

## РАЗРАБОТКА РУСЛОВЫХ КАРЬЕРОВ В ПОДВИЖНЫХ РУСЛАХ РЕК: РЕАКЦИЯ, ПОСЛЕДСТВИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

© 2023 г. К. М. Беркович<sup>а, \*</sup>, Л. В. Злотина<sup>а, \*\*</sup>, Л. А. Турыкин<sup>а, \*\*\*</sup>

<sup>а</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\*E-mail: [berkovitch@yandex.ru](mailto:berkovitch@yandex.ru)

\*\*E-mail: [zleonora@yandex.ru](mailto:zleonora@yandex.ru)

\*\*\*E-mail: [filigorod@list.ru](mailto:filigorod@list.ru)

Поступила в редакцию 22.11.2022 г.

После доработки 20.03.2023 г.

Принята к публикации 02.06.2023 г.

На основе многолетних полевых и аналитических исследований рассмотрена реакция русел разных рек на один из видов механического воздействия на реки – разработку русловых карьеров. Выявлены характер и темпы реакции речных русел свободных и зарегулированных рек на добычу аллювия, степень нарушения морфологии русел и гидрологического режима рек. Цель работы: на основании общих принципов теории русловых процессов оценить возможности разработки русловых карьеров и допустимые габариты карьеров с целью минимизации неблагоприятного воздействия механического нарушения такого рода на русло и пойму рек.

*Ключевые слова:* русловые карьеры, глубинная эрозия, русловые процессы

**DOI:** 10.31857/S0869607123010032, **EDN:** HCVANJ

### ВВЕДЕНИЕ

Механические нарушения речного русла и в целом системы поток-русло подразумевают различные работы и сооружения, направленные на использование ресурсов реки в целях обеспечения потребностей человека: водоснабжения, получения энергии, судоходства, а также защиты среды обитания и жизнедеятельности человека от стихийных проявлений, связанных с гидрологическим режимом рек и русловыми процессами. Среди всего многообразия видов и практик механических нарушений выделяется деятельность по добыче строительных материалов из русел и пойм рек, которая развивается в течение нескольких десятилетий на многих реках по всему миру. Особенностью нарушений, сопутствующих этой деятельности, является сочетание механического изменения морфометрических характеристик русла и поймы с изъятием из природной среды материала. Добываемые песчано-гравийные материалы относятся к современному и древнему аллювию, который, в свою очередь, является важнейшим компонентом речной геосистемы. Разработка русловых карьеров, масштабы которой в мире огромны, оказывает большое влияние на динамику системы поток-русло, нарушая статистическую [7] устойчивость русла, сложившуюся в природе, что сказывается на экологическом благополучии рек и безопасном использовании рек человеком. Добыча аллювия из русловых карьеров служит пусковым механизмом развития необратимых процессов, приводящих неблагоприятным экологическим последствиям [6].

Аллювиальные пески и гравий широко используются в строительстве, потребность в них продолжает расти по крайней мере в последние 50–60 лет. Несмотря на широкое распространение этого вида деятельности, его последствия еще недостаточно изучены. Прежде всего это относится к распространению реакции системы поток-русло по длине реки. Механизм воздействия руслового карьера на реку заключается в следующем. В ходе изъятия аллювия на дне реки и реже на части прирусловой отмели разрабатывается выемка, глубина которой в 2–3 раза превышает нормальную в плесах. Создание выемки оказывает немедленное воздействие на протекание руслового потока: увеличение уклона на верхней кромке выемки и уменьшение уклона и скорости течения в пределах выемки, которая становится “ловушкой” для наносов. Это приводит к возникновению направленных вертикальных деформаций что описано в целом ряде научных работ [14, 15, 17], причем выводы большей частью касаются сравнительно небольших рек с крупными гравийно-галечными наносами и большим уклоном. Деформации заключаются в регрессивной и трансгрессивной эрозии, распространяющейся по реке. Характерной чертой реакции на разработку карьера является то, что она распространяется намного шире, чем сам карьер, а время проявления последствий нарушения намного больше, чем время непосредственной разработки карьера. При этом данных о скорости распространения деформаций и их преобладающем виде обычно не приводится. В данной работе делается попытка исследовать характер и время распространения направленных деформаций на крупных реках России с песчано-гравийными наносами, находящихся в разных условиях, а также предложить способы регулирования и регламентации русловой добычи.

