

УДК 556.18

ОЦЕНКА ДОПУСТИМОЙ ДОБЫЧИ НЕРУДНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ РУСЛА НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ПРИПЯТЬ

А.А. Волчек д.г.н., С.И. Парфомук к.т.н., Н.Н. Шешко к.т.н., Н.Н. Шпендик к.г.н.,  
С.В. Сидак

*Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь  
E-mail: volchak@tut.by*

В статье обоснована возможность проведения работ по добыче нерудных строительных материалов из русла реки Припять на основе сопоставления существующего и определения прогнозируемого экологического стока реки. Проведенное численное моделирование продольного потока показало перераспределение скоростей в пределах прорезей и технологических разрывов, которые формируют участки со скоростью течения менее 0,3 м/с в пределах углубленной части прорези, и повышенные скорости более 0,9 м/с на участках технологических разрывов, что повышает интенсивность отложения наносов. Установлен объем возможного забора материала из реки, который составил 33122,5 м<sup>3</sup>, что соответствует проведению работ не чаще 1 раза в 3 года при обязательной повторной экологической оценке гидравлических и гидрологических процессов. Определены суммарные компенсационные выплаты за вредное воздействие планируемых работ на ихтиофауну реки Припять на территории Пинского района Брестской области.

**Ключевые слова:** нерудные строительные материалы, экологический сток, моделирование, прогноз, Припять

Поступила: 01.08.22

DOI: 10.54668/2789-6323-2022-105-2-6-24

**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, паромств 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, заиление 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 дадут 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 проводит 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 фитофильных 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.

## **ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Республиканское унитарное эксплуатационно-строительное предприятие «Днепро-Бугский водный путь» (РУЭСП «Днепробугводпуть») планирует выработку НСМ на участке 6-7 км р. Припять выше г. Пинска (рисунок 1). Река Припять – крупнейший судоходный правый приток Днепра длиной 775 км и площадью водосбора 114,3 тыс. км<sup>2</sup>. В исследуемом створе ширина реки составляет 50...60 м, дно песчаное и песчано-илистое, средний уклон реки 0,08 м/км. Питание смешанное, с преобладанием снегового.

Для водного режима характерно длительное весеннее половодье: с первой декады марта, максимум в середине апреля, спад затягивается на 3...3,5 месяца. Летняя кратковременная межень прерывается дождевыми паводками и

почти ежегодным осенним поднятием уровня воды. На весну приходится 60...65 % годового стока, вода поднимается до 3,5 м, сопровождается обширными разливами. Цвет воды определяется преобладанием в бассейне реки торфяно-болотных почв.



*Рис.1. Месторасположение исследуемого участка*

Определения основных гидрологических характеристик. Согласно ТКП 45-3.04-168-2009, определение расчетных гидрологических характеристик должно основываться на данных гидрометеорологических наблюдений, в том числе регулярных наблюдений последних лет, опубликованных в специальных документах в области гидрологии; дополнительно должны учитываться данные инженерно-гидрометеорологических изысканий (Расчетные гидрологические характеристики, 2009). В связи с тем, что на р. Припять в створе г. Пинск (мост Любанский) в непосредственной близости от места добычи НСМ 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 (Волчек А.А., 2021). В настоящей работе использованы

данные гидрометрических наблюдений за период с 1978 по 2018 гг., т.е. 41 год, что достаточно для получения объективных статистических гидрологических характеристик по р. Припять в створе г. Пинск (мост Любанский). 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» (Волчек А.А., Парфомук С.И., 2009).

Методика определения экологического стока рек. Разработанная нами методика определения экологического стока рек детально изложена в (Волчек А.А. и др., 2022; Волчек А.А., Шешко Н.Н., 2015). 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.** 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 текучей воды, обладающей механической энергией и способной выполнять работу в виде размыва русла и поймы, переноса и аккумуляции наносов.

Речной поток обладает транспортирующей способностью, т.е. способностью переносить определенное количество наносов данной крупности при соответствующих гидравлических характеристиках потока. 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 уравниваются (динамическое равновесие). Если же фактическое содержание наносов в потоке меньше его транспортирующей способности, то происходит размыв русла, и наоборот, чрезмерное содержание наносов в потоке 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 вызывают 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 осадения 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 (Волчек А.А. и др., 2013):

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

где  $Q_{\text{всл}}$  – расход песчаных наносов, кг/с;  $0,95 \sqrt{d_{\text{сп}}}$  – коэффициент, учитывающий состав донных наносов;  $d_{\text{сп}}$  – 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; В – ширина реки, м.

Большая часть твердого стока рек проходит в периоды половодья и паводков. На равнинных реках 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  $2/3Q_{\text{макс}}$ ). 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 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 (Михневич Э.И., 2008; Михневич Э.И., Левкевич В.Е., 2016). Анализ данных исследований рельефа дна. Для исследуемого участка изыскания рельефа дна проводились в 2021 и 2022 годах 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 по средствам 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.

