

УДК 556.536

Построение цифровой модели русла реки Пур в верховьях для обеспечения техносферной безопасности на внутренних водных путях

Н. А. Саноцкая^{1,2}, И. А. Беликов¹

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет, Российская Федерация, 192007, Санкт-Петербург, Воронежская ул., 79

² Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Российская Федерация, 199397, Санкт-Петербург, Беринга ул., 38

Для цитирования: Саноцкая Н. А., Беликов И. А. Построение цифровой модели русла реки Пур в верховьях для обеспечения техносферной безопасности на внутренних водных путях // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2022. — Т. 19. — Вып. 4. — С. 712–726. DOI: 10.20295/1815-588X-2022-4-712-726

Аннотация

Цель: Рассмотреть вопросы построения и использования цифровых моделей русел рек для обеспечения техносферной безопасности на внутренних водных путях на примере реки Пур. **Методы:** Сбор, обработка данных наблюдений за водными объектами и перевод их в электронный формат с дальнейшим анализом. **Результаты:** Для обеспечения техносферной безопасности представлена цифровая модель русла реки Пур в верховьях и обновлены метеорологические и гидрологические характеристики в исследуемом районе. Показана разность температур воздуха по действующим нормативным документам (СП 131.13330.2020 «Строительная климатология») и средним показателям за 30 лет (базовый климатический период с 1991 по 2020 г.). **Практическая значимость:** Показана необходимость уточнения метеорологических и гидрологических характеристик в условиях изменяющегося климата. Для поддержания габаритных параметров русел рек рекомендовано создание цифровых моделей. Результаты работы могут быть рекомендованы к практическому использованию. Главным выводом работы является то, что использование цифровых моделей в сфере судоходства может существенно облегчать выполнение задач. Главным преимуществом использования моделей является визуализация — с помощью модели можно легко и быстро определить проблемные участки. Получение информации с модели, например поперечного профиля, также осуществляется за пару минут. При изменении рельефа, например после проведения дноуглубительных работ, все изменения внести в модель не составит труда.

Ключевые слова: Техносферная безопасность, внутренние водные пути, цифровая модель русла реки, водный режим, река Пур.

Введение

Для обеспечения техносферной безопасности на внутренних водных путях необходимо знание водного и ледового режимов водотоков, а также о стоке наносов и русловых процессах для поддержания судоходных глубин. В связи с этим большую помощь может оказать создание цифровой модели русла реки, поскольку позволит оперативно отслеживать обстановку на водных путях и вносить корректировку при производстве дноуглубительных работ.

Внутренние водные пути имеют особое значение для Арктической зоны Российской Федерации, где обеспечение людей необходимыми товарами происходит в основном по воде.

Например, ближайшая железнодорожная станция к г. Тарко-Сале — Пурувск — расположена в 18 км от города. С Большой землей город связан аэропортом, пристанью на реке Пяку-Пур, автодорогой с твердым покрытием до города Губкинский. Дороги регионального и федерального значения по территории города не проходят [1]. Река Пур относится к водным путям Обь-Иртышского бассейна.

Водные пути Обь-Иртышского бассейна простираются от границы с Республикой Казахстан на юге до практически Карского моря на севере, по условиям плавания на них установлены все разряды внутренних водных путей. Водные пути бассейна не имеют водоподпорных и судоходных гидротехнических сооружений и находятся в естественном состоянии. Всего 8729 км водных путей бассейна [2].

Для обеспечения техносферной безопасности на внутренних водных путях проводятся путевые работы, в том числе углубление судового хода и оснащение его судоходной обстановкой. Для производства дноуглубления и выправления русел рек в современных условиях удобно проектировать указанные работы на компьютерной модели. В связи с этим в статье рассматривается методика

получения графической модели участка в верховьях реки Пур с дальнейшим анализом полученной модели.

Описание реки

Река Пур образуется от слияния рек Пякупур и Айваседапур и впадает в Тазовскую губу Карского моря. Длина реки Пур — 394 км; вместе с рекой Пякпур и ее притоком рекой Янгьягун — 1024 км, площадь водосбора — 112 000 км² (рис. 1). Общее падение реки Пур составляет 21 м, уклон реки небольшой и равен 0,054 ‰ [3].

