

УДК 627.15

## УСТОЙЧИВОСТЬ СУДОВОГО ХОДА НА Р. ВЕРХНЯЯ БЕЛАЯ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РУСЛО

**Воронина Юлия Евгеньевна<sup>1</sup>**, доцент, кандидат технических наук  
*e-mail:* [yulez@yandex.ru](mailto:yulez@yandex.ru)

**Шестова Марина Вадимовна<sup>1</sup>**, доцент, кандидат технических наук  
*e-mail:* [shestowam@yandex.ru](mailto:shestowam@yandex.ru)

<sup>1</sup> Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

**Аннотация.** Оценка устойчивости судового хода произведена на примере результатов последствий разработки руслового карьера в районе естественного выпуклого берега с ярко выраженной типовой излучиной. Выполнены гидравлические расчеты по величине посадки уровня в зависимости от параметров карьера. Даны рекомендации по граничным значениям посадки уровней, а также расстоянию между карьерами в зависимости от влияющих факторов в виде глубины разработки карьера и глубины в русле. Сделаны выводы относительно соответствия разработанным рекомендациям последствий разработки существующих карьеров.

**Ключевые слова:** Габариты судового хода, параметры карьера, посадка уровня воды.

## STABILITY OF NAVIGATION ON THE UPPER BELAYA RIVER UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE RIVER BED

**Voronina Yuliya Evgenievna<sup>1</sup>**, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences  
*e-mail:* [yulez@yandex.ru](mailto:yulez@yandex.ru)

**Shestova Marina Vadimovna<sup>1</sup>**, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences  
*e-mail:* [shestowam@yandex.ru](mailto:shestowam@yandex.ru)

<sup>1</sup> Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia.

**Abstract.** The assessment of the stability of the navigation was carried out using the example of the results of the development of a river-bed quarry in the area of a natural convex bank with a pronounced typical bend. Hydraulic calculations were performed on the amount of level drop depending on the length, width, depth of the quarry. Recommendations are given on the boundary values of landing levels, as well as the distance between quarries, depending on influencing factors such as the depth of quarry development and the depth in the riverbed. Conclusions are drawn regarding the compliance of the developed recommendations with the consequences of the development of existing quarries.

**Keywords:** Dimensions of the ship's passage, quarry parameters, water level landing.

Р. Верхняя Белая является судоходной с поддерживаемыми габаритами пути на участке от устья р. Уфа до переката Нагаевское спрямление (32 км). Выше Нагаевского спрямления и до устья р. Сим (участок протяженностью 44 км) гарантированные габариты судового хода не установлены и не поддерживаются.

Возможность достижения расчетного параметра глубины на всем участке р. В. Белая от устья р. Уфа до устья р. Сим 1,4 м (с учетом запаса на неровность выработки) появится лишь после длительного периода восстановления русла в его естественных параметрах. Возникшая в результате интенсивных карьерных работ посадка уровня воды привела к исчерпанию возможностей реки устойчиво выдерживать гарантированные для судоходства глубины на протяжении всего участка.

Выдерживание гидравлически допустимой глубины является сложной задачей восстановления естественного уровня воды на участке. Это можно достичь лишь полным отказом от разработки русловых карьеров, либо их сильным сокращением.

При одномоментном значительном увеличении гарантированной глубины проявится локальное понижение уровня воды на отдельных перекатах участка с распространением вверх по течению практически на пять длин судоходных прорезей [1]. Поэтому понижение отметки дна позволит увеличить транзитную глубину лишь в части от заявленной.

Серьезные отрицательные деформации русла в плане и по глубине, а также значительная посадка уровня воды в реке на участке, где ведется интенсивная русловая добыча НСМ и выше по течению могут спровоцировать полный или частичный запрет на проведение русловых карьерных работ на р. Верхняя Белая ввиду невозможности организации судоходства на реке. По различным социально-экономическим причинам на указанной реке полный запрет на добычу НСМ невозможен, но частичная и ограниченная отработка месторождений на р. В. Белая возможна.

Противоречия о необходимости сохранения естественного хода русловых процессов на р. В. Белая, а также судоходства на участке до 76 км, с одной стороны, и экономическими потребностями, с другой стороны, можно разрешить лишь путем наложения научно-обоснованных ограничений по добыче ПГС, введением строгого контроля за выполнением установленного порядка отработки блоков, объемов выемок, положения карьера в плане, а также выполнением комплекса мер по снижению негативного влияния от работ по добыче НСМ.

Главное условие, накладываемое на допустимый возможный объем добычи НСМ в год, является ограничение по извлекаемому грунту с учетом вскрышных работ. Этот годовой объем на каждом отдельно взятом блоке отработки не должен быть большим, чем величина годового стока руслоформирующих наносов, поступающих на карьерный участок сверху по течению. Такой критерий позволяет обеспечить способность естественного русла реки к самовосстановлению. И в таком случае русловые карьерные работы не приведут к посадке уровня воды на участке самого карьера и выше по течению от него. Такое условие ведения карьерных разработок описано в работах разных авторов – Сنيщенко Е.Ф., Гладковым Г.Л., Наумовым Г.Г. [2 – 4].

