в основном зависит от одного фактора – гидродинамического действия текущей воды, обладающей механической энергией и способной выполнять работу в виде размыва русла и поймы, переноса и аккумуляции наносов. Однако этот единственный фактор сам не является вполне независимым, т. к. он подчинен гидрологическому режиму реки и изменяется вместе с изменением режима стока.

Речной поток обладает транспортирующей способностью, т. е. способностью переносить определенное количество наносов данной крупности при соответствующих гидравлических характеристиках потока (уклон, скорость, глубина). Транспортирующая способность потока обычно выражается через среднюю мутность, отвечающую насыщенности потока наносами, или через максимальный расход взвешенных наносов, при котором процессы размыва и аккумуляции на данном участке реки взаимно уравновешиваются (динамическое равновесие). Если же фактическое содержание наносов в потоке меньше его транспортирующей способности, то происходит размыв русла, и, наоборот, чрезмерное содержание наносов в потоке, большее его транспортирующей способности, вызывает их выпадение (аккумуляцию).

Необходимо учитывать, что возникающие деформации русла, в свою очередь, непосредственно влияют на гидравлические характеристики потока (уклон, скорость) и, следовательно, на его транспортирующую способность. Если на каком-либо участке реки существовал установившийся режим транспорта наносов, то размывы русла вызовут увеличение площади живого сечения потока и, следовательно, при том же расходе воды уменьшение скорости течения, а в конечном счете и транспортирующей способности потока. В результате этого процесса должно иметь место или уменьшение, или полное прекращение размыва на этом участке.

При отложении наносов происходит уменьшение площади живого сечения потока и, следовательно, возрастание скорости течения потока и его транспортирующей способности, прекращающей процесс осаждения наносов. В зависимости от распределения скоростей течения на отдельных участках взвешенные наносы могут перейти в донные или, наоборот, донные наносы могут перейти во взвешенное состояние.

Вычисление расходов влекомых наносов равнинных рек с песчаным и песчано-гравелистым дном может применяться формула Шамова [6]:

$$Q_{\text{свл}} = 0,95 \sqrt{d_{\text{ср}}} \left(\frac{v_{\text{ср}}}{v_{\text{отл}}} \right)^3 \cdot (v_{\text{ср}} - v_{\text{отл}}) \cdot \left(\frac{d_{\text{ср}}}{H_{\text{ср}}} \right)^{1/4} \cdot B, \quad (1)$$

где $Q_{\text{свл}}$ – расход песчаных наносов, кг/с; $0,95 \sqrt{d_{\text{ср}}}$ – коэффициент, учитывающий состав донных наносов; $d_{\text{ср}}$ – средневзвешенный диаметр подвижных фракций донных наносов в пробе, взятой на данной вертикали, м; $v_{\text{отл}}$ – средняя скорость, при которой прекращается движение наносов данной крупности, м/с; H – глубина на вертикали, м; B – ширина реки, м.

Большая часть твердого стока рек проходит в периоды половодья и паводков. На равнинных рек в периоды половодья наблюдается опережение во времени нарастания расхода наносов по сравнению с расходом воды, причем максимум расхода наносов наступает несколько раньше пика паводка (примерно при расходе, равном $2/3 Q_{\text{макс}}$). При вторичной волне половодья или паводках при тех же расходах воды наблюдается меньший расход наносов, чем при основной волне половодья. Мутность поступающей в русло воды тем больше, чем интенсивнее поверхностный сток и чем энергичнее происходит смыв грунта с поверхности водосбора.

Таким образом, деформации русла, являющиеся следствием отсутствия или нарушения динамического равновесия между транспортирующей способностью потока и его насыщенностью наносами, как бы стремятся создать постоянство расхода наносов по длине потока. Отсюда следует, что нарушение постоянства расхода наносов по длине вызывает на одних участках эрозию, а на других аккумуляцию, что в конечном счете должно привести к восстановлению нарушенного равновесия постоянства расхода наносов по длине потока [8; 9].