Бассейн реки Пур характеризуется плоским рельефом местности, многочисленными озерами и сильной заболоченностью. Пойма реки преимущественно двусторонняя, изобилует старицами и озерами. Долина реки имеет ширину 5–10 км в верхнем течении, 10–12 км в среднем и 20–25 км в нижнем течении. Русло реки подвержено значительным переформированиям, особенно во время половодья. Здесь имеется много островов, осередков, побочней и кос. Ширина русла — 400–700 м [3].

Растительность в бассейне реки Пур неоднородна. На протяжении почти 160 км река протекает за Северным полярным кругом, поэтому в нижней части бассейна от устья Пура до поселка Самбург растительность представляет собой типичную кочкарную тундру, характеризующуюся безлесьем, где только по берегам встречается мелкий кустарник. Выше поселка Самбург начинается лесотундра: с мелким редколесьем по берегам. По мере продвижения вверх по реке лесистость местности возрастает.

Река Пур имеет большое транспортное значение, так как местные перевозки почти на всей территории бассейна могут осуществляться только водным транспортом. В связи с разработкой нефтегазовых месторождений в бассейне реки грузооборот значительно увеличился и транспортное значение Пура еще более возросло.

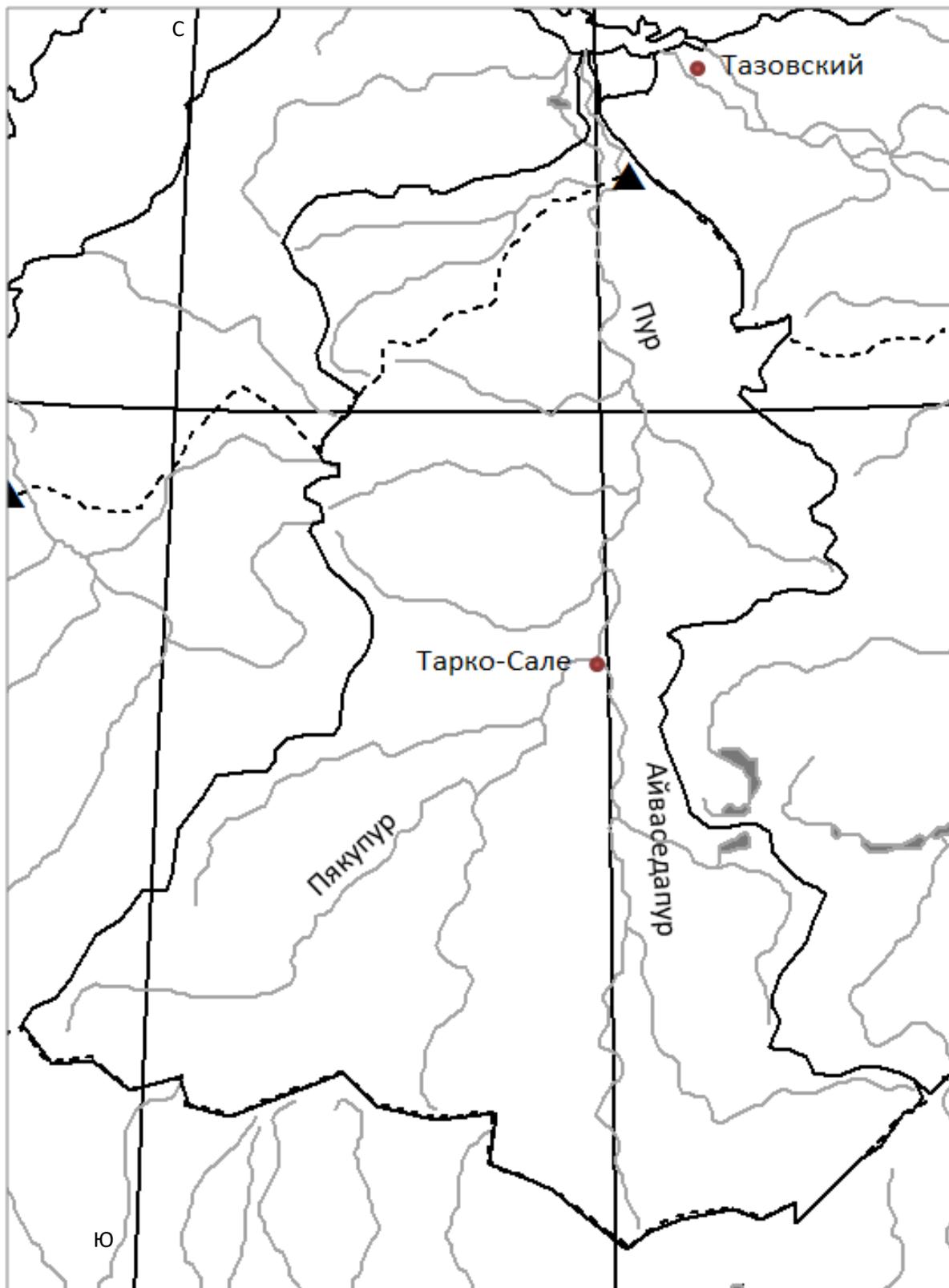


Рис. 1. Схема водосбора реки Пур

Условия судоходства

В настоящее время р. Пур от устья до Тарко-Сале является судоходной рекой. По навигационным условиям р. Пур можно разделить на два участка: верхний — от пос. Тарко-Сале до Уренгой и нижний — от Уренгой до устья. Верхний участок имеет большое количество перекатов и менее удобен для судоходства, чем нижний. При снижении уровня до меженного в средний по водности год на верхнем участке реки насчитывается 14 перекатов с глубинами ниже гарантированных. Характерной особенностью реки на этом участке является незначительная протяженность отдельных перекатов, достигающая 150–200 м при длине плесов 5–7 км. Наиболее затруднительным на верхнем участке является перекат, расположенный на 33 км ниже Тарко-Сале [3].