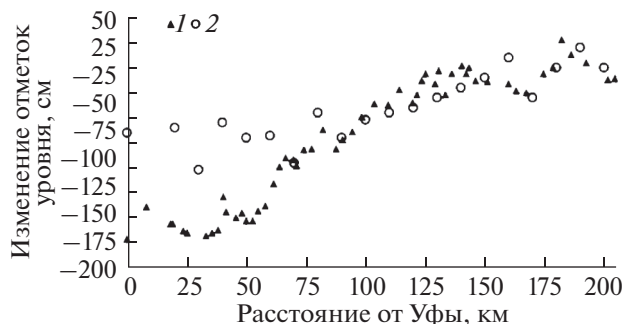
## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основой работы послужили многолетние полевые и аналитические исследования нескольких крупных рек России: Оби, Камы, Белой, Оки. Полевые работы включали в себя традиционные подробные батиметрические съемки русла на участках длиной в несколько десятков и сотен километров, нивелировки водной поверхности, опробывание донных наносов, измерения гидравлических элементов потока. Величины деформаций русла определялись путем сопоставления повторных съемок при помощи компьютерной программы Mapinfo. Трансформация водной поверхности выявлялась на основе сопоставления продольных профилей, полученных нивелировками с учетом данных Гидрометеослужбы. Параллельно на основе смещения песчаных гряд и аналитических формул вычислялись расходы руслообразующих наносов и транспортирующая способность потока; они сопоставлялись с объемами добычи, известными по материалам добывающих организаций.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

К рекам, русла которых глубоко изменены вследствие многолетней добычи руслового аллювия, относятся как зарегулированные средняя Кама и средняя Обь, так и свободные нижняя Тотьма, средний Иртыш, нижняя Белая, верхняя Ока. Как дальность распространения, так и темпы и вид трансформации русла различаются на разных реках. Сложность заключается в том, что объемные карьеры располагаются не в одной точке, а занимают часто большое пространство на реке, имеют разные размеры и частоту распространения (расстояния между ними).

На средней Каме русловые карьеры разрабатываются в нижнем бьефе Воткинского гидроузла, который вопреки изначальному проекту Волго-Камского каскада остался вне подпора, и поэтому последствия разработки карьеров проявились в виде усиления глубинной эрозии, свойственной нижним бьефам плотин: трансформация (понижение) продольного профиля дна и водной поверхности наибольшая у плотины и убывает вниз по течению по мере насыщения потока наносами, охватывая свободный уча-



**Рис. 1.** Понижение отметки водной поверхности р. Белой ниже Уфы: 1 — за 1962–1995 гг., 2 — за 1998–2018 гг.

**Fig. 1.** Belaya River water surface elevation lowering downstream of Ufa-city: 1 — in 1962–1995, 2 — in 1998–2018.

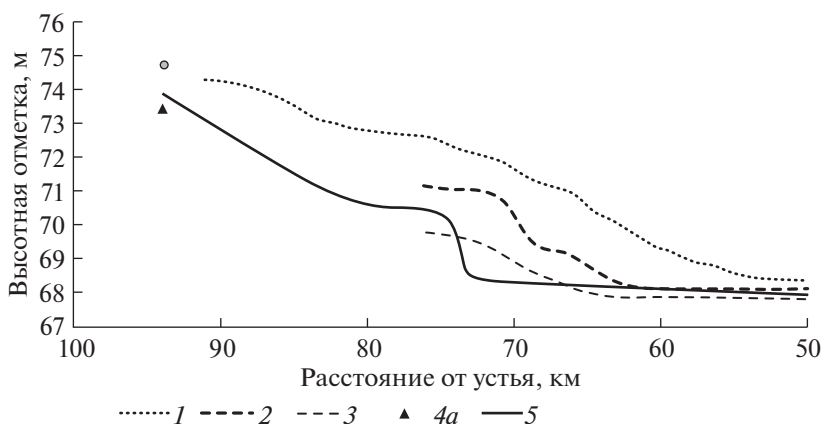
сток длиной около 50 км [2]. Этот вид трансформации продольного профиля обусловлен сильным ограничением транспорта наносов на фоне изменившегося режима стока воды. Понижение уровня у плотины, т.е. в вершине участка массовой добычи, составило около 1.6 м.

