

УДК 627.423

DOI: 10.37890/jwt.vi72.295

## **Обоснование условий создания и использования судоходных глубин на Верхней Каме в экспедиционном периоде навигации**

**А.Н. Ситнов**<sup>1</sup>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4720-8194>

**Н.В. Кочкурова**<sup>1</sup>

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

**Аннотация:** Условия создания и использования судоходных глубин на Верхней Каме определялись посредством изучения уровня режима на участке от с. Бондюг до пгт. Тюлькино протяженностью 97 км, на котором осуществляются плотовые перевозки только в краткосрочном полноводном весеннем периоде, что ограничивает возможности использования водного транспорта. В целях продления периода вывода плотов на участке и установления на нем гарантированных габаритов судового хода в работе по предложенной методике обоснованы отметки проектных уровней по опорным гидропостам и оценены возможности установления гарантированных глубин. Определяющими условиями создания глубин являются разработанный комплекс путевых работ и гидравлические возможности реки с учетом особенностей русловых деформаций на участке. Приведены рекомендации по организации плотовых перевозок в зависимости от глубин в продленном экспедиционном периоде.

**Ключевые слова:** судоходная глубина, уровень режим, обеспеченность уровней воды, проектный уровень, деформации русла.

## **Substantiation of conditions for the creation and use of navigable depths on the Upper Kama in the expedition period of navigation**

**Alexander N. Sitnov**<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0003-4720-8194

**Natalia V. Kochkurova**<sup>1</sup>

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

**Abstract:** The conditions for the creation and use of navigable depths on the Upper Kama were determined by studying the level regime in the section from Bondyug village to the Tyulkino urban settlement. On this section which is 97 km long, raft transportation is carried out only in the short-term full-flowing spring period, which limits the possibility of using water transport. In order to extend the period of withdrawal of rafts on the site and establish guaranteed dimensions of the ship's course, the proposed methodology substantiates the marks of the design levels for the reference hydraulic posts and evaluates the possibility of establishing guaranteed depths. The defining conditions for creating depths are the developed complex of track works and the hydraulic capabilities of the river, taking into account the peculiarities of channel deformations on the site. Recommendations on the organization of raft transportation depending on the depths in the extended expedition period are given.

**Keywords:** navigable depth, level regime, water level security, design level, channel deformations.

### Введение

Водные пути Верхней Камы традиционно использовались для вывоза плотов зимней сплотки с верховьев реки основным потребителям леса в г. Соликамск. Однако на большей части пути гарантированные габариты судового хода не установлены и не поддерживаются, судоходные условия обеспечиваются только в полноводный весенний период, что ограничивает возможности судоходства, а грузопоток в значительной степени осваивается автотранспортом. Вместе с этим, по оценке специалистов, транспортировка леса от плотбищ до предприятий по воде на 60 % эффективнее, чем автотранспортом, а отсутствие действующих в течение всего года автомобильных дорог делает перевозки водным транспортом особенно актуальными.

Объектом исследования является участок р. Кама с опорными гидрологическими постами: Бондюг (77 км), Керчевский (0/2547 км от Южного порта Москвы), Тюлькино (2527 км), Березники (2467 км), показанными на рис. 1.

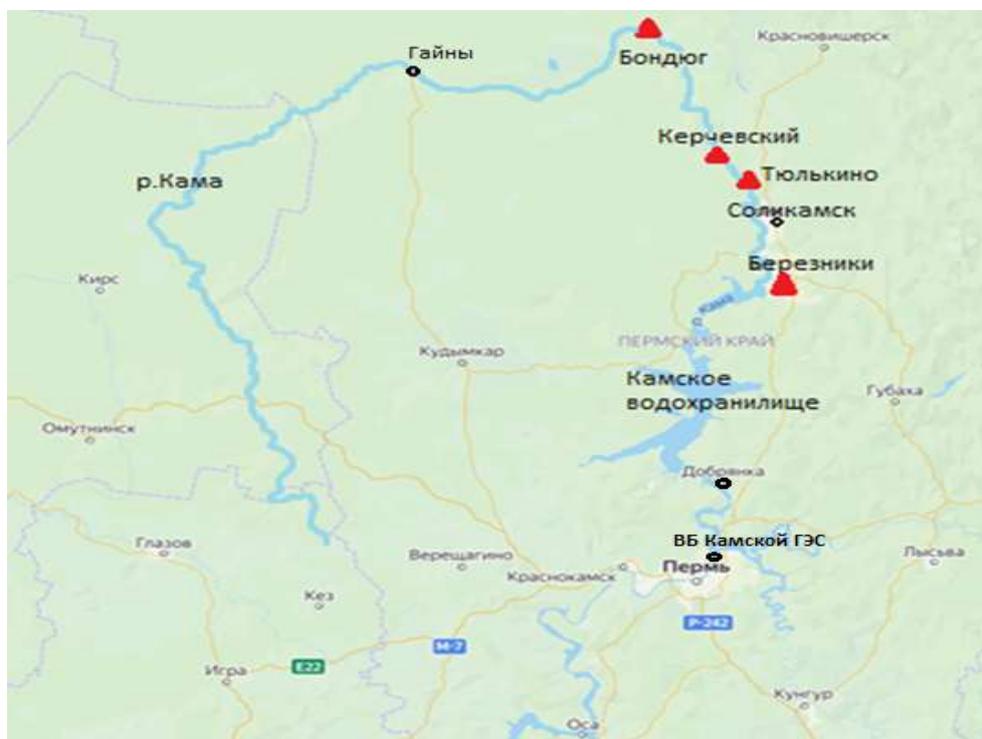


Рис. 1. Схема расположения гидрологических постов на исследуемом участке р.Кама (выделены красным цветом)

Особенности водного режима Верхней Камы (выше пгт. Керчевский), связанные с резким и высоким подъемом уровня воды в начале мая и последующим медленным спадом, заканчивающимся обычно в последней декаде июня, характерны также для нижерасположенного участка вплоть до пгт. Тюлькино. На графиках колебаний уровней воды по опорным гидропостам отчетливо виден период «высокой» воды, ограниченный, как правило, концом мая и продолжительностью в среднем до 25 сут. За этот период традиционно с Верхней Камы вывозился лес в плотках зимней сплотки в значительных объемах (до 1990-х годов свыше 2 млн. м<sup>3</sup> древесины в год), что

осуществлялось за счет хорошей организации работ, привлечения большого числа буксирного флота и вспомогательных судов из других бассейнов, производства путевых работ. В настоящее время объемы плотовых перевозок резко сокращены и достигают примерно 500 тыс. м<sup>3</sup>, хотя по информации основных потребителей лесной продукции, объемы могут быть увеличены до 900 тыс. м<sup>3</sup> – 1,1 млн. м<sup>3</sup>.