Нижний участок р. Пур является более благоприятным для судоходства. Глубины здесь сравнительно одинаковы и удерживаются на уровне гарантированных. Наиболее трудный перекат в многоводные годы находится на 185–187 километре вниз по течению от Тарко-Сале. В маловодные и средние по водности годы с глубинами меньше гарантированных насчитывается до пяти-шести перекатов.

На нижнем участке Пякупура и на Пуре русло рек извилистое, судовой ход во многих местах

узкий, ведет среди отмелей. На отдельных участках характер подводного рельефа сильно изменяется даже в течение одной навигации, что затрудняет судоходство. Гарантированные габариты судового хода на таких участках реки поддерживаются систематическими дноуглубительными работами.

Габариты судовых ходов рассчитываются и регулярно обновляются Федеральным агентством морского и речного транспорта Российской Федерации.

Для реки Пур габаритные характеристики приведены в табл. 1 [4].

Река Пур по интенсивности судоходства относится к водным путям III группы.

В протоке Пыринтояха (125 км) на левом берегу расположено место выгрузки. Здесь на подбазе производится складирование и накопление грузов для последующей отправки их вверх по Пурю на судах с малой осадкой.

Гидрометеорологическая изученность

На водосборе реки Пур, на главной реке и ее притоках располагается 6 действующих гидрологических постов (табл. 2). Три из них расположены непосредственно на самой реке Пур: пгт. Уренгой, с. Самбург, г. Тарко-Сале. Остальные три расположены на притоках реки: р. Еркал-

ТАБЛИЦА 1. Габаритные характеристики судового хода на реке Пур

Наименование водного пути	Протяженность, км	Гарант. глубина, м	Гарант. ширина, м	Гарант. радиус, м	Продолжит. навигации, дней
Река Пур	256	1.2	30	200	122