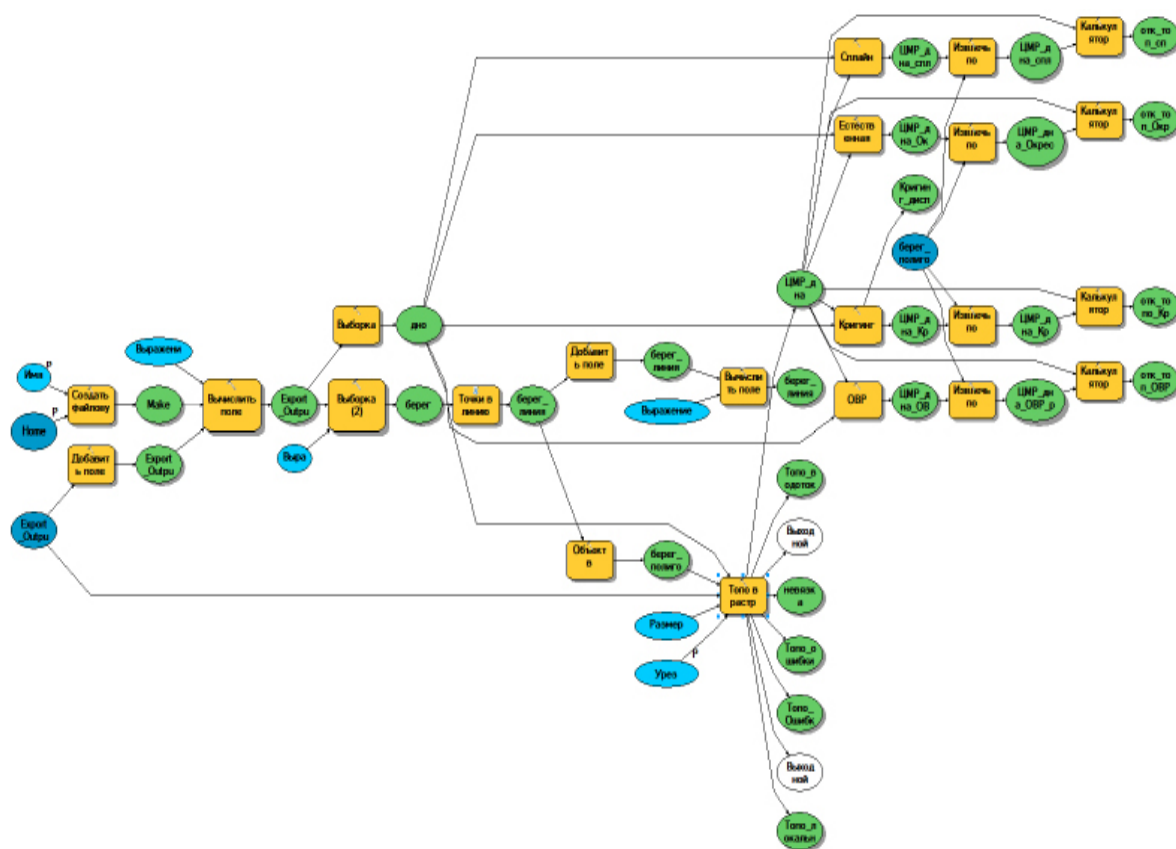


Рис.2. Модель построения цифровой модели рельефа

В результате обработки данных изысканий представленных «Днепробугводпуть» получены цифровые модели рельефа дна участка русла (рисунок 3, рисунок 4). Используя программный комплекс COMSOL Multiphysics, нами смоделирован водный поток в исследуемом русле р. Припять. COMSOL Multiphysics – это универсальная среда для моделирования сложных физических процессов, которая позволяет моделировать практически все физические процессы, которые описываются частными дифференциальными уравнениями. Точные мультифизические модели учитывают широкий диапазон рабочих условий и большой набор физических явлений. Таким образом, моделирование помогает понимать, проектировать и оптимизировать процессы и устрой-

ства с учетом реальных условий их работы. 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 (Курушин А.А., 2016; <http://www.comsol.com/>; Ошовский В.В. и др., 2010).

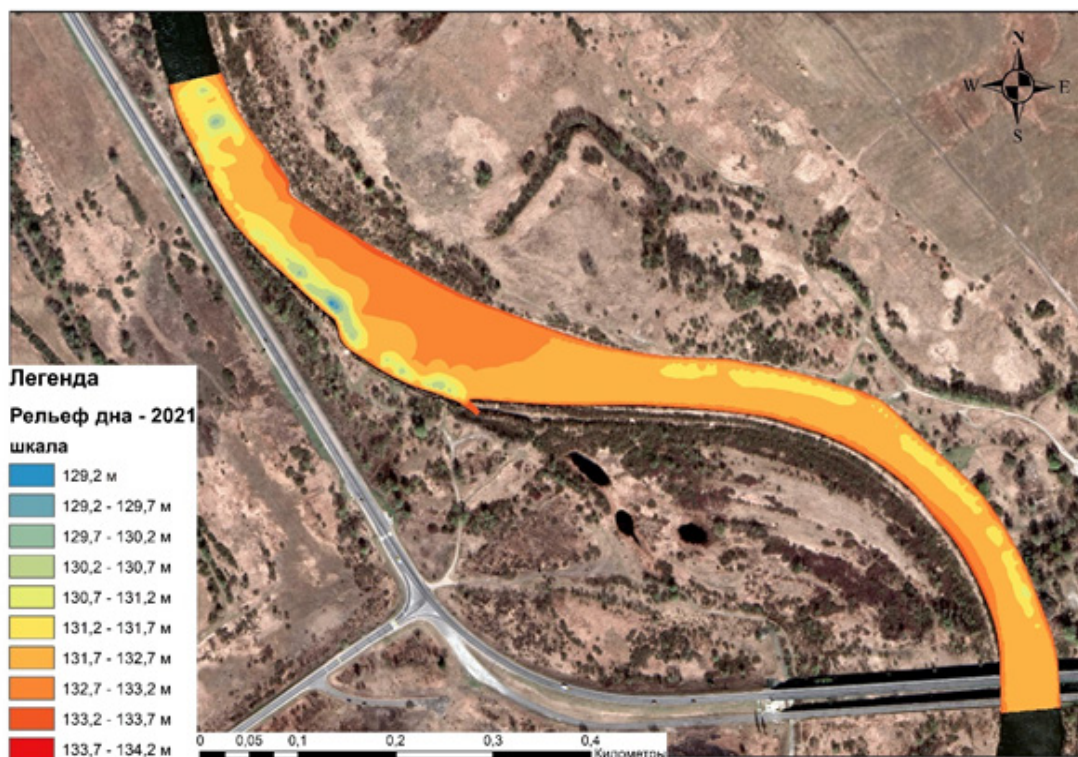


Рис.3. Цифровая модель рельефа (2021 г.)

Видовой состав ихтиофауны и численность рыбы в р. Припять на территории Пинского района и компенсационные выплаты. В соответствии с действующим законодательством по охране рыбных запасов и

мест их обитания в естественных условиях, планируемые работы могут быть согласованы в случае выполнения оценки ущерба, причиненного ими ихтиофауне водотока, и расчета размера компенсационных выплат за

оказанное на нее вредное воздействие (Постановление, 2008). Компенсационные выплаты по конкретному виду объектов животного

мира (в данном случае рыб) рассчитывается отдельно по каждой зоне воздействия с последующим суммированием результатов.

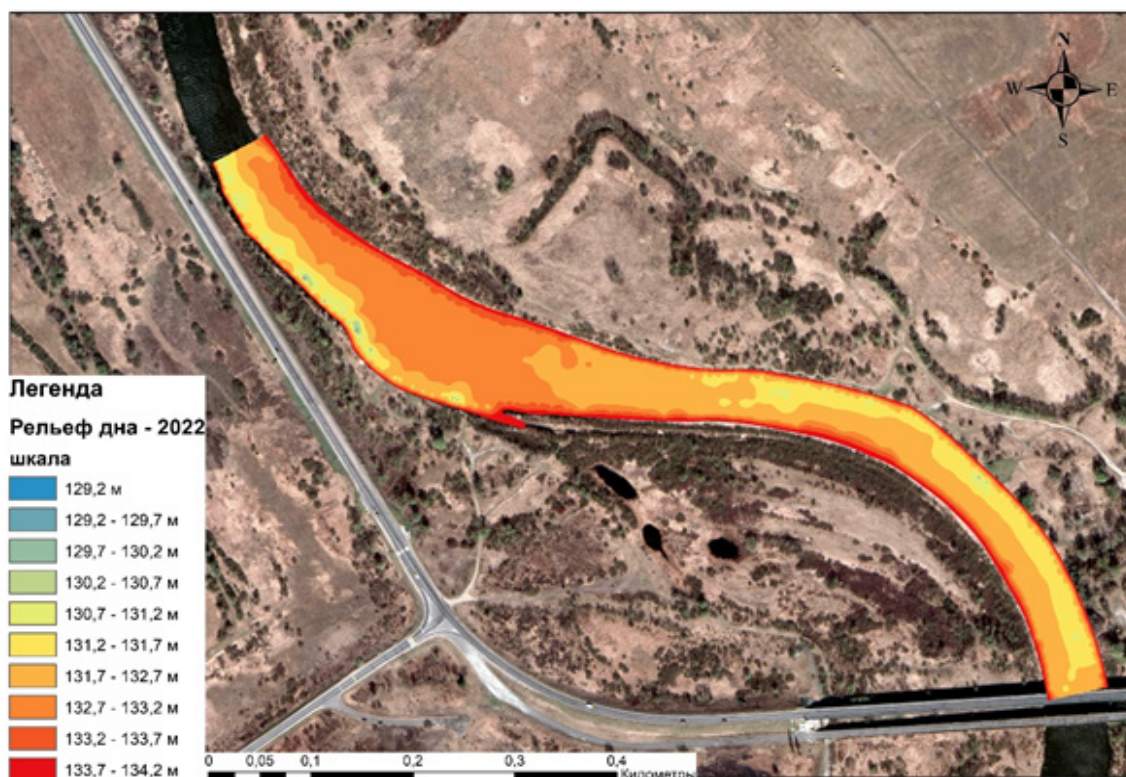


Рис.4. Цифровая модель рельефа (2022 г.)