Ширина каждого отдельного блока определяется исходя из заранее принятых параметров карьера – объема, длины и глубины разработки [5].

Возможная глубина блока карьера без учета полезной разведанной толщины полезного слоя рассчитывается таким образом, чтобы после отработки части месторождения скорость течения в выемке не превышала неразмывающей скорости для фракций грунта, слагающего дно реки. В нашем случае примерно 2 м от естественного дна. Эти значения являются ориентировочными и должны уточняться на основании актуальных натурных данных по морфологии русла, уровенному режиму и крупности донных отложений, полученных в ходе предпроектных изысканий.



Минимальное расстояние между соседними русловыми карьерами определяется расчетной длиной участка реки, с которого поступает сток руслообразующих наносов.

Ввиду того, что длина участка восстановления стока наносов зависит от плановых и глубинных параметров верхнего по течению карьера, то минимальное расстояние между соседними участками добычи НСМ должно определяться расчетным путем в каждом конкретном случае.

Рассмотренные принципы и условия разработки русловых карьеров применены для оценки их типовых параметров на примере одного из неразработанных выпуклых берегов р. В. Белая. В качестве основного местоположения карьера согласно конфигурации принят участок 71 – 72 км судового хода, как один из немногих естественных выпуклых берегов с ярко выраженной типовой излучиной, где не проводились карьерные разработки. Расчёт выполнен при существующем проектном уровне по гидростату Охлебинино. Для детализации участка сечения на характерной излучине располагаются с шагом 200 м. Такой подход позволяет оценить влияние на интенсификацию посадки уровня воды в естественных условиях длины, ширины, глубины карьера, его местоположения на участке с различными грунтами, максимальной глубины русла в границах карьера [5].

Оценка влияния длины карьера на посадку уровней произведена по результатам гидравлических расчетов. Получено, что при длине карьера 600 м, принятой его ширине и глубине разработки в 1,0 м посадка достигает 1,0 м; такая же посадка создается при длине карьера 300 м и глубине разработки 2,0 м. Анализ результатов расчета при других вариантах сочетаний параметров карьера показал, что приемлемой является длина карьера до 200 м. При ней наблюдается значительное влияние на величину зоны распространения посадки уровня воды даже при малых глубинах разработки.

Влияние ширины типовых русловых карьеров отражено на графике посадки уровня воды (рисунок 1). Его анализ показал, что при глубине разработки карьера до 1 м ширина влияет на посадку уровня по линейной зависимости, однако при увеличении глубины рост посадки идет интенсивнее, начиная с 70 м. Отсюда с точки зрения устойчивости русловых процессов ширина карьера 70 м на р. В. Белая является предпочтительной. Однако в ряде случаев на других излучинах реки параметр может быть уменьшен до 60 м. Меньшая ширина карьера вызовет меньшую посадку уровня воды в реке, но вместе с тем, при назначении ширины карьера менее 1/3 ширины русла поток перенаправится от своего основного стрежня непосредственного в сторону карьера, и это может вызвать уменьшение глубины на судовом ходу, привести к негативным русловым переформированиям и изменению конфигурации русла в целом.



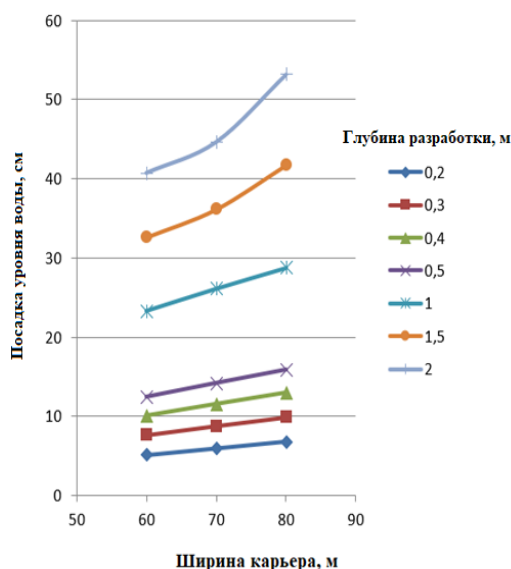


Рисунок 1 – Изменение посадки уровня воды в зависимости от глубины и ширины руслового карьера длиной 200 м при коэффициенте шероховатости дна 0,047

Карьеры с малой глубиной разработки 0,5 и 1,0 м, как правило, экономически невыгодны и нецелесообразны в виду малых объёмов добычи. Однако посадки уровня воды даже для карьеров с глубиной разработки 1 м уже существенны и могут достигать 20-30 см. Поэтому для оценки возможной посадки уровня воды в русле недостаточно оперировать лишь абсолютными величинами, так как одна и та же посадка, например, в 10 см, составляющая 3 – 4% от глубины в русле для одной реки может быть допустима, а для другой, где доля этой же посадки достигает 10% – критична. По типовому карьере с параметрами в плане 70x200 м построен график изменения доли посадки уровня воды от глубины разработки при различной глубине в русле реки (рисунок 2).