ТАБЛИЦА 2. Гидрологические посты на р. Пур и ее притоках

№ по рис. 2	Река	Пост	Расст. от устья, км	Площадь водосбора, км ²	Дата открытия поста
1	Пур	г. Самбург	86	95 100	07.10.1936
2	Седэ-Яха	г. Новый Уренгой	4,10	1300	11.04.1985
3	Пур	пгт. Уренгой	245	80 400	07.09.1948
4	Пур	г. Тарко-Сале	3,4	31 400	01.08.1938
5	Хале-Савой	с. Халясавэй	1,5	822	20.08.1985
6	Еркал-Надей-Пур	с. Халясавэй	108	6600	27.08.1958

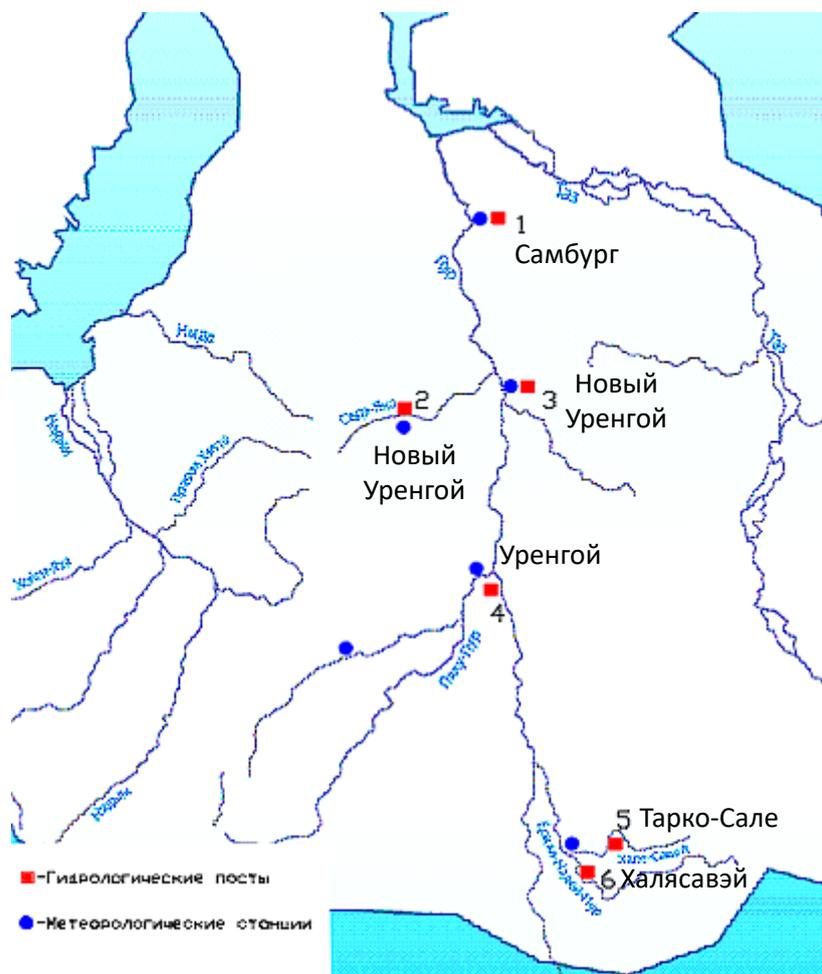


Рис. 2. Схема гидрометеорологической изученности

Надей-Пур — с. Халясавэй и р. Седэ-Яха — г. Новый Уренгой расположены на притоках первого порядка; р. Хале-Савой — с. Халясавэй на притоке второго порядка.

Также на территории водосбора реки расположено 6 метеорологических станций. Схема расположения гидропостов и метеостанций представлена на рис. 2.

Климатическая характеристика

Для климата бассейна реки Пур характерны продолжительная и суровая зима, короткое прохладное и влажное лето. Среднегодовая температура воздуха минус 4,6 °С (за период 1991–2020) в районе поселка Тарко-Сале и минус 7,3 °С на ниж-

нем участке Пура (МС Тазовск, 1991–2020) [5]. Абсолютный минимум температуры воздуха зарегистрирован минус 50 °С. Летом наблюдается много солнечных дней. Температура воздуха в это время может повышаться до 30–32 °С, а при северных ветрах понижаться до 0 °С. Заморозки на почве бывают в любое время теплого периода года. Продолжительность безморозного периода в среднем составляет 80–100 дней, а в отдельные годы 50–60 дней.