По данным лаборатории ихтиологии ГНПО «Научно-производственный центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам» структура ихтиофауны р. Припять на территории Пинского района представлена 35 видами рыбы, а по отношению к нерестовому субстрату подразделяются на 8 экологических групп. Все представители ихтиофауны исследуемого района принадлежат к туводным мигрантам, совершающим непродолжительные в течение одного сезона и в границах одного речного бассейна нерестовые, кормовые и зимовальные миграции без выхода в море и обратно.

В реке на исследуемом участке обитают 11 видов рыбы, относящихся к реофи-

лам (живущим только в реках): белоглазка, жерех, подуст, голавль, елец, чехонь, рыбец, голец усатый, ерш-носарь, бычок-песочник и бычок-кругляк. Остальные 24 вида рыбы принадлежат к обще-пресноводной экологической группе – живущим в озерах и реках.

По рыбохозяйственной классификации река относится к водным объектам первой категории, для которых норма допустимого вылова рыбы с одного гектара рыболовных угодий составляет 32,4 кг в год. Общая биомасса рыбы на единицу площади, с учетом коэффициента перерасчета промыслового запаса в общую биомассу равного 1,49, определена по зависимости

$$B = H_{ДВ} \cdot K_{ПЗ} \cdot K_{Б} \quad (2)$$

где В – общая биомасса рыбы на единицу площади, кг/га;  $N_{дв}$  – норматив допустимого вылова рыбы, кг/га;  $K_{пз}$  – коэффициент пересчета норматива допустимого вылова рыбы в промысловый запас рыбы;  $K_б$  – коэффициент пересчета про-

мыслового запаса рыбы в общую биомассу. Базовая плотности особей или численность рыбы по видам на площади реки 1 га до начала проведения работ определена на основе имеющихся исходных данных по зависимости

$$B_{пл} = \frac{B \cdot D \cdot S}{100 \cdot M} \quad (3)$$

где БПЛ – базовая плотность особей на 1 гектар, до начала проведения планируемых работ, шт/га; В – общая биомасса рыбы (независимо от веса и размера), кг/га; D – доля рыбы по видам, в структуре ихтиофауны, %; S – площадь участка реки, га; M – средне штучная масса рыбы по видам, кг.

Проведение работ в русле р. Припять РУЭСР «Днепробугводпуть» планирует земле-сосным снарядом типа «ЗС-28Б».

Площади негативного воздействия планируемой инженерно-хозяйственной деятельности на ихтиофауну р. Припять определены в соответствии с Положением о порядке определения размеров компенсационных выплат и их осуществлении, утвержденным постановлением Совета Министров от 07.02.2008 № 168 по зависимости: зона прямого уничтожения -

$$S_{зпу} = (L_{выр} \cdot B_{выр}) / 10000 \quad (4)$$

где  $S_{зпу}$  – площадь зоны прямого уничтожения, га;  $L_{выр}$  – длина выработки грунта по

реке, м;  $B_{выр}$  – ширина выработки грунта, м; зона сильного вредного воздействия –

$$S_{зсв} = (P_{зпу} \cdot L_{зсв}) / 10000 \quad (5)$$

где  $S_{зсв}$  – площадь зоны сильного вредного воздействия, га;  $P_{зпу}$  – периметр водного зеркала реки зоны пря-

мого уничтожения, м;  $L_{зсв}$  – ширина зоны сильного вредного воздействия, м; зона умеренного вредного воздействия –

$$S_{зув} = (P_{зсв} \cdot L_{зув}) / 10000 \quad (6)$$

где  $S_{зув}$  – площадь зоны умеренного вредного воздействия, га;  $P_{зсв}$  – периметр водного зеркала реки зоны сильного

вредного воздействия, м;  $L_{зув}$  – ширина зоны умеренного вредного воздействия, м; зона слабого вредного воздействия –

$$S_{зслв} = (P_{зув} \cdot L_{зслв}) / 10000 \quad (7)$$

где  $S_{зслв}$  – площадь зоны слабого вредного воздействия, га;  $P_{зув}$  – периметр водного зеркала реки зоны умеренного вредного воздействия, м;  $L_{зслв}$  – ширина зоны слабого вредного воздействия, м.

Численность половозрелых особей-производителей соответствует 70 % от общей биомассы рыбы, 30 % составляют младшие возрастные группы (далее – мо-

лодь). В связи с ухудшением условий среды обитания его часть будет вынуждена покинуть территорию воздействия, а молодь погибнет вследствие большей восприимчивости к дефициту кислорода и засорения жаберного аппарата взвешенными частицами. Поэтому на территории воздействия погибнет до 30 % общей численности всей популяции рыбы, т.е.

$$B_{плл} = 0,30 \cdot B_{пл} \quad (8)$$



где  $B_{\text{плл}}$  – базовая плотность особей погибших во время проведения работ на 1 га, шт./га;  $B_{\text{пл}}$  – базовая плотность особей до начала проведения работ на 1 га, шт./га.

За гибель объектов животного мира, снижение численности и прироста при

утрате или нарушении среды обитания вследствие проведения работ по добыче полезных ископаемых на водных объектах предусмотрены компенсационные выплаты, которые рассчитываются по зависимости

$$K_B = S_{\text{ЗВ}} K_{\text{РГ}} B_{\text{плл}} (1 + K_{\text{ГПР}}) П_{\text{ВЗ}} K_{\text{РС}} K_{\text{СТ}} \quad (9)$$

где  $K_B$  – компенсационные выплаты по конкретному виду (группе видов) объектов жи-вотного мира;  $S_{\text{ЗВ}}$  – площадь зоны вредного воздействия, гектаров;  $K_{\text{РГ}}$  – коэффициент реагирования объектов животного мира на вредное воздействие, где все виды диких животных объединены в условные группы (категории) со сходными систематическими

и экологическими признаками;  $B_{\text{плл}}$  – базовая плотность объектов животного мира, особей на гектар (для беспозвоночных – килограммов на гектар), шт/га;  $K_{\text{ГПР}}$  – коэффициент годового прироста объектов животного мира в пересчете на одну особь;  $П_{\text{ВЗ}}$  – продолжительность вредного воздействия (временный лаг), лет, рассчитываемая по формуле:

$$П_{\text{ВЗ}} = (t_c + t_p) \quad (10)$$

где  $t_c$  – продолжительность проведения строительных работ, лет;  $t_p$  – срок восстановления исходной численности на территориях вредного воздействия – период регенерации;  $K_{\text{РС}}$  – коэффициент, учитывающий ресурсную стоимость объектов животного мира (1 экземпляра) в кратности к базовой величине;  $K_{\text{СТ}}$  – коэффициент статуса территории, где планируется проведение строительных и иных работ.