Таким образом, потеря провозной способности флота вследствие короткого срока навигации и необеспеченных габаритов пути составляет порядка 400-600 тыс. м<sup>3</sup> древесины. При этом в маловодные годы перевозки становятся технически невозможными и экономически убыточными. В современных условиях увеличение объема перевозок на рассматриваемом участке р. Кама потребует при существующем сокращении буксирной тяги у перевозчиков и существующей организации работы флота увеличения продолжительности периода экспедиционного вывода плотов с Верхней Камы примерно в два раза (около 50 сут). Поэтому целью исследования является создание необходимых для транспортирования плотов судоводных условий в продленном экспедиционном периоде навигации, а задачи исследования заключаются в обосновании отметок проектных уровней воды по гидропостам Бондюг, Керчевский, Тюлькино и оценке возможности установления гарантированных габаритов судового хода в этом периоде. Механизм достижения гарантированных габаритов реализуется через разработку комплекса путевых работ с учетом обоснованных гидравлически допустимых глубин и характера изменений русловых деформаций на участке.

### **Методы**

Достижение возможности продления периода экспедиционного вывода плотов связано с обеспечением расчетных уровней воды на участке.

В качестве расчетных для речных условий принимаются проектные уровни высокой обеспеченности. Следует отметить весьма большую неоднозначность установления величины обеспеченности проектных уровней на гидропостах в зависимости от классификации путей по разным признакам. Так, относительно навигационного оборудования судовых ходов [1] пути делились на 5 групп по интенсивности суточного прохождения участка судами (плотами). Применительно к плотовым перевозкам леса в I группу относились участки с прохождением пять и более плотовых составов в обоих направлениях за сутки; во вторую – до пяти плотов; в третью – участки, где нет регулярного сплава леса в плотях; в четвертую – участки с регулярным прохождением 1-2 судов за ночь; в пятую – при нерегулярном судоводстве на участке и только в дневное время.

Однако в основном обеспеченность проектных уровней устанавливается по признаку класса внутренних водных путей и их габаритам. В литературе [2] для сверхмагистралей значения обеспеченности проектных уровней даются в диапазоне 95-99%, для магистралей I и II разряда – 90-97%, для путей местного значения I и II разряда – 80-95%. Аналогично для путей местного значения обеспеченность проектного уровня приводится в диапазоне 80-90% [3]. В проекте Правил содержания судовых ходов [4] определено, что на участках ВВП со свободным течением воды проектные уровни устанавливаются по гидрологическим постам с среднемноголетней обеспеченностью в период навигации 95-99% при глубине на судовом ходу более 250 см; 90-95% при глубине от 150 до 250 см; 80-90% при глубине менее 150 см.

Наиболее подробно класс водных путей в зависимости от глубины на перспективу и используемого флота представлен в ГОСТе 26775-97 [5]. В соответствии с ним устанавливаются семь классов водного пути (участка), из которых для целей нашего

исследования рассмотрены пути местного значения 5,6,7 классов. Характеристики путей и флота для них применительно к плотовым перевозкам приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Классификация водных путей**

Класс водного пути (участка)	Глубина судового хода на перспективу, м		Расчетные ширина / длина плотового состава, м
	гарантированная	средне-навигационная	
5-местного значения	Свыше 1,1 до 1,5	Свыше 1,3 до 1,7	50 / 590
6-местного значения	Свыше 0,7 до 1,1	Свыше 0,9 до 1,3	30 / 470
7-местного значения	0,7 и менее	От 0,6 до 0,9	20 / 300

В соответствии с ГОСТ 26775-97 [5] для установления класса водного пути, кроме глубины участка, необходимо учитывать расчетные параметры транспортного грузового флота (в нашем случае плотового) на перспективу.

Используемые на участке Верхней Камы суда и плотовые секции определяют особенности формирования схемы и габаритов буксируемого плотового состава.

В период высокой воды (май) глубины от с. Бондюг до пгт. Тюлькино достаточны для использования буксирного флота с повышенной осадкой и длиной (лимитирующий плотовод проекта Р-33Б мощностью 600 л.с.), а также плотовой секции с осадкой до 2,0 м. В продленный период экспедиционного вывода плотов (июнь), при падении уровней на участке и, соответственно, глубин использование буксиров и плотовых секций претерпевает изменения. Так, в качестве основного и вспомогательного буксиров – плотоводов принимается буксир – толкач проекта 911 мощностью 300 л.с., осадка плотовой секции должна соответствовать осадке буксира. Тогда гарантированная глубина  $T_{\Gamma}$  (м) на участке для базового варианта продленного периода эксплуатационного вывода плотов принимается по лимитирующему периоду и параметрам плотового состава в нем.

$$T_{\Gamma} = t_{\text{б(пл)}} + \Delta T_{\text{ПП}} \quad (1)$$

где  $t_{\text{б(пл)}}$  – осадка буксира-плотовода (плотовой секции), м. Принимается с округлением равной 1,0 м.

$\Delta T_{\text{ПП}}$  – обобщенная величина, включающая запас воды под днищем буксира (под секцией) 0,2 м при глубине судового хода до 1,5 м [6], которая с учетом просадки корпуса буксира при движении на мелководье и последующим округлением до 10 см принимается равной 0,3 м.

Отсюда гарантированная глубина за продленный период экспедиционного вывода плотов принята  $T_{\Gamma} = 1,3$  м., и по ее величине на перспективу рассматриваемый участок относится к путям местного значения пятого класса [5]. Из расчетных габаритов плотового состава ширина не принимается лимитирующей, поскольку на практике плотовые секции при высокой воде могут вестись сдвоенными по ширине (то есть общая ширина двух плотовых секций 54 м), при низкой воде – 27 м и более для разных условий организации перевозок.

Расчетная длина плотового состава включает длину буксира – толкача проекта 911, длину расчетной плотовой секции и расстояние от основного буксира до плотовой секции, что в целом несколько превышает 300 м и это соответствует седьмому классу участка [5].