Среднемесячные и среднегодовые значения температуры воздуха по МС Тарко-Сале по СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» (1966–2018) [6] и за базовый климатический период с 1991 по 2020 г. представлены в табл. 3.

ТАБЛИЦА 3. Среднемесячные и среднегодовые значения температуры воздуха по МС Тарко-Сале, °С

Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1966–2018	–25,2	–23,6	–14,9	–7,8	0,0	11,3	16,4	12,4	5,8	–4,3	–16,1	–21,7	–5,6
1991–2020	–23,7	–21,6	–13,0	–6,4	1,5	12,6	16,7	12,8	6,1	–3,2	–16,1	–21,4	–4,6
Разница	1,5	2,0	1,9	1,4	1,5	1,3	0,3	0,4	0,3	1,1	0,0	0,3	1,0

Разница в значениях среднемесячных температур за разные периоды осреднения (43 и 30 лет) составляет от 0,0 °С (ноябрь) до +2,0 °С (февраль). Разница среднегодовых значений достигает 1,0 °С.

При этом средние температуры второго промежутка (1991–2020) выше, чем температуры первого (1966–2018).

Из этого следует важность не только исследований в данной области, но и проведения регулярного реанализа данных.

Летом и осенью в бассейне реки Пур чаще наблюдаются ветры северного и северо-западного направлений, зимой — юго-западного и южного. Среднегодовая скорость ветра — 6,6–7,5 м/с. Штормовые ветры со скоростью 22–25 м/с бывают почти ежегодно, чаще дуют с севера и наблюдаются обычно в конце августа, в сентябре. Ураганные ветры со скоростью 30–35 м/с отмечаются редко — один раз в 20 лет. Роза ветров представлена на рис. 3.

Количество осадков за год в среднем изменяется от 530 мм (МС Тарко-Сале, 1966–2020) на юге бассейна до 477 мм (МС Тазовск, 1966–2020) — на севере. Дожди ливневого характера наблюдаются относительно редко, чаще идут затяжные дожди. Снежный покров в среднем появляется 5 октября. Устойчивый снежный покров образуется 10–12 октября, а сходит, как правило, в конце мая.

В течение навигационного периода отмечается от 10 до 30 дней с туманами. Количество дней с туманами в северной части бассейна Пура больше, чем в южной. Туманы образуются обычно в ночные часы и рассеиваются с восходом солнца; днем и вечером они бывают редко.

Данный раздел подтверждает актуальность разработки цифровой модели рельефа реки Пур, которая позволяет вносить корректировку и учитывать воздействие климатических изменений на сток реки.

Водный режим

Питание реки Пур главным образом снеговое и дождевое. По водному режиму река относится к западносибирскому типу — с сильно растянутым весенним половодьем, повышенными уровнями и расходами воды в летне-осенний период и сравнительно малым стоком в зимний период года.

Наиболее высокие уровни воды наступают в конце мая — начале июня в верховьях реки (рис. 4) и в конце первой декады июня — в ее нижнем течении. В период половодья величина подъема уровня воды над проектным возрастает сверху вниз по течению от 2,5 до 4,7 м. Спад уровня воды растягивается до конца августа — начала сентября, когда и устанавливаются низкие уровни.

В южной части Тазовской губы и на нижнем участке Пура наблюдаются сгонно-нагонные явления. Нагоны возникают в основном в летне-осенний период при ветрах северных направлений. Подъем уровня воды под действием нагонных ветров распространяется вверх от устья до поселка Самбург и достигает 1,2 м в устье и 0,6 м в районе Самбурга.

Небольшое падение реки обуславливает незначительную скорость течения. В межень скорость течения составляет 1,1–1,8 км/ч на плесах и 2,2–2,9 км/ч на перекатах. В период весеннего половодья скорость течения на реке возрастает до 4,7 км/ч [3].