Для исследуемого участка изыскания рельефа дна проводились в 2021 и 2022 гг. в периоды весеннего половодья средствами гидроакустического многолучевого эхолота. База данных измерений представляет собой файл со значениями координат в плоской системе и отметок (глубин) дна для отдельных измеренных точек. Обработка данных натурных измерений проводилась посредством авторских конструктивных инструментов в среде ArcGis с применением ряда аппроксимационных моделей для анализа рельефа. На основе сопоставительного анализа определены наиболее эффективные методы. В частности, метод интерполирует гидрологически корректную растровую поверхность по точечным, линейным и полигональным данным. Общая структура модели представлена на рисунке 2.

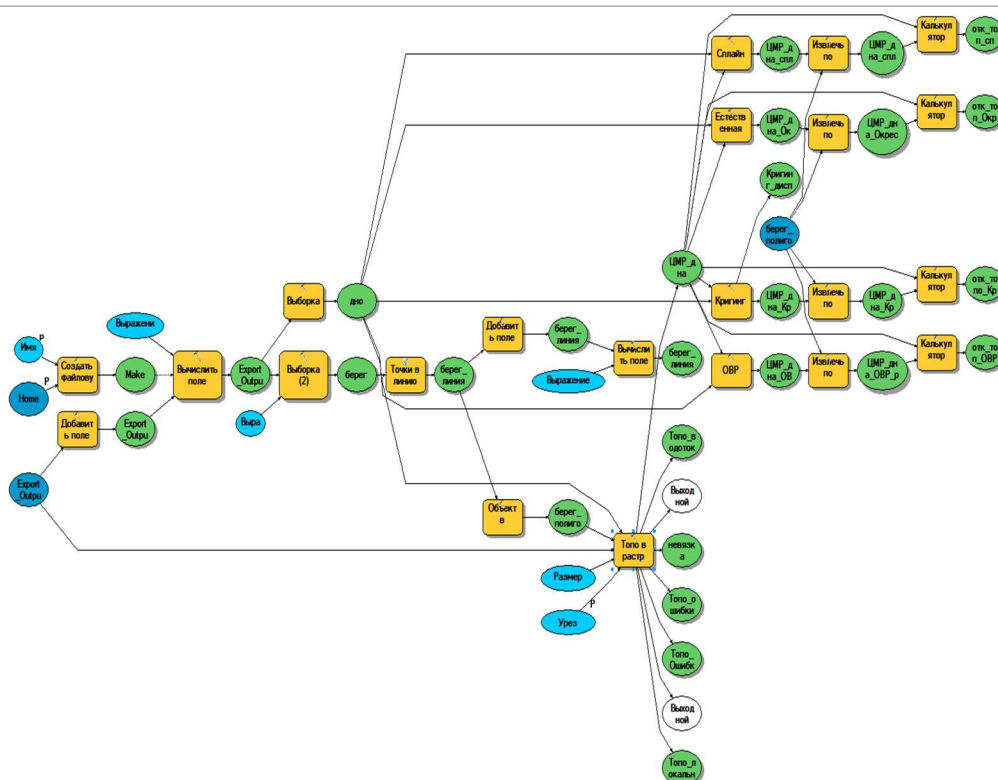


Рисунок 2 – Модель построения цифровой модели рельефа

Для проведения численного моделирования нами использовался модуль «Вычислительная гидродинамика», в котором представлен набор RANS-моделей турбулентности (модели, основанные на осредненных по Рейнольдсу уравнениях Навье – Стокса), реализованных в соответствующих гидродинамических интерфейсах. Доступны следующие модели турбулентных стационарных и нестационарных течений: двухпараметрические модели, дополнительные модели на основе уравнений переноса, алгебраические модели турбулентности, модели крупных вихрей (LES), описание пристеночной области [7; 10; 11].

Результаты и обсуждение

Данные о количественных характеристиках стока р. Припять – г/у Качановичи по месяцам и в годовом разрезе представлены в таблице 1. Внутригодовое распределение стока рек представлено на рисунке 5. По данным таблицы 1 на весенний период приходится 41 % от годового стока, зимний сток составляет 21 % от годового стока, на летне-осенний сезон приходится 38 % от годового стока.