Гарантированные габариты включают также радиус закругления судового хода, который по Правилам содержания судовых ходов [7], должен быть не менее пяти длин буксируемого состава, то есть более 1500 м. С учетом длины вспомогательного буксира-плотвода и длины оттяжных тросов с него, радиус закругления еще более увеличится, что может быть не выдержано на крутых излучинах участка, приведет к уменьшению длины плотовой секции и ухудшению эксплуатационно-экономических показателей перевозок, и это не дает основания для принятия более высокого класса пути.

По результатам выполненного анализа обеспеченность проектных уровней для путей местного значения принимается в диапазоне 80-90%, а для седьмого (низшего по значимости) класса она составит 80%, что и принято в дальнейших расчетах для гидрологических постов Бондюг, Керчевский, Тюлькино. Повышение обеспеченности проектных уровней на гидропостах до более высоких значений связано с понижением отметок уровней и усложнением достижения гарантированных габаритов судового хода, а также ухудшением экономических параметров.

Расчет обеспеченностей уровней воды по гидропостам произведен при обработке многолетних статистических рядов путем расчета эмпирической обеспеченности уровней  $P, \%$  по принятой в гидрологических расчетах формуле [5, 8, 9 и др.].

$$P = \frac{m}{n + 1} 100 \quad (2)$$

где  $m$  – порядковый номер уровня воды в ранжированном статистическом ряду;

$n$  – численность статистического ряда;

При расчете обеспеченности уровня воды статистический ряд ранжируют в порядке убывания характеристики (уровня воды), получая вероятность превышения рассматриваемого уровня над другими в статистическом ряду.

Аналогично выражению (2) определяют вероятность даты наступления какого-либо характерного события (в нашем случае даты окончания ледовых явлений на гидрологических постах), при этом ранжирование статистического ряда производится в порядке возрастания характеристики (даты).

Такой подход позволяет производить расчет обеспеченности (вероятности наступления какого-либо события) на любую дату с заданным временным шагом (даже ежедневно), используя современные способы обработки статистических рядов и возможности цифровой технологии. Это многократно снижает трудоемкость и временные затраты по расчету частоты (частости) и обеспеченности (вероятности распределения) случайной величины традиционным способом.

Одним из условий создания необходимых судоходных глубин на Верхней Каме в продленном экспедиционном периоде навигации является учет гидравлических возможностей реки, когда с понижением уровней воды и нехваткой глубин возникает необходимость углубления мелководных участков, что ведет к появлению т.н. «посадки» уровня. Если посадка уровня относительно невелика, существенно меньше получаемого приращения судоходной глубины и не оказывает заметного влияния на русловой режим реки, то транзитная глубина на плесе, при которой наблюдается такая посадка уровня, получила название гидравлически допустимой.

Известна совокупность способов ее расчета на основе уравнений гидравлики с учетом характерных особенностей морфологии русла, в первую очередь форм и параметров его поперечного сечения и асимметрии, неравномерности глубин по длине реки при чередовании плесов и перекатов; использовании в расчетах т.н. инварианта подобия (безразмерной глубины) и показателя руслового режима, через который устанавливается зависимость между расходом воды, глубиной и определяющими ее природными факторами на основе кривой связи расходов воды с

уровнями и др. методы, нашедшие отражение в работах [1, 10, 11, 12, 13, 14, 15], по которым произведены расчеты.

Немаловажным условием создания необходимых характеристик судоходства на участке является анализ русловых переформирований и причин деформации русла, в результате чего установлен характер русловых процессов с выявлением факторов, затрудняющих судоходство, и сделан прогноз русловых переформирований в перспективе. При установлении причинных связей между отдельными явлениями руслового процесса и составлении прогноза русловых деформаций наряду с руководящими и научными материалами [16, 17, 18, 19, 20, 21], имеющимися картографическими материалами, использованы также данные русловых исследований.

Для описания и анализа деформаций отобранный плановый материал русловых съемок объединен в хронологическую ленту сопоставленных и совмещенных планов. Если участок содержит несколько перекатов, то такие ленты составлены для группы взаимосвязанных перекатов.

Наиболее характерные планы совмещены попарно, давая наглядную картину деформаций и их интенсивности. Совмещение и сопоставление съемок различных лет дает картину деформации русла за рассматриваемый период времени и позволяет проследить ход деформаций и основные тенденции развития русла.

### **Результаты**

Обеспеченность уровней воды определена для четырех опорных гидрологических постов участка Верхней Камы: с. Бондюг, пгт. Керчевский, пгт. Тюлькино и г. Березники с разной степенью детализации по временным и уровенным параметрам периодов и фаз водного режима.

Расчет обеспеченностей уровней воды производился по дням экспедиционного вывода плотов с 7 мая по 27 июня за многолетний период с переменным шагом по датам: в период подъема и начала спада половодья для выявления характерных особенностей графика колебаний уровней в районе пика половодья с шагом в одни сутки, в дальнейшем через 10 сут.

По результатам расчетов построены графики эмпирических кривых обеспеченностей уровней воды на горизонтальной логарифмической шкале обеспеченности, обычно принятой в гидрологических расчетах (на рис. 2 приведен пример по гидропосту Бондюг). На графиках показаны расчетные значения уровней разной обеспеченности и проходящая через них сглаживающая эмпирическая кривая, позволяющая определять значения уровней любой обеспеченности в их рассматриваемом интервале. Также приведена плоскость условного (проектного) уровня по посту относительно нуля графика, равная +300 см. Анализ графиков показывает, что сглаживающая эмпирическая кривая в начальный период физической навигации имеет отрицательную асимметрию (кривые имеют выпуклость вверх, то есть положительные отклонения уровней от среднего значения встречаются чаще, чем отрицательные) и крутизна выпуклости наибольшая в период пика половодья и около него (примерно 11.05 – 17.05), затем кривая обеспеченности начинает выправляться (18.05 – 27.05), а в июне (7.06 и далее) кривая обеспеченности имеет положительную асимметрию, выпукла вниз и отрицательные отклонения уровней от среднего встречаются чаще. В соответствии с видом кривой и ее асимметрией значения рабочих уровней в многолетнем периоде относительно условного уровня на посту также имеют схожую тенденцию. В начальный период фактические уровни воды превышают условный уровень, имея максимальную концентрацию случаев превышения в период 9.05 – 17.05, в этом периоде уровни ниже условного