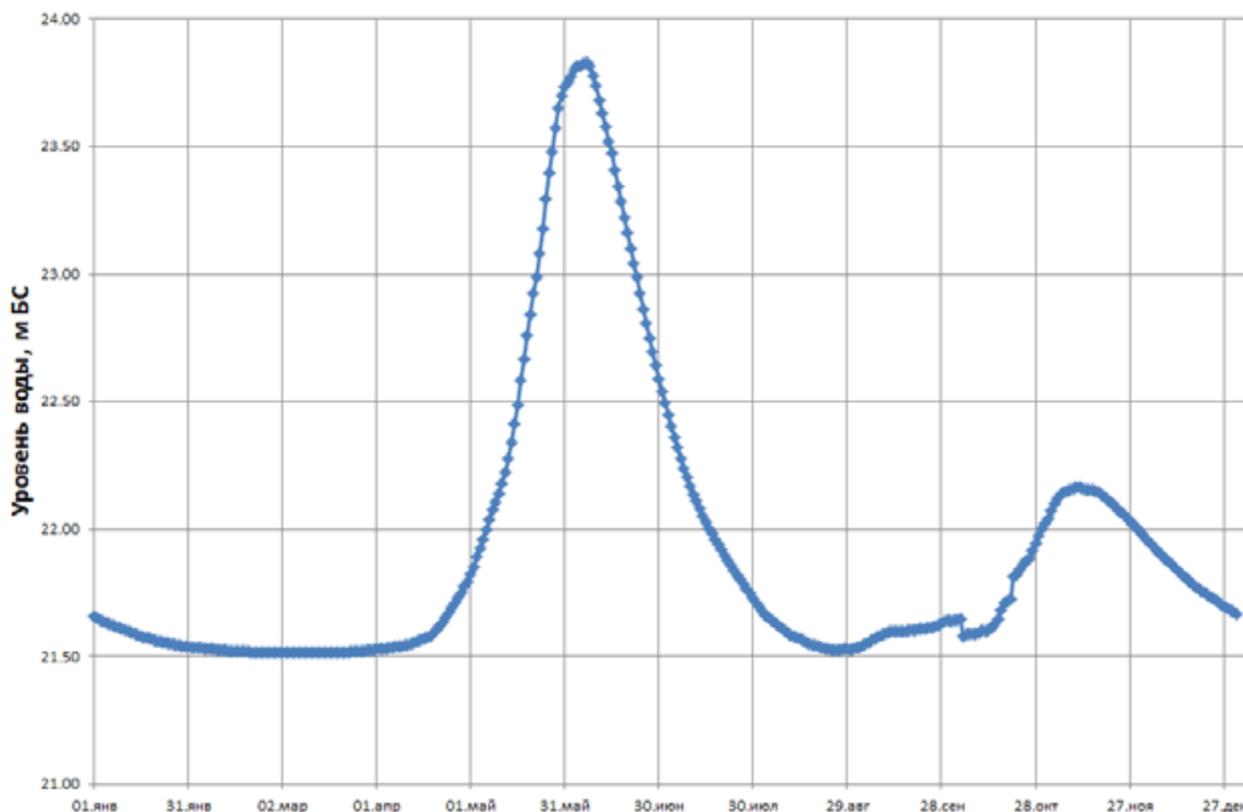


Рис. 4. Типовой гидрограф р. Пякупур — г. Тарко-Сале
(по осредненным среднесуточным уровням за период 1939–2019)

Прилегающая к гидрографическому посту Тарко-Сале местность представлена плоской заболоченной равниной, покрытой хвойным редколесьем. Долина реки выражена неясно. Склоны — пологие, сложены песчано-глинистыми грунтами, пойма двусторонняя, шириной 9–11 км, заболоченная, изрезана старицами, озерами, поросшая кустарником и хвойным лесом. Левобережная пойма сливается с поймой р. Хыльмиг-Яха, левого притока р. Пур, и затопливается при уровнях 970 см над нулем поста. Правобережная пойма, ниже г. Тарко-Сале, сливается с поймой р. Айваседа-Пур и затопливается при уровнях 635 см над нулем поста. По данным многолетних наблюдений выход воды на левобережную пойму происходит ежегодно (табл. 5). По правому берегу, вдоль города, в теплый период года намывается дамба, что спасает населенный пункт от наводнения [1].