Таблица 1 – Основные гидрологические характеристики стока р. Припять – г/у Качановичи

Пара- метры	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$Q, \text{м}^3/\text{с}$	80,7	95,6	136	169	117	78,5	65,6	57,6	55,0	61,2	72,9	77,4	88,0
C_v	0,47	0,53	0,51	0,38	0,36	0,44	0,49	0,58	0,61	0,56	0,56	0,50	0,30
C_s	0,73	0,62	0,66	0,45	0,58	1,21	1,30	1,04	1,28	1,32	1,41	1,27	0,44
$r(I)$	0,03	0,05	0,23	0,00	0,20	0,36	0,24	0,19	0,22	0,17	0,31	0,30	0,45

Примечание – Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; C_v – коэффициент вариации; C_s – коэффициент асимметрии.

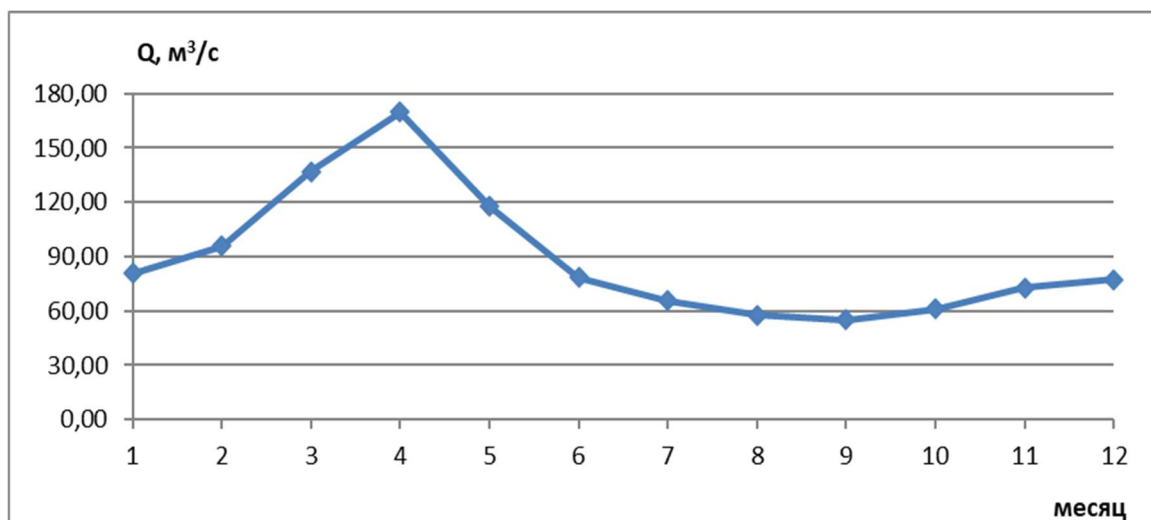


Рисунок 3 – Внутрішньорічне розподілення середньорічного стоку р. Прип'ять – г/у Качановичи

Середнє багаторічне значення мінімального річного стоку води 95 % ймовірно-сті перевищення р. Прип'ять в створі г/у Качановичи становить 57,7 м³/с. На рисунку 4 наведені результати розрахунку мінімальних середньомісячних витрат води 95 % ймовірно-сті перевищення (забезпеченості) з урахуванням внутрішньорічного розподілення стоку.