При расчете размеров компенсационных выплат на территории вредного воздействия следует учитывать потери численности и годовой продуктивности (среднее арифметическое значение) по зонам, в рассматриваемом случае:

- I зона – зона прямого уничтожения, где потери численности и годовой продуктивности составляют от 75 до 100 %;
- II зона – зона сильного вредно-

го воздействия – от 50 до 74,9 %;

- III зона – зона умеренного вредного воздействия – от 25 до 49,9 %;
- IV зона – зона слабого вредного воздействия – до 24,9 %.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основные гидрологические характеристики. Данные о количественных характеристиках стока р. Припять – г. Пинск (мост Любанский) 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.

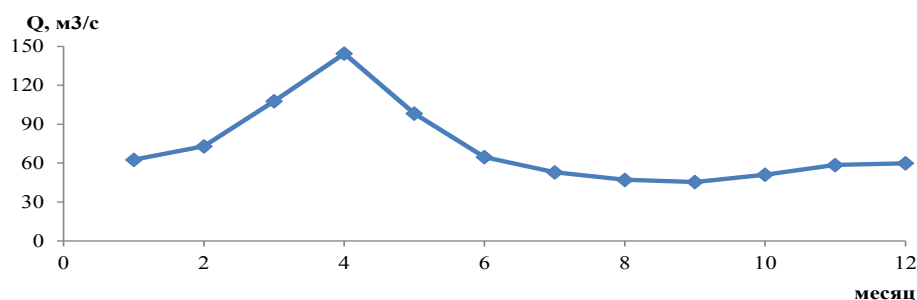


Рис.5. Внутригодовое распределение среднемноголетнего стока р. Припять – г. Пинск (мост Любанский)

Таблица 1

Основные гидрологические характеристики стока р. Припять – г. Пинск (мост)

Параметры	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$Q$	62,6	72,9	108	144	98,2	64,6	52,9	47,1	45,5	51,0	58,5	59,9	71,2
$C_v$	0,44	0,50	0,50	0,44	0,33	0,37	0,45	0,53	0,56	0,51	0,53	0,48	0,27
$C_s$	0,80	0,49	0,65	1,45	0,46	1,00	1,35	1,25	1,43	1,33	1,52	1,54	0,41

Среднее многолетнее значение минимального годового стока воды 95 % вероятности превышения р. Припять в створе г. Пинск (мост Любанский) составляет 46,7 м<sup>3</sup>/с. На рисунке 6 приведены

результаты расчета минимальных среднемесячных расходов воды 95 % вероятности превышения (обеспеченности) с учетом внутригодового распределения стока.

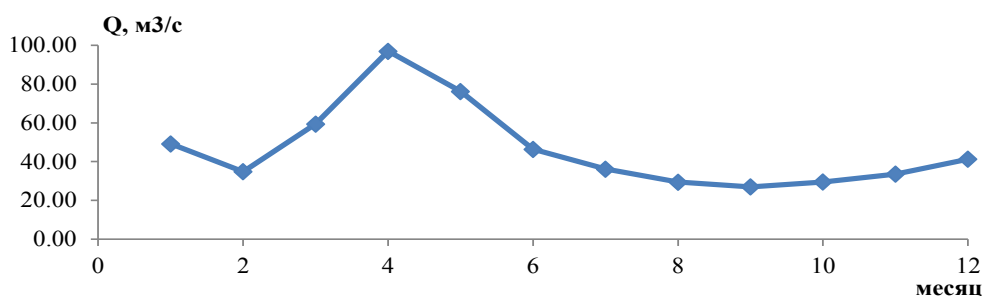


Рис.6. Минимальные среднемесячные расходов воды 95 % обеспеченности с учетом внутригодового распределения стока р. Припять – г. Пинск (мост Любанский)

Таблица 2

Скорости течения воды, 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	0,11	0,42
2	0,09	0,36
3	0,10	0,38
4	0,11	0,42
5	0,08	0,31
6	0,08	0,33
7	0,08	0,31
8	0,08	0,32
9	0,09	0,34
10	0,10	0,38
11	0,09	0,35
12	0,09	0,34
<b>Минимум</b>	<b>0,08</b>	<b>0,31</b>

Размер экологического стока р. Припять в створе г. Пинск (мост Любанский) принят как 75 % от минимального месячного стока 95 % обеспеченности и составляет 9,90 м<sup>3</sup>/с. При использовании метода переноса обеспеченностей экологический сток р. Припять 95 % вероятности превышения согласно проведенным гидрологическим расчетам составляет 39,0 м<sup>3</sup>/с. Полученные результаты легли в основу расчета скорости течения воды, соответствующей эко-

логическому стоку, с учетом внутригодового распределения стока и существующих до начала запланированных работ в русле р. Припять площадей поперечного сечения в местах планируемых прорезей (таблица 2).

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 3.

Таблица 3

Твердый сток р. Припять – г. Пинск (мост Любанский) с учетом внутригодового распределения, м<sup>3</sup>/мес(год)

Месяцы												Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<i>Сток взвешенных наносов</i>												
3288	2329	3970	6479	5093	3101	2415	1966	1805	1974	2243	2760	37423
<i>Сток влекомых наносов</i>												
546	490	1449	3165	1915	630	435	215	254	352	321	248	10020
<i>Твердый сток</i>												
3834	2819	5419	9644	7008	3731	2850	2181	2059	2326	2564	3008	47443

С целью анализа русловых процессов на исследуемом участке проведены вычисления изменений отметок дна русла (рисунок 7). Как видно из сравнительной модели основные русловые процессы наблюдаются на участке ниже моста и участке излучины близ левого берега. Таким образом, можно предполагать, что данные участки участвуют в

активных руслообразовательных процессах, поэтому не рационально вовлекать их в любые антропогенные мероприятия. В количественном выражении соотношение объема наносов по состоянию 2021 года и 2022 года имеет положительный баланс, что предположительно связано с увеличением меандр в направлении дороги с улучшенным покрытием.

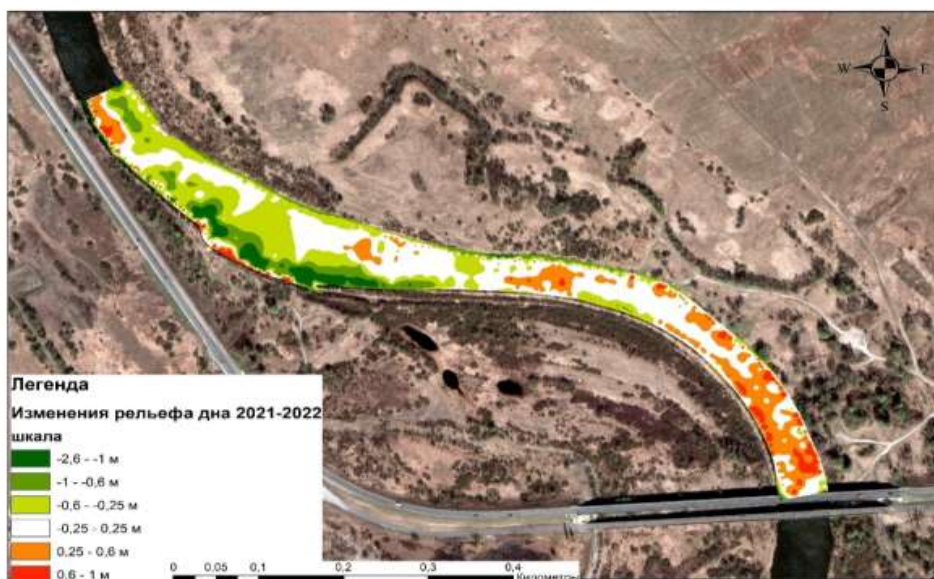


Рис. 7. Изменения рельефа дна за 1 год (с 2021 по 2022 гг.)