Аналогично развивались последствия добычи в нижнем бьефе Новосибирской плотины на р. Оби, где половина почти 2-метрового понижения уровня приходится на последствия добычи [3], а дальность распространения достигает 70 км вниз по течению от плотины, где оно убывает до 0.2–0.4 м. В целом развивается процесс трансгрессивной эрозии аналогично врезанию при поднятии верховьев реки с постепенным насыщением потока наносами. По понятным причинам регрессивная эрозия не развивается.

На свободных реках трансформация русла развивается по-разному в зависимости от местоположения, размеров и частоты карьеров, состава наносов, морфологического строения русла. Например, понижение дна и уровня воды на р. Белой наибольшее у г. Уфы (1.7 м), где на участке длиной около 60 км до начала 1990-х гг. были сконцентрированы основные карьеры, разрабатываемые с начала 1960-х гг. Позднее русловая добыча была перенесена ниже по течению — на 100–130 км от Уфы, где разрабатывались отдельные сравнительно небольшие карьеры, ряд из которых относятся к пойменным. В меандрирующем относительно устойчивом русле нижней Белой понижение дна и уровня распространилось вниз по течению, постепенно убывая, до 150–170 км от Уфы, т.е. трансформация продольного профиля водной поверхности в межень похожа на таковую в нижних бьефах гидроузлов (рис. 1). Несмотря на прекращение добычи на участке до 170 км от Уфы, эрозия продолжилась и в 1998–2018 гг. составила от 0.1 до 1.0 м, также убывая вниз по течению. Регрессивная эрозия, судя по данным г.п. Охлебинино, расположенном в 70 км выше Уфы, проявилась только спустя 30 лет с начала регулярной добычи в районе Уфы и привела к понижению уровня на 20–30 см.

Подобным образом развивалась трансформация русла р. Иртыша в районе г. Омска, где наибольшая посадка уровня сосредоточена в местах массовых карьеров (1.24 м) [8]; она распространилась вниз по течению более, чем на 30 км, но регрессивная эрозия почти не проявилась.

Иначе происходила трансформация русла р. Томи на нижних 100 км своего течения. Наиболее активно русловая добыча развивалась у г. Томска (50–70 км от устья) и в незначительных объемах на отдельных участках выше по течению. В течение 50–60 лет добыто до 80 млн м<sup>3</sup> песчано-галечного аллювия [4] при том, что сток русловых нано-



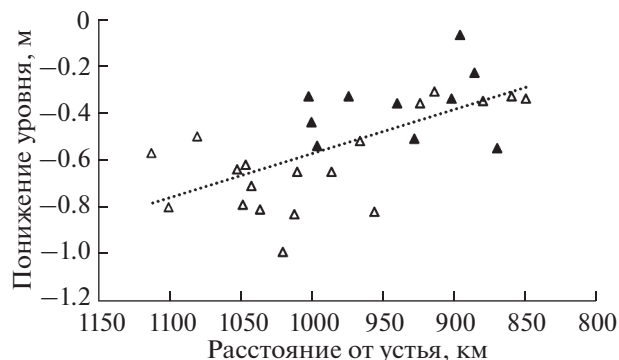
**Рис. 2.** Деформации продольного профиля р. Томи. Продольные профили водной поверхности в межень за годы: 1 – 1933, 2 – 1943, 3 – 1976, 4а – расчетное значение 1982 г., 5 – 2010.

**Fig. 2.** Tom'-River longitudinal profile transformation. Water surface longitudinal profiles by low water for years: 1 – 1933, 2 – 1943, 3 – 1976, 4а – calculated 1982, 5 – 2010.