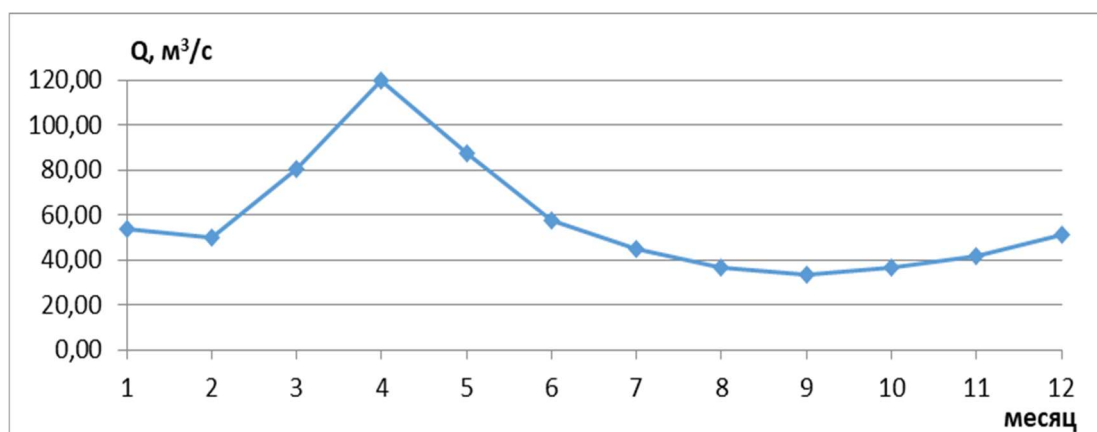


Рисунок 4 – Мінімальні середньомісячні витрати води 95 % забезпеченості з урахуванням внутрішньорічного розподілення стоку р. Прип'ять – г/у Качановичи

Ураховуючи багаторічні спостереження за стоком р. Прип'ять, розмір екологічного стоку в створі г/у Качановичи прийнято як 75 % від мінімального місячного стоку 95% забезпеченості і становить 12,3 м³/с. Якщо при розрахунку використовувати метод переносу забезпеченостей, екологічний сток річки Прип'ять 95 % ймовірно-сті перевищення (забезпеченості) згідно проведеним гідрологічними розрахунками становить 48,2 м³/с.

Отримані результати лягли в основу розрахунку швидкості течії води, відповідної екологічному стоку, з урахуванням внутрішньорічного розподілення стоку і існуючих до початку запланованих робіт в руслі р. Прип'ять площей поперечного сечення в місцях плануваних прорізів для ділянок 24 км і 25 км (таблиці 2 і 3).

Таблица 2 – Скорости течения воды для участка 24 км, соответствующие экологическому стоку 95 % вероятности превышения (обеспеченности) с учетом внутригодового распределения, м/с

Прорезь	Экологический сток (75 % от минимального месячного стока 95 % обеспеченности)	Экологический сток (перенос обеспеченностей)
1	0,05	0,20
2	0,05	0,20
3	0,05	0,20
4	0,04	0,16
5	0,04	0,16
6	0,03	0,12
7	0,02	0,10
8	0,03	0,11
9	0,05	0,18
10	0,04	0,18
11	0,04	0,16
12	0,04	0,15
Минимум	0,02	0,10

Таблица 3 – Скорости течения воды для участка 25 км, соответствующие экологическому стоку 95 % вероятности превышения (обеспеченности) с учетом внутригодового распределения, м/с

Прорезь	Экологический сток (75 % от минимального месячного стока 95 % обеспеченности)	Экологический сток (перенос обеспеченностей)
1	0,05	0,19
2	0,06	0,24
3	0,06	0,23
4	0,07	0,29
5	0,08	0,32
6	0,09	0,37
7	0,10	0,38
8	0,09	0,37
9	0,09	0,37
10	0,10	0,38
11	0,09	0,34
12	0,05	0,21
13	0,08	0,33
14	0,10	0,38
15	0,11	0,43
16	0,10	0,39
17	0,10	0,38
18	0,11	0,45
19	0,11	0,44
20	0,11	0,42
Минимум	0,05	0,19

На основании имеющихся данных о речном стоке и с применением математического моделирования определены среднемесячные и среднегодовые значения твердого стока, включающего сток взвешенных и сток влекомых наносов, представленные в таблице 4.