Для вычисления скоростей течения воды в поперечном сечении планируемых прорезей построены эпюры распределения скоростей по живому сечению реки для ка-

ждой прорези в существующем состоянии и состоянии трансформированного поперечного сечения в соответствии со схемой расположения расчетных сечений (рисунок 8).

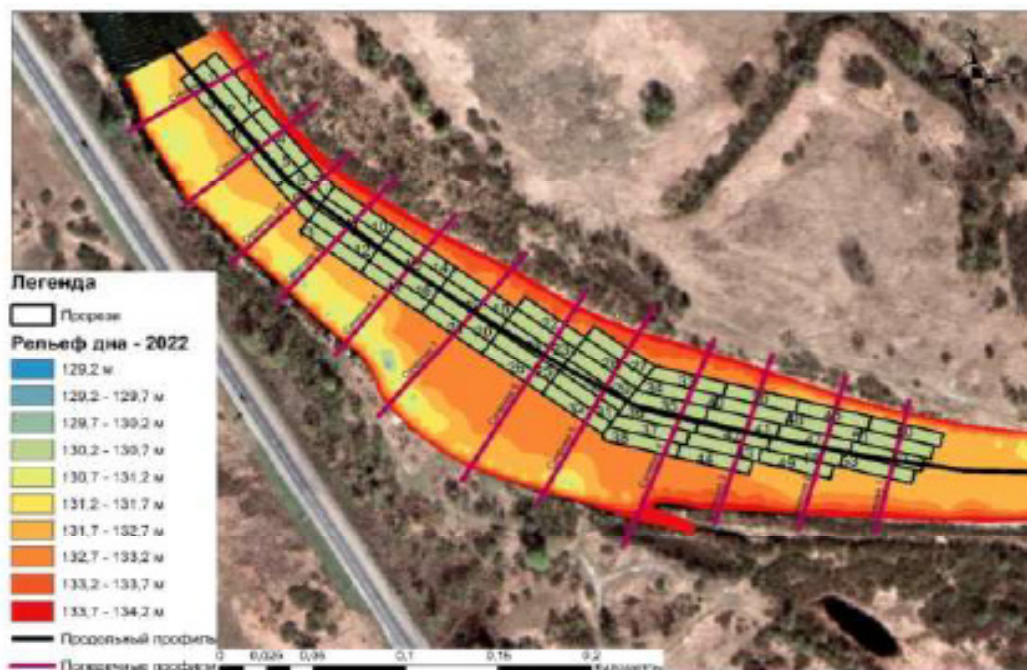


Рис.8. Схема расположения расчетных сечений и номера прорезей

С целью определения геометрических размеров поперечных сечений выполнено преобразование растровых моделей русла в 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 (рисунок 9). 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 не проницаемая для жидкости с заданной шероховатостью; открытая граница с избыточным давлением. Гидравлическая модель составлена с учетом турбулентности и внешних сил инерции. Из рисунка 9А видно, что в зоне прорезей скорость составляет менее 0,31 м/с, что значительно повысит интенсивность отложений нерудного материала. На участ-

ках перемычек скорость превышает 0,9 м/с, при этом данная скорость выше гидравлической крупности грунта сложения ложа русла и в будущем приведет к постепенному уположиванию геометрических форм перемычек (технологических разрывов).

На рисунках 10 и 11 представлены поперечные профили участка реки в районе предполагаемой прорези 1 до начала предполагаемых работ и после.

Учитывая среднее многолетнее значение стока в р. Припять в створе г. Пинск (мост Любанский) и площади поперечного сечения в местах планируемых прорезей до и после проведения работ, рассчитаны скорости течения воды по 12 планируемым прорезям (таблица 4).

Сопоставляя данные в таблицах 2 и 4, можно заключить, что скорости течения воды по всем 12 планируемым прорезям после проведения запланированных работ по добычи НСМ будут выше, чем минимальная скорость течения воды, соответствующая экологическому

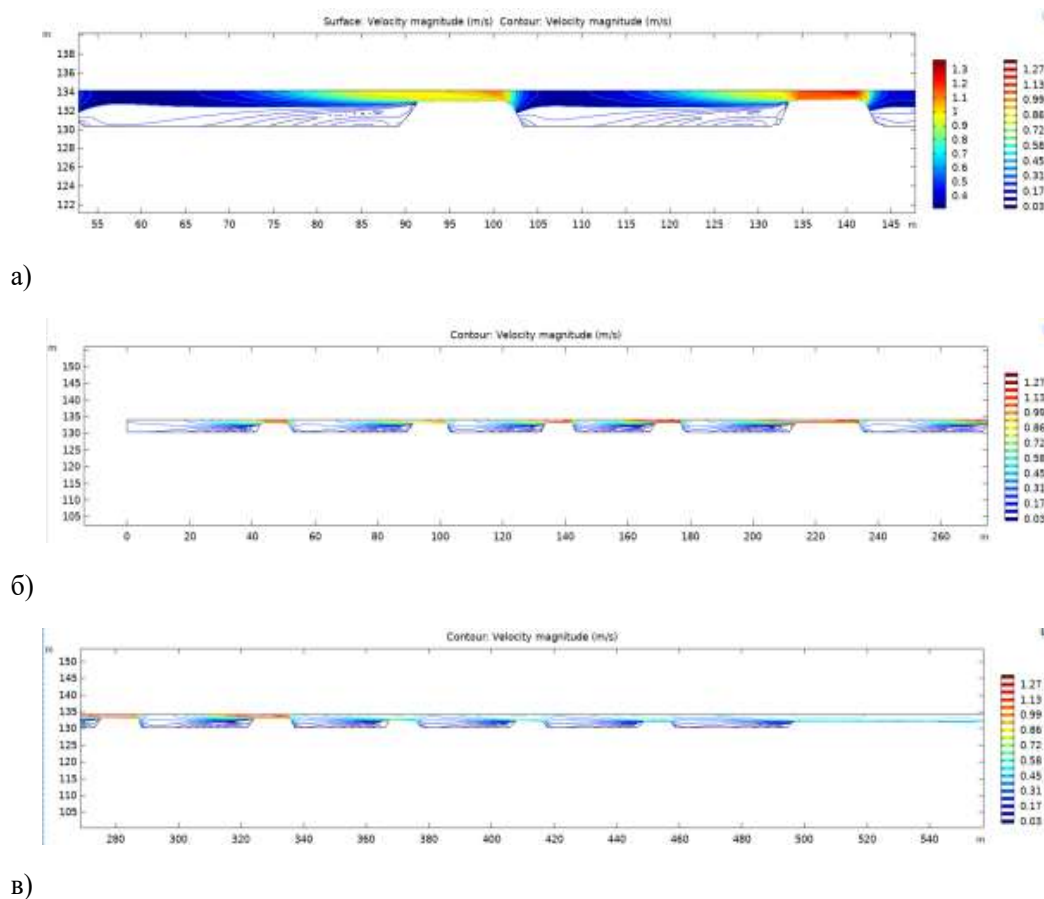


Рис.9. Результат моделирования эюр скоростей вдоль продольного профиля:  
 а) участок ПК0-ПК26; б) участок ПК6-ПК14 в) участок ПК28-ПК50