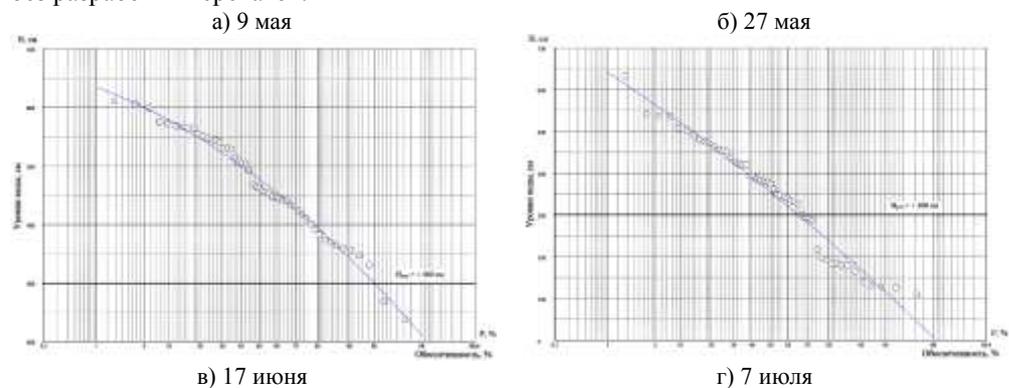
встречаются эпизодически. Тогда же наблюдаются наибольшие уровни, достигающие максимума к 13 – 17 мая. После 18 мая уровни начинают ускоренно понижаться, их число ниже условного уровня увеличивается, в начале июля становится преобладающим, в июле рабочие уровни выше условного появляются эпизодически, а с конца августа и далее уровни ниже условного. Кривые обеспеченности уровней на принятые даты (рис. 2) подтверждают выводы выполненного анализа.

На рис. 3 приведен совмещенный график колебаний уровней воды 80% обеспеченности по гидропостам Бондюг, Керчевский, Тюлькино, Березники, из которого следует практически совпадающий по динамике режим изменения уровней по постам Бондюг, Керчевский, Тюлькино на всем временном интервале экспедиционного периода и значительно отличающийся уровень режим на посту Березники с конца мая до конца июня из-за влияния подпора Камского водохранилища.

По результатам выполненных исследований для продленного экспедиционного периода вывода плотовых составов по гидропостам участка с. Бондюг – пгт. Тюлькино определены расчетные абсолютные и условные отметки проектных уровней 80% обеспеченности. В соответствии с ними для обеспечения гарантированной глубины на участке Бондюг – Тюлькино необходимо понизить дно от проектных уровней на 1,3 м.

На рис. 4 приведен продольный профиль участка от с. Бондюг до пгт. Керчевский, на котором показано фактическое положение дна по результатам гидрографических изысканий (сентябрь 2021 г.) и плановое положение дна для создания гарантированной глубины 1,3 м.

Углубленный анализ соотношения положения свободной поверхности воды при проектных уровнях на постах и линии дна показывает, что на участке Бондюг – Керчевский в продленном экспедиционном периоде лимитирует достижение гарантированной глубины  $T_r = 1,3$  м два переката, а на участке Керчевский – Тюлькино гарантированная глубина 1,3 м выдерживается в экспедиционном периоде без разработки перекатов.



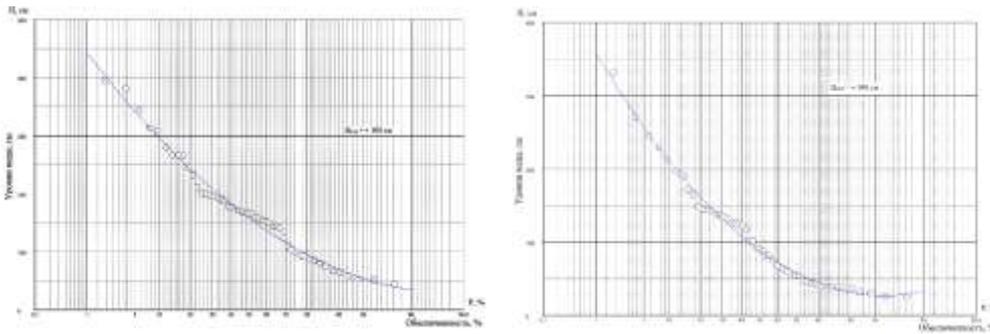


Рис. 2. Эмпирическая кривая обеспеченностей уровней воды по гидропосту Бондюг за многолетний период на даты: а) 9 мая; б) 27 мая; в) 17 июня; г) 7 июля.  
 оооо – расчетные значения; — – сглаживающая кривая

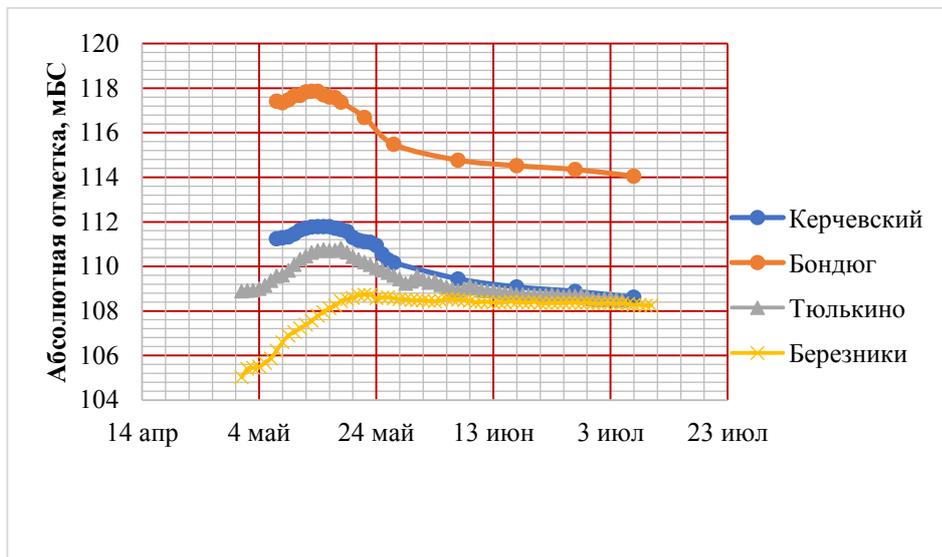


Рис. 3. Совмещенный график колебаний уровней воды 80 % обеспеченности по гидропостам на участке Бондюг – Березники (май - июль)