Таблица 4 – Твердый сток р. Припять – г/у Качановичи с учетом внутригодового распределения, м³/мес (год)

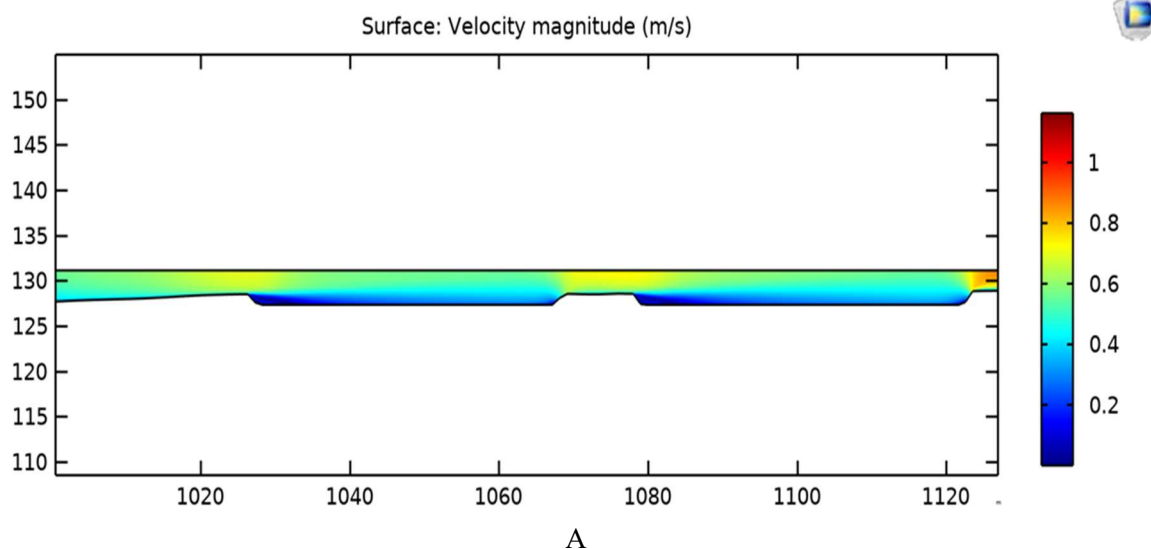
Вид стока	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Сток взвешенных наносов	4 064	2 879	4 906	8 008	6 295	3 832	2 985	2 430	2 231	2 439	2 772	3 411	46 252
Сток влекомых наносов	659	636	1 701	3 734	2 279	746	558	277	300	419	418	284	12 011
Твердый сток	4 723	3 515	6 607	11 742	8 574	4 578	3 543	2 707	2 531	2 858	3 190	3 695	58 263

С целью определения геометрических размеров поперечных сечений выполнено преобразование растровых моделей русла в линейный и пространственный набор данных в виде векторных точечных файлов. В качестве расчетных заданы поперечные створы и продольный створ. Расположение поперечных створов соотносилось с расположением прорезей, продольный профиль проложен через зону основной массы донных отложений вдоль правого берега.

Рассмотрим деформацию эпюры скоростей в створе продольного разреза. Общая структура модели включает три граничных условия: входной расход в виде типовой эпюры местных скоростей на расчетной вертикали; выходной створ с нулевым избыточным давлением; граница, непроницаемая для жидкости с заданной шероховатостью; открытая граница с избыточным давлением. Гидравлическая модель составлена с учетом турбулентности и внешних сил инерции (гравитация, центростремительное ускорение).

Как видно на рисунке 5 А, в зоне прорезей придонная скорость составляет менее 0,15 м/с, что значительно повысит интенсивность отложений нерудного материала (участок 24 км). На участках перемычек скорость достигает 0,75 м/с (участок 24 км), данная скорость выше гидравлической крупности грунта сложения ложа русла. Данная скорость приведет к постепенному уполаживанию геометрических форм перемычек (технологических разрывов).

Как видно на рисунке 5 Б, в зоне прорезей придонная скорость составляет менее 0,25 м/с, что значительно повысит интенсивность отложений нерудного материала (участок 25 км). На участках перемычек скорость достигает 0,8 м/с (участок 25 км), что также приводит к отложению наносов и частичному размыву.