сов не превышает 500 тыс. т (300 тыс. м<sup>3</sup>) в год [12]. Наибольшее понижение меженного уровня отмечено на г. п. Томск (2.5 м). На Томи, которая отличается большим уклоном (более 0.3‰) и высокой крупностью донных наносов (до 40 мм), значительного развития достигла регрессивная эрозия, распространившаяся не менее, чем на 20 км выше района добычи, тогда как последствия трансгрессивной эрозии добычи менее заметны (рис. 2). Развитие регрессивной эрозии, вероятно, усугублялось тем, что в ее процессе поток обнажил выступ коренных пород на 78 км от устья, образовавший порог, не типичный для равнинной реки. Показано [10], что наличие порога стимулирует регрессивную эрозию и не задерживает ее распространение. Перегиб профиля, связанный с порогом, за 40 лет сместился на 5 км против течения.

Трансформация русла р. Оки происходила на большом протяжении ее верхнего и частично нижнего течения, охватив не менее 400 км, частично включая верхние бьефы Белоомутского и Кузьминского гидроузлов. Разработка русловых карьеров ведется с конца 1940-х гг. и особенно интенсивно в 1970–1980-х гг. С 1990-х гг. интенсивность добычи аллювия существенно снизилась. Первоначально она сосредотачивалась у городов: Калуги, Алексина, Серпухова, Каширы. К настоящему времени отработанные и действующие русловые карьеры занимают около 90 км, выражаясь в наличии переглубленных до 12–15 м плесов, протягивающихся каждый на несколько километров. Объем безвозвратно удаленного аллювиального материала превысил 50 млн м<sup>3</sup> при том, что суммарный годовой сток наносов, пригодных для заполнения отработанных емкостей, едва превышает 250 тыс. м<sup>3</sup>. Особенностью р. Оки является сохранение участков бытового русла, представленного мелководными перекатными участками, которые сложены крупными гравийно-галечными наносами. Это определило характерные черты глубокой трансформации продольного профиля дна и водной поверхности – ступенчатость продольного профиля и большую неравномерность распределения уклонов, которые колеблются от 0.01 до 0.16‰.

В первой половине XX века продольный профиль водной поверхности был относительно стабильным, хотя ниже Калуги наблюдалось небольшое понижение уровней, связанное, вероятно, со слабым врезанием: оно не превышало 1 см в год. По мере уве-



**Рис. 3.** Понижение минимального уровня летне-осенней межени по длине верхней Оки в 1992–2018 гг. (участок Алексин–Коломна). Залитые точки – перекатные участки.

**Fig. 3.** Minimum water level lowering for summer-autumn low water period along upper Oka-River within 1992–2018 (Aleksin–Kolomna river reach). Filled points – shoal stretches.

личения объема добычи, достигавшего 2.5 млн м<sup>3</sup> в год, скорость понижения уровней увеличилась в 2–3 раза.

Суммарная посадка минимальных летне-осенних уровней с 1950 по 1991 г. т.е. в период наиболее интенсивной русловой добычи, составила: в Калуге 0.85 м, в Серпухове – 1.35 м, в Кашире – 1.26 м. Несмотря на снижение интенсивности русловой добычи после 1991 года, когда ее объем сократился в несколько раз, посадка уровней не прекратилась. Среднее понижение уровней на участке от Калуги до Коломны в 1991–2018 гг. составило 0.5 м. Распределение посадки уровней по длине участка от устья р. Угры до Коломны представлено на рис. 3. Наибольшее понижение уровней отмечено в районе Алексина, где до последнего времени разрабатывались карьеры. Посадка уровней постепенно убывает вниз по течению от Калуги к зоне выклинивания подпора от гидроузла Белоомут. Учитывая значительное сокращение объема добычи и преобладание малых карьеров среди вновь разработанных, можно полагать, что понижение уровней 1991–2018 гг. обязано продолжающейся эрозии дна. В сумме за указанный период минимальные уровни понизились: в Калуге – на 0.8 м, в Серпухове – на 1.1 м, в Кашире – на 0.9 м. В Коломне, несмотря на условия подпора от гидроузла Белоомут (до реконструкции), в 2008–2019 гг. также зафиксировано понижение минимального уровня на 0.5 м. Относительно высокий темп посадки в Калуге и непосредственно выше по течению вероятно обусловлен регрессивной эрозией, распространившейся от Алексинского участка добычи, что связано с его большой длиной, а также большим уклоном выше по течению (до 0.13‰). Наоборот, сравнительно небольшие величины посадки уровней в ниже 1000 км приурочены к перекатным участкам с отдельными малыми карьерами или без них. Эрозия, таким образом, охватывает все элементы русла, причем среднее понижение уровней на перекатных участках составило 0.4 м, тогда как в плесах и карьерах превысило 0.6 м. Это обусловлено высокой крупностью русловых наносов на перекатах. На перекатных участках, вероятно, происходит как трансгрессивная, так и регрессивная эрозия, что приводит к формированию отмостки. Однако скорость эрозии при наличии отмостки часто меньше, чем скорость понижения уровней; поэтому перекаты “мелеют” и требуют дноуглубления, что, в свою очередь, способствуют продвижению эрозии.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Ведущим процессом трансформации русла, развивающимся в результате русловой добычи аллювиальных материалов, является эрозия, выражающаяся в понижении дна, и увеличении крупности донных отложений и наносов. Эрозия распространяется как вверх, так и вниз по течению от разработанного карьера. Это установлено на основании аналитического и физического моделирования и ряда натуральных наблюдений [6, 13, 16] для простого случая – одиночного карьера. В реальных условиях карьеры занимают большие пространства в русле реки, располагаясь с неравномерной частотой, нередко сливаются между собой, образуя протяженные переуглубленные плесы, в некоторых случаях разделенные между собой мелководными перекатными участками. Характерно, что на больших равнинных реках широко проявляется трансгрессивная эрозия, обусловленная прерыванием транспорта наносов. Это типично не только для участков ниже плотин, но и для таких свободных рек как Иртыш в Омске или Белая ниже Уфы, где карьеры концентрировались более или менее плотно в одном месте.