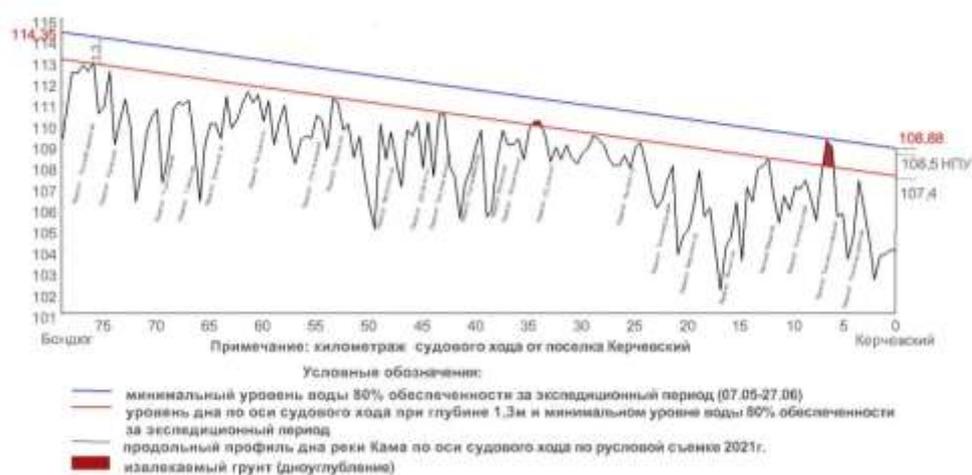


Рис. 4. Положение расчетных уровней воды 80% обеспеченности и линии дна для создания гарантированной глубины на участке Бондюг – Керчевский в продленном экспедиционном периоде

Оценка других условий создания судоходных глубин на Верхней Каме показывает, что полученная расчетом максимальная судоходная глубина (в нашем случае 2,28 м) является гидравлически допустимой с точки зрения морфометрических и гидравлических характеристик реки и назначенная гарантированная глубина на участке  $T_{\Gamma} = 1,3$  м этому не противоречит.

В результате выполненного анализа русловых переформирований и причин деформации русла р. Кама от с. Бондюг до г. Соликамск определены основные тенденции его развития по участкам в рассматриваемых границах и интенсивность русловых деформаций, приведена характеристика затруднительных для судоходства участков от с. Бондюг до г. Соликамск, в числе которых рассмотрены и оценены с точки зрения трудностей для судоходства имеющиеся перекаты.

Выполненный анализ русловых деформаций, вызывающих затруднения для судоходства, использован в дальнейшем для разработки рациональных вариантов улучшения судоходных условий, связанных с обоснованием положения судового хода и его габаритов, целесообразностью применения выправительных сооружений, строительства береговых гидротехнических сооружений и др.

Изменение уровня режима реки является основным фактором, влияющим на судоходные глубины на участке и их обеспечение.

В продленном периоде экспедиционного вывода плотов (базовый вариант) глубины на участке на время  $t$  определяются:

$$T_{\text{экс } t} = T_{\Gamma} + \Delta T_t \quad (3)$$

где  $T_{\text{экс } t}$  – навигационная глубина в экспедиционном периоде на текущее время  $t$ , м;

$T_{\Gamma}$  – гарантированная (проектная) глубина на участке (минимальная на конец экспедиционного периода), м. Принята  $T_{\Gamma} = 1,3$  м;

$\Delta T_t$  – приращение навигационной глубины на текущее время  $t$  относительно гарантированной (проектной) глубины, м.

Поскольку достижение гарантированной глубины установлено на конец экспедиционного периода, характеризующегося высотной отметкой уровня воды

заданной обеспеченности, то приращение  $\Delta T_t$  определяется разницей высот уровней на текущее время  $t$  ( $H_{abc t}$ ) и на конец периода (27 июня)  $H_{abc27.06}$ .

$$\Delta T_t = H_{abc t} - H_{abc27.06} \tag{4}$$

Обоснование минимальных навигационных глубин на участке производится в следующей последовательности:

1) строятся графики минимальных навигационных глубин по гидропостам в соответствии с (3), (4).

2) глубины на участке определяются по минимальным глубинам на опорных гидропостах. По результатам расчетов применительно к участку Бондюг – Керчево, глубина на участке в период с 7 мая по 27 мая лимитируется глубинами на посту Керчевский, с 27 мая по 27 июня – глубинами на посту Бондюг. Поэтому глубина на участке ограничивается нижними ветвями огибающих кривых глубин по гидропостам и в целом по участкам Бондюг – Керчево, Керчево – Тюлькино она показана на рис. 5. По результатам его построения разработан график рекомендуемого использования плотовых составов с разными параметрами для прохождения участков в течение экспедиционного периода (рис. 6).

Для построения графика назначены варианты плотовых составов с разными осадками в зависимости от лимитирующего звена в составе (буксир-плотовод или плот). Осадка буксира принимается равной 1,0 м (буксир мощностью 300 л.с.) или 1,5 м (буксир мощностью 600 л.с.), а глубина с учетом запаса воды под днищем и других факторов  $\Delta T_{пл} = 0,3$  м (формула (1)) соответственно 1,3 и 1,8 м. Осадка буксируемого плота в этом случае изменяется от 1 м до 1,5 м. При осадке плота от 1,5 м до 2 м с учетом запаса воды глубина на участке должна составлять от 1,8 м до 2,3 м. Таким образом, граничные значения минимальных глубин, привязанных к схеме формирования плотового состава, принимаются равными 1,3 м; 1,8 м; 2,3 м (дополнительно принята граничная глубина 1,6 м для более точного построения графика). Дата наступления граничного значения для каждого участка отыскивается интерполированием между двумя смежными датами, в интервал времени между которыми попадает граничное значение минимальной глубины. Дата граничного значения глубины и продолжительность ее поддержания приведены в таблице 2.

По датам наступления граничных значений минимальных глубин на участках строятся кривые, ограничивающие области рекомендуемого использования плотовых составов в экспедиционном периоде при поддержании гарантированной глубины  $T_T = 1,3$  м.