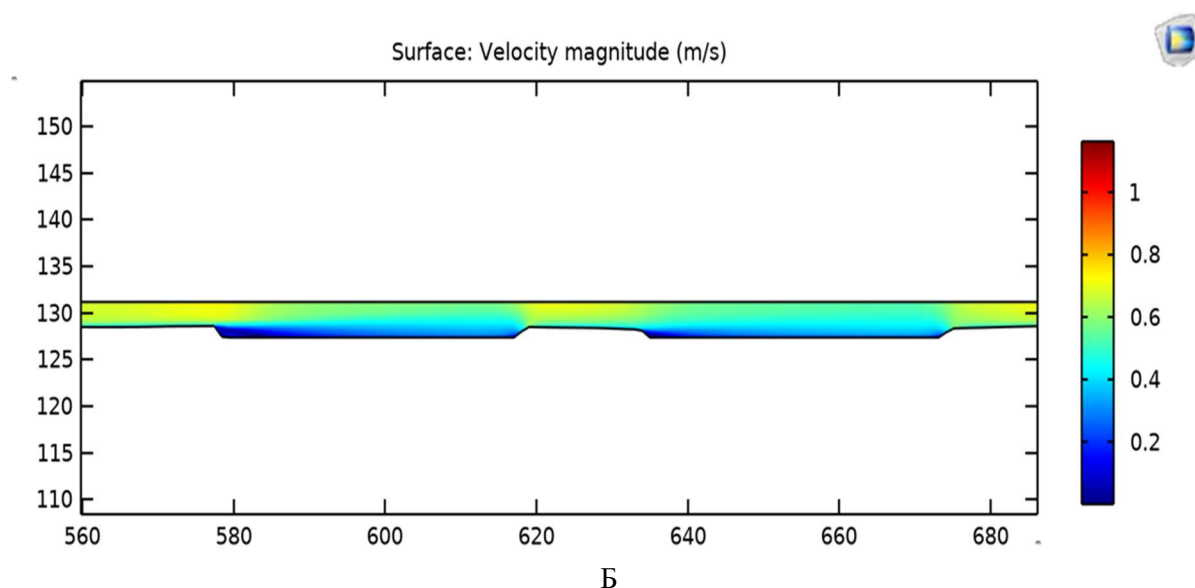


Рисунок 5 – Результат моделирования эпюр скоростей вдоль продольного профиля

На основе предварительного размещения прорезей в зонах наибольших донных наносов и зон с минимальной интенсивностью русловых процессов вычислен ориентировочной объем возможных заборов НСМ (таблица 5).

Таблица 5 – Расчетный объем прорезей на 24 км

Номер прорези	Площадь, м ²	Глубина, м			Объем, м ³
		минимальная	максимальная	средняя	
1	320	0,000	2,970	1,881	602,07
2	323	0,000	1,755	1,112	359,22
...	...	...	...	...	...
72	321	0,000	1,079	0,977	313,56
73	320	0,000	0,962	0,834	266,94
				Итого	36 543,54

Таблица 6 – Расчетный объем прорезей на 25 км

Номер прорези	Площадь, м ²	Глубина, м			Объем, м ³
		минимальная	максимальная	средняя	
101	320	0,000	3,163	2,474	791,70
102	320	0,000	2,779	2,004	641,13
...	...	...	...	...	...
177	322	0,000	2,023	1,611	518,66
178	318	0,000	3,158	2,064	656,29
				Итого	43 832,50

Скорости течения воды по всем планируемым прорезям для участков 24 км и 25 км после проведения запланированных работ по добычи нерудных строительных материалов будут выше, чем минимальная скорость течения воды, соответствующая экологическому стоку 95 % вероятности превышения (обеспеченности), равная 0,10 м³/с для участка 24 км и 0,19 м³/с – для участка 25 км.