Значительное проявление регрессивной эрозии, которой придается большое значение в зарубежных исследованиях [15], наиболее характерно для рек с изначально большим уклоном и крупными гравийно-галечными наносами, а также при очень большой длине участка выемки материала независимо от крупности добываемого материала. Дальность распространения регрессивной эрозии на р. Томи при уклоне более 0.3‰ достигла 20 км от начального положения вершины участка добычи песчано-гравийной смеси. Признаки развития регрессивной эрозии наблюдаются на верхней Оке в районе Калуги. Противостоять развитию регрессивной эрозии можно регулированием длины карьера, т.к. существует определенная предельная длина карьера, при которой регрессивная эрозия не развивается [11]. В условиях верхней Оки она не превышает 200 м.

Трансгрессивная эрозия развивается на расстоянии, достаточном для восстановления баланса наносов ниже карьера. Расстояние (путь насыщения) зависит от объема изъятых материалов, гидравлических характеристик потока и крупности донных наносов [9]. Расчетный путь насыщения и условиях верхней Оки составляет от 5 до 10 км. Эта цифра характеризует расстояние, на котором должны располагаться соседние русловые карьеры. Если это расстояние не соблюдается, происходит сложение эффекта регрессивной и трансгрессивной эрозии, что приводит к увеличению деформаций русла. Это наблюдалось в большинстве изученных случаев, в частности на р. Белой, на Оке в районе Алексина, Серпухова, Каширы и Рязани в период наиболее активной разработки карьеров.

Наиболее ярким проявлением влияния русловых карьеров является понижение уровней воды в период низкой водности, которое является в определенной степени мерой величины и скорости вертикальных деформаций русла. Действительно, как показали исследования р. Белой, среднее изменение отметки дна и меженного уровня совпадают по величине и направленности. Понижение уровней является крайне неблагоприятным явлением, так как затрудняет работу водозаборных устройств, способствует понижению уровня грунтовых вод на прилегающих территориях и иссушению прибрежных природных комплексов, приводит к ухудшению условий судоходства. Удаление аллювиального материала из русла прямо влияет на некоторые физические параметры, важные для флоры и фауны, например, строение субстрата, элементы шероховатости, мутность и температура воды [1].

Большую роль играет также увеличение неравномерности глубин, скоростей течения и уклона по длине реки. В техногенных плесах, особенно при большой их длине, создаются условия для аккумуляции наносов не только влекомых, но и части взвешенных, в том числе загрязненных, поступивших дополнительно с промышленными и сельскохозяйственными сбросами. Это особенно ярко проявляется в окрестностях

крупных городов, насыщенных промышленными предприятиями и коммунальными объектами, где часто располагаются места массовой добычи. В отработанных карьерах донные отложения в отличие от естественного русла равнинной реки часто представлены смесью загрязненного ила и более крупного материала.