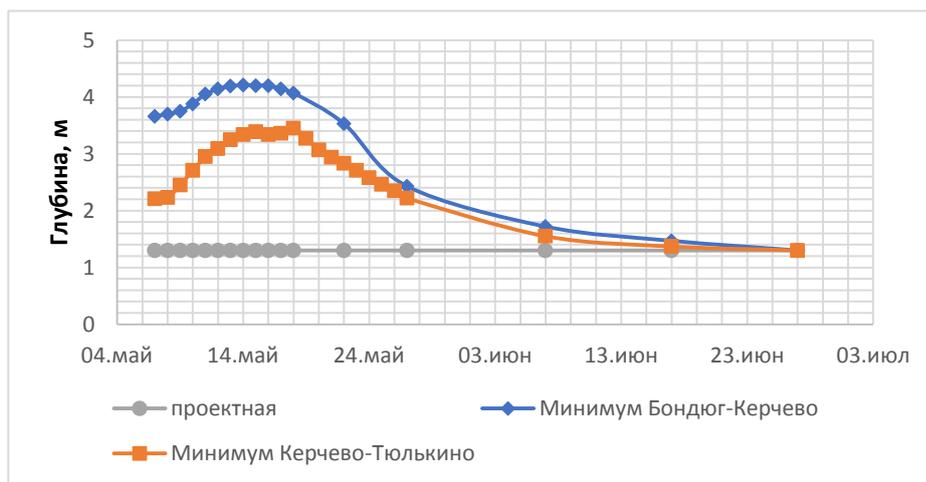


Рис. 5. Минимальные навигационные глубины по участкам Верхней Камы

Таблица 2

**Временные параметры граничных значений минимальной глубины на участках**

Граничные значения минимальной глубины, м	Бондюг - Керчевский		Керчевский - Тюлькино	
	Дата наступления глубины	Продолжительность поддержания глубины, сут.	Дата наступления глубины	Продолжительность поддержания глубины, сут.
1,3	27 июня	51	27 июня	51
1,6	12 июня	36	6 июня	29
1,8	7 июня	31	3 июня	26
2,3	29 мая	22	26 мая (спад уровня)	18
2,2 – 2,3	–	–	8 мая (подъем уровня)	1

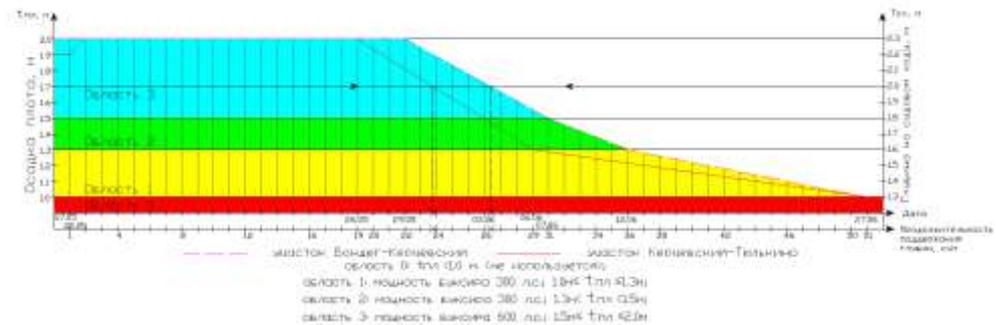


Рис. 6. График рекомендуемого использования плотовых составов для прохождения участков в экспедиционном периоде

На графике показаны области использования плотовых составов в зависимости от осадки буксира – плотовода, плота и глубины участка. Например, при осадке плота 1,7 м и минимальной глубине не менее 2,0 м (область III) проводка плотового состава за буксиром мощностью 600 л.с. целесообразна на участке Бондюг – Керчевский с 7 мая по 4 июня продолжительностью 27 сут, на участке Керчевский – Тюлькино с 7 мая по 31 мая продолжительностью 24 сут. Такой подход создает условия для разработки плановых графиков вывода плотов на исследуемом участке Верхней Камы и решения организационных вопросов.

**Обсуждение**

Обсуждению могут подлежать вопросы методического подхода обоснования обеспеченностей проектных уровней по опорным гидропостам, который в предложенном варианте нацелен на назначение обеспеченности отметок уровней воды, а не их продолжительности и по которому отметки будут выдерживаться практически весь рассматриваемый период навигации.

**Заключение**

Приведены результаты исследования уровенного и руслового режимов р. Кама на участке от с. Бондюг до г. Соликамск с обоснованием отметок проектных уровней на гидропостах Бондюг, Керчевский, Тюлькино и габаритов судового хода по глубине с 226

оценкой возможности установления ее гарантированной величины. Произведено обоснование гидравлически допустимой глубины на участке с. Бондюг – пгт. Тюлькино, выполнен анализ русловых переформирований и причин деформации русла р. Кама на исследуемом участке, вызывающих затруднения для судоходства.

Основные полученные результаты исследования:

1. Низкая обеспеченность существующего условного (проектного) уровня на гидропостах не создает условий для транспортного освоения участка с. Бондюг – пгт. Тюлькино за пределами экспедиционного периода вывода плотов с Верхней Камы, который в практических условиях длится при высокой воде до 25 сут. с начала физической навигации обычно до конца мая. За этот период необходимо вывести плоты зимней сплотки разного объема с осадкой 1-2 м.
2. Анализ грузопотоков на исследуемом участке показал, что объем вывода плотов с Верхней Камы за период 1999-2021 гг. доходил в отдельные годы до 500 тыс.м3, а потенциальные объемы могут быть увеличены до 900 тыс.м3 – 1,1 млн.м3. Это потребует при существующем сокращении буксирной тяги у перевозчиков увеличения продолжительности периода вывода леса в плотах в два раза (около 50 сут), что принято в качестве базового варианта продления периода экспедиционного вывода плотов с Верхней Камы.
3. Для достижения возможности продления периода экспедиционного вывода плотов произведено обоснование значений обеспеченности расчетных (проектных) уровней воды на участке по признаку класса пути, устанавливаемого с учетом гарантированных габаритов пути и габаритов плотового состава. Гарантированная глубина на участке принята для базового варианта по лимитирующему периоду (при падении уровней в продленный период экспедиционного вывода плотов) и параметрам плотового состава в нем, равной 1,3 м.
4. Расчет обеспеченностей уровней воды по гидропостам произведен при обработке многолетних статистических рядов через определение эмпирической обеспеченности уровней по принятой в гидрологических расчетах методике с установлением высотных отметок проектных уровней.
5. Укрупненный анализ соотношения положения свободной поверхности воды при проектных уровнях на гидропостах для разных временных периодов и линии дна по оси судового хода (русловая съемка 2021 г.) показывает, что на участке Бондюг – Керчевский в продленном экспедиционном периоде лимитируют достижение гарантированной глубины 1,3 м два переката. На участке Керчевский – Тюлькино гарантированная глубина 1,3 м выдерживается в экспедиционном периоде без разработки перекатов.
6. Для продленного периода экспедиционного вывода плотов определены глубины при проектном уровне на конкретное время в периоде, по которым построены графики навигационных глубин по гидропостам Бондюг, Керчевский, Тюлькино и по участкам Бондюг – Керчево, Керчево – Тюлькино. На их основе разработан график рекомендуемого использования плотовых составов разных типоразмеров при разной мощности буксиров для прохождения участков в течение экспедиционного периода и решения организационных вопросов при логистическом сопровождении плотовых перевозок.