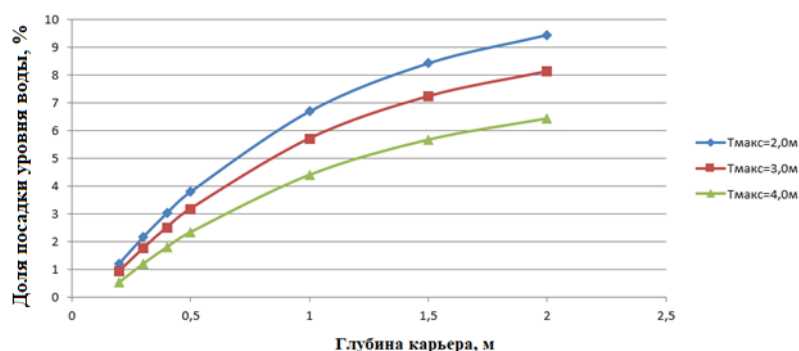


Рисунок 2 – Изменение относительной посадки уровня воды при различных глубине разработки карьера длиной 200 м и глубинах русла

Анализ полученных зависимостей показал, что наибольший рост доли посадки происходит при меньших параметрах основного русла. Чем больше будет доля посадки от карьерных работ, тем больше потребуется времени для восстановления естественных русловых процессов в р. В.Белая.

В качестве граничной доли посадки предлагается руководствоваться 5% с максимальным доведением до 7% (в среднем 6%) от максимальной глубины русла в пределах разрабатываемого карьера. Указанная граница роста посадки в 5 – 7% возможна только при экономической обоснованности объемов выемки и параметров карьера и оценке

рисков их негативного влияния на русло в целом по всему участку от устья р. Сим до устья р. Уфа. Компенсация посадок уровня возможна только уменьшением параметров карьера на величину, при которой годовой сток наносов сокращается менее чем на 50%. Такая щадящая разработка позволит руслу быстрее восстановить уровень воды на участке после карьерных работ.

Разработка карьеров наиболее предпочтительна и возможна на участках с большими глубинами в границах естественных плёсовых лощин. Поэтому для назначения параметров карьера необходимо выполнение русловой съёмки для актуализации информации по глубинам на перспективном участке будущей карьерной разработки.

При разработке нескольких карьеров в русле реки необходимо их не сосредотачивать в одном месте, а распределять по длине реки на определенном расстоянии друг от друга. Параметры карьера в плане и по глубине в значительной степени влияют на расстояния между соседними разработками. Анализ зон выклинивания посадки уровня воды от типового карьера 70×200 м показал тесную зависимость расстояния между карьерами от глубины разработки (рисунок 3).

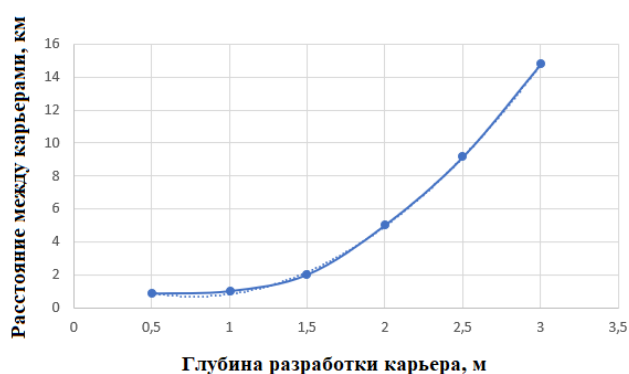


Рисунок 3 – Зависимость влияния глубины разработки карьера на зону распространения посадки уровня воды

При назначении местоположения карьеров в русле р. В. Белая необходимо руководствоваться полученным графиком (рисунок 3) для исключения взаимовлияния соседних карьеров друг на друга путем суммарного роста доли посадки в русле реки. Для исследованного участка рекомендуемое расстояние между участками добычи в среднем может быть принято равным 5 – 10 км в зависимости от глубины разработки карьеров.

Предложенные наработки должны обеспечить минимизацию неблагоприятного воздействия добычных работ на состояние поименно-руслового комплекса, а также способствовать восстановлению русла реки и повышению устойчивости судового хода в части обеспечения гарантированной глубины на нем.

### Список литературы:

1. Воронина Ю.Е. Канализирование русел судоходных рек с целью повышение безопасности судоходства / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Н. Новгород, 2004. – 181 с.
2. Снисченко Е.Ф., Месерлянс Г.Г. Развитие руслового процесса на участках выемок речного аллювия // Динамика русловых потоков. Л.: ЛПИ. 1987.
3. Гладков Г.Л. Обеспечение устойчивости русел судоходных рек при дноуглублении и разработке русловых карьеров. Автореферат дисс. доктора тех. наук, СПб ун-т водн. коммун. СПб.: 1996.

4. Наумов Г.Г. Антропогенные воздействия на русловые процессы на переходах через водотоки. М.: МАДИ. 2012. 105 с.

5. Отчет по НИР. Оценка возможности разработки действующих карьеров и выделения участков для разведки и последующей разработки карьеров по добыче нерудных строительных материалов с учетом обеспечения устойчивости судового хода и недопустимости посадки уровня воды в существующих условиях на реке Верхняя Белая. – Н. Новгород, ВГУВТ, 2023.