Заклучение

В основу определения естественного гидрологического режима р. Припять положена оценка существующего и прогнозируемого режима водотока с экологическим стоком, который обеспечивает функционирование водотока как экосистемы. Проведение

работ по добыче нерудных строительных материалов вызывает изменения параметра русла, что, в свою очередь, приводит к изменению гидрологического режима. Так как нормальное функционирование водотока возможно при наличии в нем экологического стока, то нами была произведена сравнительная оценка смоделированных показателей гидрологического режима с экологическим стоком р. Припять на данном участке.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что планируемые работы по добыче нерудных строительных материалов не повлекут нарушение экологического состояния р. Припять. При этом в реке будет наблюдаться скорость течения воды выше, чем это необходимо для экологического стока, и в реке будут обеспечены условия для существования гидробионтов с одновременным сохранением необходимого качества воды.

Анализ численного моделирования продольного потока показал перераспределение скоростей в пределах прорезей и технологических разрывов. Изменения эпюры скоростей формируют участки со скоростью течения менее 0,15 м/с (24 км) и менее 0,25 м/с (участок 25 км) в пределах углубленной части прорези. На выходе из прорезей для всех участков характерно резкое повышение скорости потока (более 0,75–0,8 м/с). Данная структура перераспределения скоростей повышает интенсивность образования отложений взвешенных и влекомых наносов в углублениях. В то же время это снижает скорость трансформации пространственного положения береговой линии русла по отношению к антропогенным объектам. С учетом текущего рельефа дна и аналитически установленных участков потенциальной добычи нерудных материалов установлен объем возможного забора материала, который составил 80 376,04 м³. Так как расчетные объемы образования наносов для участков 24 км и 25 км составляют 11 466 м³/год и 17 095 м³/год соответственно, то работы по забору нерудных материалов на данных участках можно проводить не чаще одного раза в три года при обязательной повторной экологической оценке гидравлических и гидрологических процессов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения : ТКП 45-3.04-168-2009 (02250). – Минск : Стройтехнорм, 2010. – 55 с.
2. Волчек, А. А. Гидрологические расчеты : учеб. пособие / А. А. Волчек. – М. : КНОРУС, 2021. – 418 с.
3. Волчек, А. А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока // А. А. Волчек, С. И. Парфомук / Весн. Палес. дзярж. ун-та. Сер. прыродазн. навук. – 2009. – № 1. – С. 22–30.
4. Волчек, А. А. Оценка экологического стока реки Ясельда в створе водохранилища «Селец» / А. А. Волчек, Н. Н. Шешко // Современные проблемы очистки сточных вод и охраны ресурсов поверхностных вод в приграничье : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 24–25 сент. 2015 г. / гл. ред. Н. В. Михальчук. – Брест : Альтернатива, 2015. – С. 12–22.
5. Оценка влияния рыбхоза «Селец» на сток реки Ясельда / А. А. Волчек [и др.] // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2022. – № 1 (127) : Геоэкология. – С. 83–85.
6. Волчек, А. А. Инженерная гидрология и регулирование стока. Гидрологические и водохозяйственные расчеты : учеб. пособие / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек, В. К. Курсаков. – Горки : Белорус. гос. сельскохозяйств. акад., 2013. – 315 с.
7. Курушин, А. А. Решение мультифизических СВЧ-задач с помощью SAPR COMSOL / А. А. Курушин. – М. : One-Book, 2016. – 376 с.
8. Михневич, Э. И. Устойчивость берегов водохранилищ при формировании профиля динамического равновесия в несвязных грунтах / Э. И. Михневич, В. Е. Левкевич // Мелиорация. – 2016. – № 4 (78). – С. 18–23.

9. Михневич, Э. И. Пропускная способность русел регулируемых рек и водоотводящих каналов / Э. И. Михневич // Природная среда Полесья: особенности и перспективы развития : сб. науч. тр. – Брест : Альтернатива, 2008. – Вып. 1 : в 2 т. – Т. 2 : Водные ресурсы Полесья. – С. 38–41.

10. Официальный сайт ComsolMultiphysics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.comsol.com/>.