#### Список литературы

1. Гришанин К.В. Водные пути // Учебник для ВУЗов/ К.В. Гришанин, В.В. Дегтярев, В.М. Селезнев – М.: Транспорт, 1986. – 400 с.
2. Дегтярев В.В. Селезнев В.М., Фролов Р.Д. Водные пути: Учебник для вузов – М.: Транспорт, 1980 – 328 с.
3. Михайлов А.В., Левачев С.Н. Водные пути и порты: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1982 – 224 с.
4. Правила содержания судовых ходов и судоходных гидротехнических сооружений (проект – официальный сайт Минтранса РФ)  
<http://mintrans.gov.ru/activities/101/123/125/documents>
5. ГОСТ 26775-97. Межгосударственный стандарт. Габариты подмостовые судоходных пролетов мостов на внутренних водных путях. Нормы и технические требования. М. Введ. в действие с 01.01.1998 г. постановлением Госстроя России от 29.07.97 №18-42.
6. Правила плавания по внутренним водным путям Российской Федерации. – М. По Волге. – Рконсульт, 2003. – 128 с.
7. Правила содержания судовых ходов и судоходных гидротехнических сооружений. Утв. Приказом Минтранса РФ от 08.04.2010 №113. Зарегистрировано в Минюсте РФ от 09.06.2020 № 58613.
8. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Актуализированная редакция СНиП 2.01.14-83 [текст] / Минрегион России. – Введ. 2004-01-01.-М. Госстрой России, 2004.-75 с.
9. Гришанин К.В. Сорокин Ю.И. Гидрология и водные изыскания. Учебник для вузов / Под ред. К.В. Гришанина. – М. Транспорт, 1982. – 212 с.
10. Чернышов Ф.М. Пути повышения эффективности дноуглубительных и выправительных работ на судоходных реках // Труды гидротехники, вып. XXVIII / Ф.М. Чернышов – Новосибирск, 1968. – С. 122–142.
11. Руководство по улучшению судоходных условий на свободных реках // С. Петербург, 1992. – 312 с.
12. Руководство по методам расчета планирования и оценки эффективности путевых работ на свободных реках // М.: Транспорт, 1978. – 104 с.
13. Маккавеев Н.И. Руслевой режим рек и трассирование прорезей. / Н.И. Маккавеев. – М.: Речиздат, 1949 г. – 202 с.
14. Воронина Ю.Е. Обоснование понятия гидравлически допустимой глубины. Вестник ВГАВТ. «Судовождение и безопасность плавания, водные пути, гидротехнические сооружения и экологическая безопасность судоходства». / Ю.Е. Воронина. – Н. Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2007. – Вып. 23. – с. 62-64.
15. Воронина Ю.Е. Канализирование русла реки в результате интенсивных дноуглубительных работ (На примере участка реки Волги Горьковская ГЭС - Н. Новгород) Труды МГУ «Динамика потоков и эрозионно-аккумулятивные процессы» / Ю.Е. Воронина. – М.: МГУ, 2000. – с. 83-87.
16. Руководство по проектированию коренного улучшения судоходных условий на затруднительных участках свободных рек. – Л.: Транспорт, 1974. – 312 с
17. Руководство по изысканиям и анализу руслового процесса на затруднительных участках свободных рек / Главное управление водных путей и гидротехнических сооружений Минречфлота РСФСР. – М.: Транспорт, 1981. – 36 с.
18. Чалов Р.С. Показатели устойчивости русла, их использование для оценки интенсивности русловых деформаций и пути совершенствования // Динамика русловых потоков / Р.С. Чалов – Л.: 1983.
19. Воронина Ю.Е. Трансформация поперечного сечения русла в условиях интенсивных дноуглубительных работ. Материалы научно-технической конференции посвященной 70-летию академии. Труды ВГАВТ. / Ю.Е. Воронина. – Н.Новгород: ВГАВТ, 2000. – Вып. 292. Часть 4. – с. 101-105.
20. Воронина Ю.Е. Изменение судоходного состояния рек в результате канализирования русла. Труды МГУ «Динамика овражно-балочных форм и русловые процессы». / Ю.Е. Воронина. – М.: МГУ, 2002. – с. 76-81.
21. Воронина Ю.Е. Русловые деформации на участке нижнего бьефа Чайковского шлюза. Эрозионные, русловые и устьевые процессы (исследования молодых ученых университетов) [сборник статей по материалам XI семинара молодых ученых вузов,

объединяемых советом по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов] / Ю.Е. Воронина, М.А. Матюгин. – Н. Новгород: Мининский университет, 2016. – С. 158-162.