Таблица 4

Скорости течения воды по 12 планируемым прорезям до и после проведения запланированных работ по добыче НСМ, м/с

Прорезь	До проведения работ по добыче НСМ	После планируемых работ
1	0,76	0,54
2	0,65	0,46
...	...	...
12	0,62	0,47
<b>Минимум</b>	<b>0,56</b>	<b>0,32</b>

стоку 95% обеспеченности, равная 0,31 м<sup>3</sup>/с. Причем, последнее значение получено по методу переноса обеспеченностей и является в некотором смысле «оценкой сверху» скорости воды экологического стока. Если же рассматривать скорость течения воды, соответствующую экологическому стоку, равному 75 % от минимального месячного стока 95 % обеспеченности, то ми-

нимальная скорость в прорези 5 (0,32 м<sup>3</sup>/с) в 4 раза превосходит наименьшую скорость экологического стока, равную 0,08 м<sup>3</sup>/с. 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).

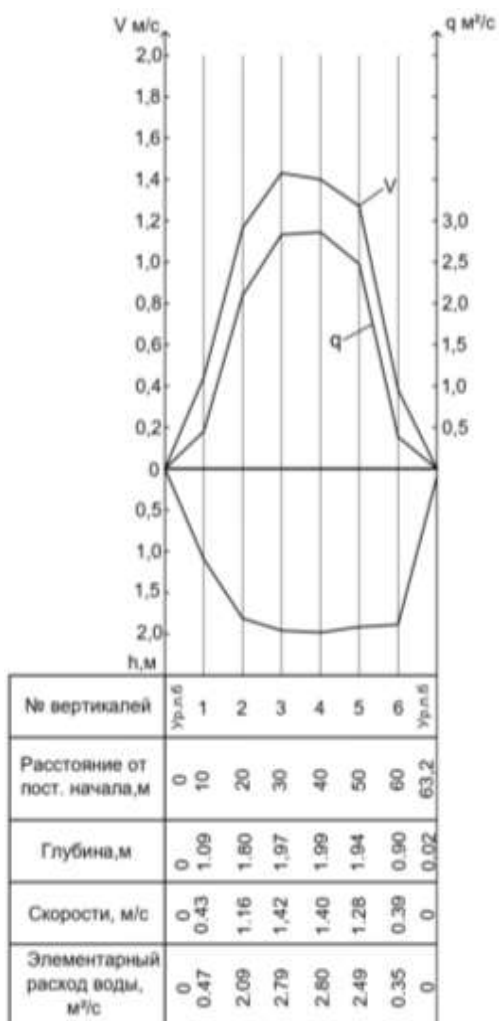


Рис.10. Эпюры распределения средних скоростей по ширине р. Припять до проведения планируемых работ (Прорезь 1)

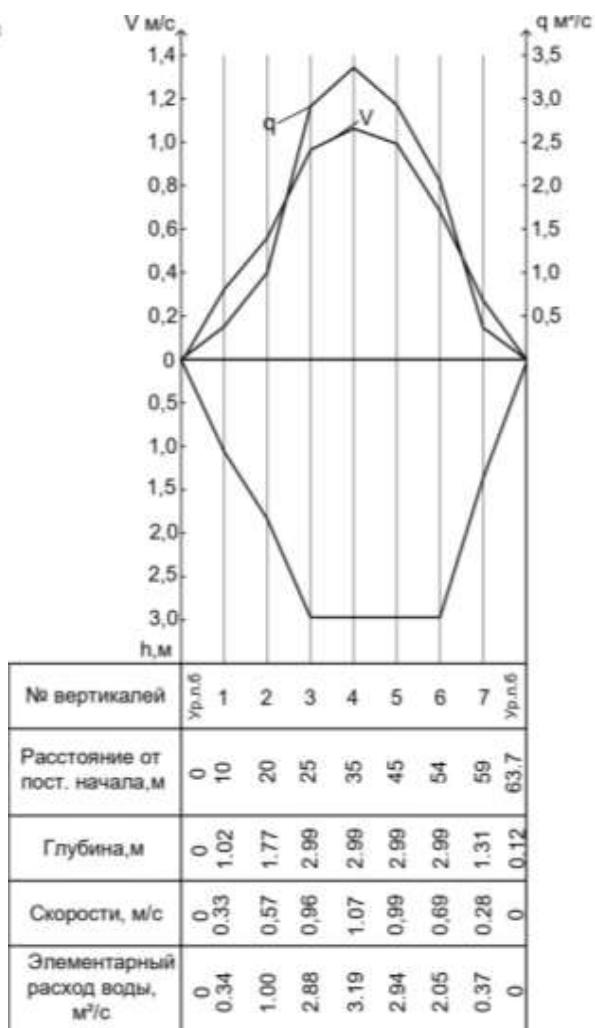


Рис.11. Эпюры распределения средних скоростей по ширине р. Припять после проведения планируемых работ (Прорезь 1)

Таблица 5

Расчетный объем прорезей

Номер прорези	Площадь, м²	Глубина, м			Объем, м³
		минимальная	максимальна	средняя	
1	320	1,83	3,05	2,57	821,22
2	320	2,20	2,82	2,65	847,16
...	...	...	...	...	...
52	320,5	1,78	1,81	1,80	575,54
53	320,5	1,80	1,88	1,82	582,51
<b>Итого</b>					<b>42424,27</b>

Средняя скорость течения воды по всем планируемым прорезям после проведения запланированных работ может уменьшиться с 0,65 до 0,42 м³/с, что приведет к образованию дон-ных отложений объемом

11034 м³/год. Полученные результаты показывают, что планируемые работы 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 существования гидробионтов с одновременным сохранением необходимого качества воды. При разработке рекомендуется сохранять разрывы (10 м) в разработке для формирования локальных искажений поля скоростей и таким образом мест более интенсивного

отложения взвешенных и влекомых наносов. Кроме того, в соответствии с техническими условиями необходимо предусмотреть перемычку до и после кабеля связи (20 м). С учетом вышеприведенных обстоятельств схема размещения прорезей представлена на рисунке 12. При данном расположении прорезей объем выемки составит 33122,5 м<sup>3</sup>.



Рис.12. Номера и размещение прорезей с учетом технологических разрывов

#### Расчет компенсационных выплат.

Данный вид работ, несомненно, оказывает воздействие на ихтиофауну водотока. Величину наносимого ущерба можно оценить с помощью методики расчета компенсационных выплат. По рыбохозяйственной классификации река относится к водным объектам первой категории, для которых норма допустимого вылова рыбы с одного гектара рыболовных угодий составляет 32,4 кг в год.