11. Ошовский, В. В. Использование компьютерных систем конечно-элементного анализа для моделирования гидродинамических процессов / В. В. Ошовский, Д. И. Охрименко, А. Ю. Сысоев // Наук. пр. ДонНТУ. Сер.: Хімія і хім. технологія. – 2010. – Вип. 15 (163). – С. 163–173.

12. Об утверждении Положения о порядке определения размера компенсационных выплат и их осуществления : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 7 февр. 2008 г., № 168.

REFERENCES

1. Raschiotnyje gidrologichieskije kharakteristiki. Poriadok opriedielienija : ТКР 45-3.04-168-2009 (02250). – Minsk : Strojtekhnorm, 2010. – 55 s.

2. Volchick, A. A. Hidrologichieskije raschioty : uchieb. posobie / A. A. Volchick. – M. : KNORUS, 2021. – 418 s.

3. Volchick, A. A. Pakiet prikladnykh programm dlja opriedielienija raschiotnykh kharakteristik riechnogo stoka / A. A. Volchick, S. I. Parfomuk // Viesn. Palies. dziarhz. un-ta. Sier. pryrodazn. navuk. – 2009. – № 1. – S. 22–30.

4. Volchick, A. A. Ocenka ekologichieskogo stoka rieki Jasiel'da v stvorie vodokhranilishcha «Sielič» / A. A. Volchick, N. N. Sheshko // Sovriemiennye problemy ochistki stochnykh vod i okh-rany riesursov povierkhnostnykh vod v prigranichje : materialy miezhdu-nar. nauch.-prakt. konf., Brest, 24–25 sient. 2015 g. / gl. ried. N. V. Mikhal'chuk. – Brest : Al'ternativa, 2015. – S. 12–22.

5. Ocenka vlijanija rybkhoza «Sielič» na stok rieki Jasiel'da / A. A. Volchick [i dr.] // Vestn. Brest. gos. tiekhn. un-ta. – 2022. – № 1 (127) : Gieoekologija. – S. 83–85.

6. Volchick, A. A. Inzheniernaja gidrologija i riegulirovanije stoka. Hidrologichieskije i vodokhoziajstviennye raschioty : uchieb. posobie / A. A. Volchick, An. A. Volchick, V. K. Kursakov. – Gorki : Bielorus. gos. siel'skokhoz. akad., 2013. – 315 s.

7. Kurushin, A. A. Rieshenije mul'tifizichieskikh SVCh-zadach s pomoshchju SAPR COMSOL – M. : One-Book, 2016. – 376 s.

8. Mikhnevich, Ye. I. Ustojchivost' bieriegov vodokhranilishch pri formirovanii profilia dinamichieskogo ravnovesija v niesviaznykh gruntakh / Ye. I. Mikhnevich, V. Ye. Liev-kievich // Mielioracija. – 2016. – № 4 (78). – S. 18–23.

9. Mikhnevich, Ye. I. Propusknaja sposobnost' rusiel riegulirujemykh riek i vodoотво-diashchikh kanalov / Ye. I. Mikhnevich // Prirodnaja srieda Polies'ja: osobiennosti i pierspiek-tivy razvitija : sb. nauch. tr. – Brest : Al'ternativa, 2008. – Vyp. 1 : v 2 t. – T. 2 : Vodnyje riesursy Polies'ja. – S. 38–41.

10. Oficial'nyj sajт ComsolMultiphysics [Elektronnyj riesurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.comsol.com/>.

11. Oshovskij, V. V. Ispol'zovanie kompjuternykh sistiem koniechno-eliementnogo analiza dlja modelirovanija gidrodinamichieskikh processov / V. V. Oshovskij, D. I. Okhri-mienko, A. Yu. Sysojev // Nauk. pr. DonNTU. Sier.: Khimija i khim. tekhnolohija, 2010. – Vyp. 15 (163). – S. 163–173.

12. Ob utvierzhdenii Polozhenija o poriadkie opriedielienija razmiera kompiensacion-nykh vyplat i ikh osushchestvlienija : postanovlenie Sovieta Ministrov Riesp. Bielarus', 7 fievr. 2008 g., № 168.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 13.10.2022