Регламентация русловой добычи в случае, если она обоснована по социально-экономическим соображениям, может осуществляться путем ее регулирования. Для этого тщательно выбираются места разработки. Объем единичных карьеров не может превышать объема стока руслообразующих наносов, следует разрабатывать малые короткие карьеры. Расстояние между карьерами должно быть больше пути насыщения, необходимо предусматривать защитные ограждающие сооружения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате массовой добычи аллювия происходит нарушение статистической устойчивости системы поток-русло, что выражается в возникновении направленных вертикальных деформаций – трансгрессивной и регрессивной эрозии.

Трансгрессивная эрозия преобладает на крупных равнинных реках с песчано-гравийными наносами. Она передвигается на несколько десятков километров от места добычи в течение нескольких десятков лет. Регрессивная эрозия имеет ограниченное распространение и наблюдается на реках с крупными наносами и большим уклоном, а также на отдельных участках между карьерами. Эрозия не прекращается в течение десятилетий после окончания разработки карьеров, хотя ее интенсивность снижается. Изменения русел рек в результате разработки русловых карьеров являются необратимыми в историческом масштабе времени.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алдохин А.С., Чемагин А.А.* Экологический риск разработки песчаного карьера в русле реки // Водные биоресурсы и их рациональное использование. Вестник АГТУ, сер. рыбное хозяйство. 2018. № 4. С. 7–14.
2. *Беркович К.М., Злотина Л.В., Турыкин Л.А.* Природно-ориентированные подходы к добыче аллювиальных строительных материалов из речных русел и пойм // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о земле. 2012. Вып. 3. С. 3–13.
3. *Векслер А.Б., Доненберг В.М.* Переформирование русла в нижних бьефах крупных гидроэлектростанций. М.: Энергоатомиздат. 1983. С. 142–165.
4. *Вершинин Д.А.* Техногенные воздействия на вертикальные деформации русла и гидравлику потока (на примере р. Томи). Автореферат дисс. канд. географ. наук. Томск. 2005. 13 с.
5. *Гладков Г.Л.* Обеспечение устойчивости русел судоходных рек при дноуглублении и разработке русловых карьеров: Дис. ... доктора технических наук: 05.22.17. Санкт-Петербург, 1996. 310 с.
6. *Гладков Г.Л.* Теоретические основы расчетного обоснования путевых мероприятий на судоходных реках // Журн. университета водных коммуникаций. Вып. 2. 2013. С. 18–31.
7. *Гришанин К.В.* Устойчивость русел рек и каналов. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 144 с.
8. *Дегтярев В.В.* Улучшение судоходных условий сибирских рек. М.: Транспорт, 1987. 170 с.
9. *Карасев И.Ф.* Русловые процессы при переброске стока. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 288 с.
10. *Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955.
11. *Наумов Г.Г.* Антропогенные воздействия на русловые процессы на переходах через водотоки. М.: МАДИ, 2012. 105 с.
12. *Савичев О.Г.* Сток наносов реки Томь (Западная Сибирь) // Изв. Томского политехнического университета. 2007. Т. 310. № 3. С. 22–25.
13. *Снищенко Б.Ф., Месерлянс Г.Г.* Развитие руслового процесса на участках выемок речного аллювия // Динамика русловых потоков. Л.: ЛПИ, 1987. С. 96–102.
14. *Galay V.J.* Causes of river bed degradation // Water resources research. V. 19. № 5. 1983. P. 1057–1090.
15. *Kondolf G.M.* Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining. Landscape Urban Planning, 28. 1994. 225–243.
16. *Ponce V.M., Garcia J.L., Simons D.B.* Modelling alluvial channel bed transients. Journal of the Hydraulic Division ASCE, V. 105. 1979.

17. *Rinaldi M., Wyzga B., Surian N.* Sediment mining in alluvial channels: physical effects and management perspectives. *River Res. Applic.* 21, 2005. 805–828.