Сведения о структуре ихтиофауны, средне-штучной массе и базовой плотности (численности) рыбы по видам на территории исследуемого района приведены в таблице 6.

Средняя эксплуатационная производительность земснаряда типа «ЗС- 28Б» составляет 450 т/час. Для изъятия грунта допустимым количеством потребуется 140 часов непрерывной работы земснаряда, то есть вредное воздействие на ихтиофауну водотока будет осуществляться в течение 5,83 суток.

Ширина зоны сильного вредного воздействия установлена в 1000 м, зоны умеренного вредного воздействия – в 500 м. С учетом планируемой инженерно-хозяйственной деятельности, площади вредного воздействия рассчитаны для 3-х зон. Оценены суммарные площади вредного воздействия: - зона прямого уничтожения – 1,65 га; - зона сильного вредного воздействия – 13,78 га; - зона умеренного вредного воздействия – 6,20 га; - зона слабого вредного воздействия – 6,20 га.

Определенные площади нужно рассматривать как участки, которые не смогут давать рыбопродукцию и потомство от нее, на протяжении всех лет репродукционной способности части популяции.

В р. Припять на территории Пинского района на площади в 1 га в рыбном стаде обитает в среднем 1817 штук рыбы.

Ожидаемый ущерб планируемым в 2022 г. видом инженерно-хозяйственной деятельности на исследуемых участках русла, оценивается в 552 штуки рыбы на 1 га площади водотока. Коэффициент статуса территории на исследуемых участках равен 1 для всех видов рыбы, кроме включенного в «Красную книгу Республики Беларусь» рыба, для которого коэффициент равен 3. Суммарные компенсационные выплаты, за оказанное вредное воздействие на ихтиофауну р. Припять планируемых РУЭСР «Днепробугводпуть» работ по добыче НСМ на территории Пинского района Брестской области, оценены в 341 базовую величину.

**Мероприятия по снижению негативного воздействия.** Для повышения устойчивости русла к прогнозируемым планово-высотным деформациям, непосредственно в процессе разработки прорезей рекомендуется соблюдать следующие условия:

- длина прорезей не может превышать протяженность существующих русловых образований, созданных рекой в многолетнем разрезе и в период навигации 2022 г., поэтому до начала проведения планируемых работ необходимо уточнить размещение и длину мелководных участков русла;
- ширина углубления не должна нарушать устойчивость береговых откосов – на исследуемых участках со свободно меандрирующим типом руслового процесса она не может быть более 0,5 ширины русла по урезу воды межженного расхода 50 % обеспеченности;
- глубина разработки принимается от поверхности дна водотока и является средней толщиной снимаемого слоя грунта;
- выработку грунта следует начинать с нижнего участка разработки и постепенно перемещаться вверх против течения, что позволит взвеси образующейся при проведении работ, осажаться в разрабатываемой прорези;
- при проведении планируемых работ между последовательно расположенными прорезями необходимо оставлять неразработанные донные участки русла длиной около 10 м для местного искусственного базиса эрозии;
- прорези следует разместить на расстоянии не менее 5 м от берега, что позволит

минимизировать резкий обвал разрабатываемых мелководных участков русла и предотвратить обрушение береговых откосов.

В условиях возрастающего антропогенного воздействия на русловой процесс водотока, для уменьшения падения отметок уровня воды и дна русла инженерными способами стабилизации и рекультивации естественного режима р. Припять рекомендуется предусмотреть:

- создание ниже планируемых выработок НСМ искусственных местных базисов эрозии – затопленных шпунтовых стенок, донных порогов;
  - отсыпку на береговых откосах и в русло крупнозернистого материала;
  - создание искусственных зон для обитания ихтиофауны и др.
- Сроки выполнения работ по добыче НСМ должны исключать периоды нерестовых миграций и нереста рыб.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В основу определения естественного гидрологического режима р. Припять положена оценка существующего и прогнозируемого экологического стока, 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, нами выполнена сравнительная оценка смоделированного экологического стока 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 0,3 м/с в пределах углубленной части прорези, и повышенные скорости (более 0,9 м/с) на участках технологических разрывов. Данная структура перераспределения скоростей повышает интенсивность отложений наносов, и при этом снижает скорость трансформации пространственного положения береговой линии русла по отношению антропогенным объектам.

Сопоставление цифровых моделей рельефа дна по состоянию на 2021...2022 годы позволило установить незначительную положительную тенденцию в образовании наносов на исследуемом участке. С учетом текущего рельефа дна и аналитически установленных участков потенциальной добычи нерудных материалов установлен объем возможного забора материала, который составил 33122,5 м<sup>3</sup>. Так как расчетный объем образования наносов в пределах данного участка составляет 11034 м<sup>3</sup>/год, то работы по забору нерудных материалов на данном участке реки возможно проводить не чаще одного раза в три года при обязательной повторной экологической оценке гидравлических и гидрологических процессов.

Суммарные компенсационные выплаты за вредное воздействие на ихтиофауну р. Припять планируемых РУЭСП «Днепробугводпуть» работ по добыче НСМ на территории Пинского района Брестской области, оценены в 10924,47 (десять тысяч девятьсот двадцать четыре) рубля 47 копеек.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волчек А.А. Гидрологические расчеты: учебное пособие. – Москва: КНОРУС, 2021. – 418 с.
2. Волчек А.А., Волчек А.А., Курсаков В.К. Инженерная гидрология и регулирование стока. Гидрологические и водохозяйственные расчеты. Учебное пособие. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2013. – 315 с.

3. Волчек А.А., Парфомук С.И. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2009. – №1. – С. 22-30.
4. Волчек А.А., Парфомук С.И., Шешко Н.Н., Шпендик Н.Н., Дашкевич Д.Н., Сидак С.В., Кухаревич М.Ф. Оценка влияния рыбхоза «Селец» на сток реки Ясельда // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2022. – № 1 (127): Геоэкология. – С. 83-85.
5. Волчек А.А., Шешко Н.Н. Оценка экологического стока реки Ясельда в створе водохранилища «Селец» // Современные проблемы очистки сточных вод и охраны ресурсов поверхностных вод в приграничье: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Брест, 24-25 сентября 2015 года) / гл. ред. Н.В. Михальчук. – Брест: Альтернатива, 2015. – С. 12-22.
6. Курушин А.А. Решение мультифизических СВЧ задач с помощью САПР COMSOL – М.: «One-Book», 2016. – 376 с.
7. Михневич Э.И. Пропускная способность русел регулируемых рек и водоотводящих каналов // Природная среда Полесья: особенности и перспективы развития: сб. науч. тр. Вып. 1: в 2 т. – Т. 2. Водные ресурсы Полесья. – Брест: Альтернатива, 2008. – С. 38-41.
8. Михневич Э.И., Левкевич В.Е. Устойчивость берегов водохранилищ при формировании профиля динамического равновесия в несвязных грунтах // Мелиорация. – 2016. – №4(78) – С. 18-23.
9. Официальный сайт ComsolMultiphysics. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.comsol.com/>, свободный.
10. Ошовский В.В., Охрименко Д.И., Сысоев А.Ю. Использование компьютерных систем конечно-элементного анализа для моделирования гидродинамических процессов // Наукові праці ДонНТУ. Серія: Хімія і хімічна технологія, 2010. – Вип. 15(163). – С. 163-173.
11. Постановление Совета Министров Республики Беларусь. Об утверждении Положения о порядке определения размера компенсационных выплат и их осуществления: утв. 7 февраля 2008 года, № 168.

12. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения : ТКП 45-3.04-168-2009 (02250). – Мн.: Стройтехнорм, 2010. – 55 с.

## REFERENCES

1. *Volchek A.A.* Hidrologicheskie raschety: uchebnoe posobie. – Moskva: KNORUS, 2021. – 418 p.
2. *Volchek A.A., Volchek An.A., Kursakov V.K.* Inzhenernaya gidrologiya i regulirovanie stoka. Hidrologicheskie i vodokhozyaistvennye raschety. Uchebnoe posobie. – Gorki: Belorusskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya, 2013. – 315 p.
3. *Volchek A.A., Parfomuk S.I.* Paket prikladnykh programm dlya opredeleniya raschetnykh kharakteristik rechnogo stoka // *Vesnik Paleskaga dzhyzharzhaynaga universiteta. Seryya pryrodaznaŭchykh navuk.* – 2009. – №1. – P. 22-30.
4. *Volchek A.A., Parfomuk S.I., Sheshko N.N., Shpendik N.N., Dashkevich D.N., Sidak S.V., Kukharevich M.F.* Otsenka vliyaniya rybkhoza «Selets» na stok reki Yasel'da // *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta.* – 2022. – № 1 (127): *Geoekologiya.* – P. 83-85.
5. *Volchek A.A., Sheshko N.N.* Otsenka ekologicheskogo stoka reki Yasel'da v stvore vodokhranili-shcha «Selets» // *Sovremennye problemy ochistki stochnykh vod i okhrany resursov poverkhnostnykh vod v prigranich'e: materialy mezhdunar. iauch.-prakt. konf. (Brest, 24-25 sentyabrya 2015 goda) / gl. red. N.V. Mikhal'chuk.* – Brest: Al'ternativa, 2015. – P. 12-22.
6. *Kurushin A.A.* Reshenie mul'tifizicheskikh SVCh zadach s pomoshch'yu SAPRCOMSOL–M.:«One-Book»,2016.–376p.
7. *Mikhnevich E.I.* Propusknaya sposobnost' rusel reguliruemykh rek i vodootvodyashchikh kanalov // *Prirodnaya sreda Poles'ya: osobennosti i perspektivy razvitiya: sb. nauch. tr. Vyp. 1: v 2 t. – T. 2. Vodnye resursy Poles'ya.*– Brest : Al'ternativa, 2008. – P. 38-41.
8. *Mikhnevich E.I., Levkevich V.E.* Ustoichivost' beregov vodokhranilishch

- pri formirovanii pro-filya dinamicheskogo ravnovesiya v nesvyaznykh gruntakh // *Melioratsiya.* – 2016. – №4(78) – P. 18-23.
9. Ofitsial'nyi sait ComsolMultiphysics. [Elektronnyi resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.comsol.com/>, svobodnyi.
10. *Oshovskii V.V., Okhrimenko D.I., Sysoev A.Yu.* Ispol'zovanie komp'yuternykh sistem ko-nechno-elementnogo analiza dlya modelirovaniya gidrodinamicheskikh protsessov // *Naukovi pratsi DonNTU. Seriya: Khimiya i khimichnatekhnologiya,* 2010. – V. 15(163). – P. 163-173.
11. Postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus'. Ob utverzhenii Polozheniya o po-ryadke opredeleniya razmera kompensatsionnykh vyplat i ikh osushchestvleniya: utv. 7 fevralya 2008 goda, № 168.
12. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения : ТКП 45-3.04-168-2009 (02250). – Мн.: Stroitekhnorm, 2010. – 55 p.

**ASSESSMENT OF THE PERMISSIBLE EXTRACTION OF NON-METALLIC BUILDING MATERIALS FROM THE RIVERBED ON THE EXAMPLE OF THE PRIPYAT RIVER**

**A.A. Volchek** Doctor of Geographical Sciences, **S.I. Parfomuk** Ph.D, **N.N. Sheshko** Ph.D, **N.N. Shpendik** Ph.D, **S.V. Sidak**

*Brest State Technical University, Brest, Republic of Belarus*  
*E-mail: volchak@tut.by*

The article substantiates the possibility of carrying out work on the extraction of non-metallic building materials from the riverbed of the Pripyat River on the basis of comparing the existing flow and determining the predicted ecological flow of the river. The numerical simulation of the longitudinal flow has showed a redistribution of velocities within the slots and technological breaks, which form sections with a flow velocity of less than 0,3 m/s within the deepened part of the slot, and increased velocities of more than 0,9 m/s in the sections of technological breaks, which increases the intensity of sediment deposition. The volume of possible intake of material from the river amounted to 33122,5 m<sup>3</sup> has been established, which corresponds to carrying out work no more than once every 3 years with mandatory repeated environmental assessment of hydraulic and hydrological processes. The total compensation payments for the harmful effects of the planned works on the ichthyologic fauna of the Pripyat River in the Pinsk district of the Brest region have been determined.

**Key words:** non-metallic building materials, ecological runoff, modelling, forecast, Pripyat

**ПРИПЯТЬ ӨЗЕНІ МЫСАЛЫНДА СОТТАН МЕТАЛЛ ЕМЕС ҚҰРЫЛЫС МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ РҰҚСАТ АЛУЫН БАҒАЛАУ**

**А.А. Волчек** т.ғ.д., **С.И. Парфомук** т.ғ.к., **Н.Н. Шешко** т.ғ.к., **Н.Н. Шпендик** т.ғ.к., **С.В. Сидак**

*Брест мемлекеттік техникалық университеті, Брест қ., Беларусь Республикасы*  
*E-mail: volchak@tut.by*

Мақалада қолданыстағыларды салыстыру және өзеннің болжамды экологиялық ағынын анықтау негізінде Припять өзенінің арнасынан металл емес құрылыс материалдарын алу бойынша жұмыстарды жүргізу мүмкіндігі негізделеді. Бойлық ағынды сандық модельдеу слоттар мен технологиялық үзілістер ішіндегі жылдамдықтардың қайта бөлінуін көрсетті. Олар ойықтың ойық бөлігінің шегінде ағынының жылдамдығы 0,3 м/с төмен және технологиялық үзілістер аймақтарында 0,9 м/с жоғары жылдамдықтары бар учаскелерді құрайды. Бұл тұнбаның тұндыру қарқындылығының артуына әкеледі. Өзеннен мүмкін болатын материалды алу көлемі белгіленді, ол 33122,5 м<sup>3</sup> құрады, бұл гидравликалық және гидрологиялық процестерді міндетті қайталама экологиялық бағалаумен 3 жылда 1 реттен көп емес жүргізілетін жұмыстарға сәйкес келеді. Брест облысының Пинск ауданындағы Припять өзенінің ихтиофаунасына жоспарланған жұмыстардың зиянды әсері үшін жалпы өтемақы төлемдері анықталды.

**Түйін сөздер:** металл емес құрылыс материалдары, қоршаған орта ағыны, модельдеу, болжау, Припять