#### References

1. Grishanin K.V. Vodnye puti [Waterways] // Uchebnik dlya vuzov/ K.V. Grishanin, V.V. Degtyarev, V.M. Seleznev – М.: Transport, 1986. – 400 s.
2. Degtyarev V.V. Seleznev V.M., Frolov R.D. Vodnye puti [Waterways]: Uchebnik dlya vuzov – М.: Transport, 1980 – 328 s.
3. Mikhailov A.V., Levachev S.N. Vodnye puti i porty [Waterways and ports]: Uchebnik dlya vuzov. – М.: Vysshaya shkola, 1982 – 224 s.
4. Pravila soderzhaniya sudovykh khodov i sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii (proekt – ofitsial'nyi sait Mintransa RF) [Rules for the maintenance of ship passages and navigable hydraulic structures (project – official website of the Ministry of Transport of the Russian Federation)] <http://mintrans.gov.ru/activities/101/123/125/documents>
5. GOST 26775-97. Mezhgosudarstvennyi standart. Gabarity podmostovye sudokhodnykh proletoz mostov na vnutrennikh vodnykh putyakh. Normy i tekhnicheskie trebovaniya. [Interstate standard. The dimensions of the scaffolding of navigable bridge spans on inland waterways. Norms and technical requirements] M. Vved. v deistvie s 01.01.1998 g. postanovleniem Gosstroya Rossii ot 29.07.97 №18-42.
6. Pravila plavaniya po vnutrennim vodnym putyam Rossiiskoi Federatsii [Rules of navigation on inland waterways of the Russian Federation]. – М. Po Volge. – Rkonsul't, 2003. – 128 s.
7. Pravila soderzhaniya sudovykh khodov i sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii. Utv. Priказом Mintransa RF [Rules for the maintenance of ship passages and navigable hydraulic structures. Approved. By order of the Ministry of Transport of the Russian Federation] ot 08.04.2010 №113. Zaregistrirvano v Minyuste RF ot 09.06.2020 № 58613.
8. SP 33-101-2003. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [Determination of the main calculated hydrological characteristics]. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIP 2.01.14-83 [tekst] / Minregion Rossii. – Vved. 2004-01-01.-M. Gosstroi Rossii, 2004.-75 s.
9. Grishanin K.V. Sorokin YU.I. Gidrologiya i vodnye izyskaniya [Hydrology and water surveys]. Uchebnik dlya vuzov / Pod red. K.V. Grishanina. – М. Transport, 1982. – 212 s.
10. Chernyshov F.M. Puti povysheniya ehffektivnosti dnouglubitel'nykh i vypravitel'nykh rabot na sudokhodnykh rekakh [Ways to improve the efficiency of dredging and straightening works on navigable rivers] // Trudy gidrotekhniki, vyp. KHKHVIII / F.M. Chernyshov – Novosibirsk, 1968. – S. 122–142.
11. Rukovodstvo po uluchsheniyu sudokhodnykh uslovii na svobodnykh rekakh [Guidelines for improving navigable conditions on free rivers] // S. Peterburg, 1992. – 312 s.
12. Rukovodstvo po metodam rascheta planirovaniya i otsenki ehffektivnosti putevykh rabot na svobodnykh rekakh [Manual on methods for calculating planning and evaluating the effectiveness of track work on free rivers] // М.: Transport, 1978. – 104 s.
13. Makkaveev N.I. Ruslovoi rezhim rek i trassirovanie prorezei [Riverbed regime and slot tracing] / N.I. Makkaveev. – М.: Rechizdat, 1949 g. – 202 s.
14. Voronina YU.E. Obosnovanie ponyatiya gidravlicheski dopustimoi glubiny [Substantiation of the concept of hydraulically permissible depth]. Vestnik VGAVT. «Sudovozhdenie i bezopasnost' plavaniya, vodnye puti, gidrotekhnicheskie sooruzheniya i ehkologicheskaya bezopasnost' sudokhodstva». / YU.E. Voronina. – N. Novgorod: Izd-vo FGOU VPO «VGAVT», 2007. – Vyp. 23. – s. 62-64.
15. Voronina YU.E. Kanalizirovanie rusla reki v rezul'tate intensivnykh dnouglubitel'nykh rabot (Na primere uchastka reki Volgi Gor'kovskaya GEHS - N. Novgorod) [Channeling of the riverbed as a result of intensive dredging (On the example of the section of the Volga river Gorkovskaya HPP - N. Novgorod)] Trudy MGU «Dinamika potokov i ehrozionno-akkumuliyativnye protsessy» / YU.E. Voronina. – М.: MGU, 2000. – s. 83-87.
16. Rukovodstvo po proektirovaniyu korenogo uluchsheniya sudokhodnykh uslovii na zatrudnitel'nykh uchastkakh svobodnykh rek [Guidelines for the design of a radical

- improvement of navigable conditions in difficult sections of free rivers]. – L.: Transport; 1974. – 312 s
17. Rukovodstvo po izyskaniyam i analizu ruslovogo protsessa na zatrudnitel'nykh uchastkakh svobodnykh rek [Guide to the exploration and analysis of the channel process in difficult areas of free rivers] / Glavnoe upravlenie vodnykh putei i gidrotekhnicheskikh sooruzhenii Minrechflota RSFSR. – M.: Transport, 1981. – 36 s.
  18. Chalov R.S. Pokazateli ustoichivosti rusla, ikh ispol'zovanie dlya otsenki intensivnosti ruslovykh deformatsii i puti sovershenstvovaniya [Indicators of channel stability, their use to assess the intensity of channel deformations and ways to improve] // Dinamika ruslovykh potokov./ R.S. Chalov – L.: 1983.
  19. Voronina YU.E. Transformatsiya poperechnogo secheniya rusla v usloviyakh intensivnykh dnouglubitel'nykh rabot [Transformation of the cross-section of the riverbed in conditions of intensive dredging]. Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii posvyashchennoi 70-letiyu akademii. Trudy VGAVT. / YU.E. Voronina. – N.Novgorod: VGAVT, 2000. – Vyp. 292. Chast' 4. – s. 101-105.
  20. Voronina YU.E. Izmenenie sudokhodnogo sostoyaniya rek v rezul'tate kanalizirovaniya rusla [Changes in the navigable state of rivers as a result of channeling of the riverbed]. Trudy MGU «Dinamika ovrazhno-balochnykh form i ruslovykh protsessov». / YU.E. Voronina. – M.: MGU, 2002. – s. 76-81.
  21. Voronina YU.E. Ruslovykh deformatsii na uchastke nizhnego b'efa Chaikovskogo shlyuza [Channel deformations on the section of the lower reaches of the Tchaikovsky lock]. Ehrroziionnye, ruslovykh i ust'evykh protsessy (issledovaniya molodykh uchenykh universitetov) [sbornik statei po materialam KHI seminarov molodykh uchenykh vuzov, ob'edinyayemykh sovetom po probleme ehroziionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov] / YU.E. Voronina, M.A. Matyugin. – N. Novgorod: Mininskii universitet, 2016. – S. 158-162.

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Ситнов Александр Николаевич**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Водных путей и гидротехнических сооружений», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: stnv1952@rambler.ru

**Кочкурова Наталия Викторовна**, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Водных путей и гидротехнических сооружений», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: kochkurovanataly@mail.ru

**Alexander N. Sitnov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Waterways and Hydraulic Structures, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail: stnv1952@rambler.ru

**Natalia V. Kochkurova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Waterways and Hydraulic Structures, Volga State University of Water Transport, 603950, Nizhny Novgorod, Nesterova str., 5, e-mail: kochkurovanataly@mail.ru

Статья поступила в редакцию 28.04.2022; опубликована онлайн 20.09.2022  
Received 28.04.2022; published online 20.09.2022.