### In-stream Mining in Alluvial River Channels: Response, Consequences and Perspectives

**K. M. Berkovich<sup>1, \*</sup>, L. V. Zlotina<sup>1, \*\*</sup>, and L. A. Turykin<sup>1, \*\*\*</sup>**

<sup>1</sup>*Moscow State Lomonosov's University, Moscow, Russia*

*\*E-mail: berkovitch@yandex.ru*

*\*\*E-mail: zleonora@yandex.ru*

*\*\*\*E-mail: filigorod@list.ru*

**Abstract**—On the basis of long-term field and analytical research, the response of the channels of different rivers to one of the types of mechanical impact on rivers – the in-stream mining – is considered. The nature and rates of the response of the river channels of free-flowing and regulated rivers to the in-stream mining, disturbance extent of the channel morphology and the rivers hydrological regime are revealed. The purpose of the work is to assess the possibilities of in-stream mining and allowable mine's sizes which bases on the general principles of the theory of fluvial processes, and to minimize the negative effects of given mechanical disturbances on rivers and floodplains

*Keywords:* in-stream mining, bed degradation, fluvial processes

### REFERENCES

1. *Aldohin A.S., Chemagin A.A.* Ekologicheskij risk razrabotki pezchanogo kar'era v rusle reki // *Vodnye bioresursy i ich racionalnoe ispolzovanie. Vestnik AGTU. Rybnoe hozjajstvo.* 2018. № 4. 7–14.
2. *Berkovich K.M., Zlotina L.V., Turykin L.A.* Prirodno-orientirovannye pohody k dobyche alluvialnyh stroitelnyh materialov bz rechnyh rusel i poim // *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologia. Nauki o zemle.* 2012. Vyp. 3. 3–13.
3. *Veksler A.B., Donenberg V.M.* Pereformirovanie rusla v nizhnih b'efah krupnyh gidroelektrosnancij. M.: Energoatomizdat. 1983. 142–165.
4. *Vershinin D.A.* Tehnogenne vozdejstvia na vertikalnye deformacii rusla i gidravliku potoka (na primere r. Tomi). Avtoreferat diss. kand. geograf. nauk. Tomsk. 2005. 13.
5. *Gladkov G.L.* Obespechenie ustojchivosti rusel sudochodnyh rek pri dnouglublenii I razrabotke ruslovyh kar'erov. Diss. ... doktora technicheskikh naur. Sankt-Peterburg. 1996. 310.
6. *Gladkov G.L.* Teoreticheskoe osnovy raschetnogo obosnovania putevyh meroprijatij na sudochodnyh rekah // *Zhurnal universiteta vodnyh kommunikacij.* Vyp. 2. 2013. 18–31.
7. *Grishanin K.V.* Ustojchivost' rusel rek i kanalov. L.: gidrometeoizdat. 1974. 144.
8. *Degtiarev V.V.* Uluchshenie sudohodnyh uslovij sibirskih rek. M.: Transport. 1987. 170.
9. *Karasiov I.F.* Ruslovyje processy pri perebroske stoka. L.: gidrometeoizdat. 1975. 288.
10. *Makkaveev N.I.* Ruslo reki i erozia v ee bassejne. M.: izd-vo AN SSSR. 1955. 355.
11. *Naumov G.G.* Antropogennye vozdejstvia na ruslovyje process na perehodah cherez vodotoki. M.: MADI, 2012. 105.
12. *Savichev O.G.* Stok nanosov reki Tom' (Zapadnaia Sibir') // *Izvestia Tomskogo politehnicheskogo universiteta.* 2007. T. 310. № 3. 22–25.
13. *Snishchenko B.F., Meserlians G.G.* Razvitie rusloвого process ana uchastkah vyemok rechnogo alluvia // *Dinamika reslovyh potokov.* L.: LPI, 1987. 96–102.
14. *Galay V.J.* Causes of river bed degradation // *Water resources research.* 1983. V. 19. № 5. P. 1057–1090.
15. *Kondolf G.M.* Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining. *Landscape Urban Planning*, 28. 1994. 225–243.
16. *Ponce V.M., Garcia J.L., Simons D.B.* Modelling alluvial channel bed transients. *Journal of the Hydraulic Division ASCE*, Vol. 105. 1979.
17. *Rinaldi M., Wyzga B., Surian N.* Sediment mining in alluvial channels: physical effects and management perspectives // *River Res. Applic.* 2005. 21. P. 805–828.