При наступлении максимальных уровней обеспеченностями 1, 2, 5, 10 % река сильно выходит из своих берегов, затопляя прибрежную территорию. Подъем уровней воды может скрыть опасные отмели и сам судовый ход, в таких случаях необходимо обеспечивать путь знаками судоходной обстановки.

Ледовый режим

Льдообразование на Пуре обычно начинается во второй декаде октября с низовья и в течение нескольких дней распространяется до истоков реки. Разрушение ледяного покрова начинается во второй половине мая. Начало весеннего ледохода обычно приходится на конец мая. Весенний ледоход, средняя продолжительность которого 3–4 дня, проходит спокойно, без заторов, в период наивысших уровней воды. Река Пякупур и верховье реки Пур очищаются ото льда в среднем к

ТАБЛИЦА 4. Характеристики ряда максимальных уровней воды, р. Пякупур — г. Тарко-Сале

Средний уровень воды, \bar{H} , см	959
Среднее квадратическое отклонение (СКО), см	44,5
Коэффициент вариации, C_v	0,05
Коэффициент асимметрии, C_s	-0,10
C_s/C_v	-2,23

ТАБЛИЦА 5. Расчет ординат аналитической кривой обеспеченностей Пирсона III типа для максимальных уровней воды, р. Пякупур — г. Тарко-Сале

Обеспеченность, P , %	Нормированная ордината, tp	Модульный коэффициент, kp	Уровень воды, H , см
0,01	3,545	1,16	1117
0,1	2,95	1,14	1091
1	2,255	1,10	1060
5	1,61	1,07	1031
10	1,27	1,06	1016
20	0,845	1,04	997
30	0,535	1,02	983
50	0,015	1,00	960
70	-0,51	0,98	936
80	-0,835	0,96	922
90	-1,29	0,94	902
95	-1,67	0,92	885
99	-2,4	0,89	852
99,9	-3,235	0,85	815

28 мая; нижний участок реки Пур очищается ото льда обычно к 7 июня [7, 8]. Продолжительность физической навигации на Пуре по многолетним наблюдениям составляет 115–135 суток.

Обеспеченные уровни воды р. Пякупур — г. Тарко-Сале

По уровням воды, полученным из ежегодников [9–11] по гидрологическому посту Тарко-Сале, произведен расчет обеспеченных максимальных уровней и минимальных за летне-осенний период по данным с 1939 по 2019 г.

По ряду максимальных расходов рассчитаны числовые характеристики ряда, приведенные в

ТАБЛИЦА 6. Характеристики ряда минимальных за летне-осенний период уровней воды, р. Пякупур — г. Тарко-Сале

Средний уровень воды, \bar{H} , см	584
Среднее квадратическое отклонение (СКО), см	28,5
Коэффициент вариации, C_v	0,05
Коэффициент асимметрии, C_s	0,12
C_s/C_v	2,39

ТАБЛИЦА 7. Расчет ординат аналитической кривой обеспеченностей Крицкого — Менкеля для минимальных за летне-осенний период уровней воды, р. Пякупур — г. Тарко-Сале

Обеспеченность, P , %	Модульный коэффициент, kp	Уровень воды, H , см
0,01	1,23	719
0,1	1,18	690
1	1,13	658
5	1,09	635
10	1,07	623
20	1,04	608
30	1,03	599
50	1,00	584
70	0,97	569
80	0,96	560
90	0,94	549
95	0,92	539
99	0,89	522
99,9	0,87	506

табл. 4. Так как $C_s = -0,10$, аналитической кривой выбрана кривая Пирсона III типа.

По среднему значению исследуемого ряда, коэффициенту вариации и коэффициенту асимметрии получены ординаты аналитической кривой Пирсона III типа. Расчет сведен в табл. 5.

По полученным результатам были построены эмпирическая и аналитическая кривые, представленные на рис. 5.

По ряду минимальных уровней за период открытого русла рассчитаны характеристики, представленные в табл. 6, и ординаты аналитической кривой обеспеченности Крицкого — Менкеля (табл. 7).

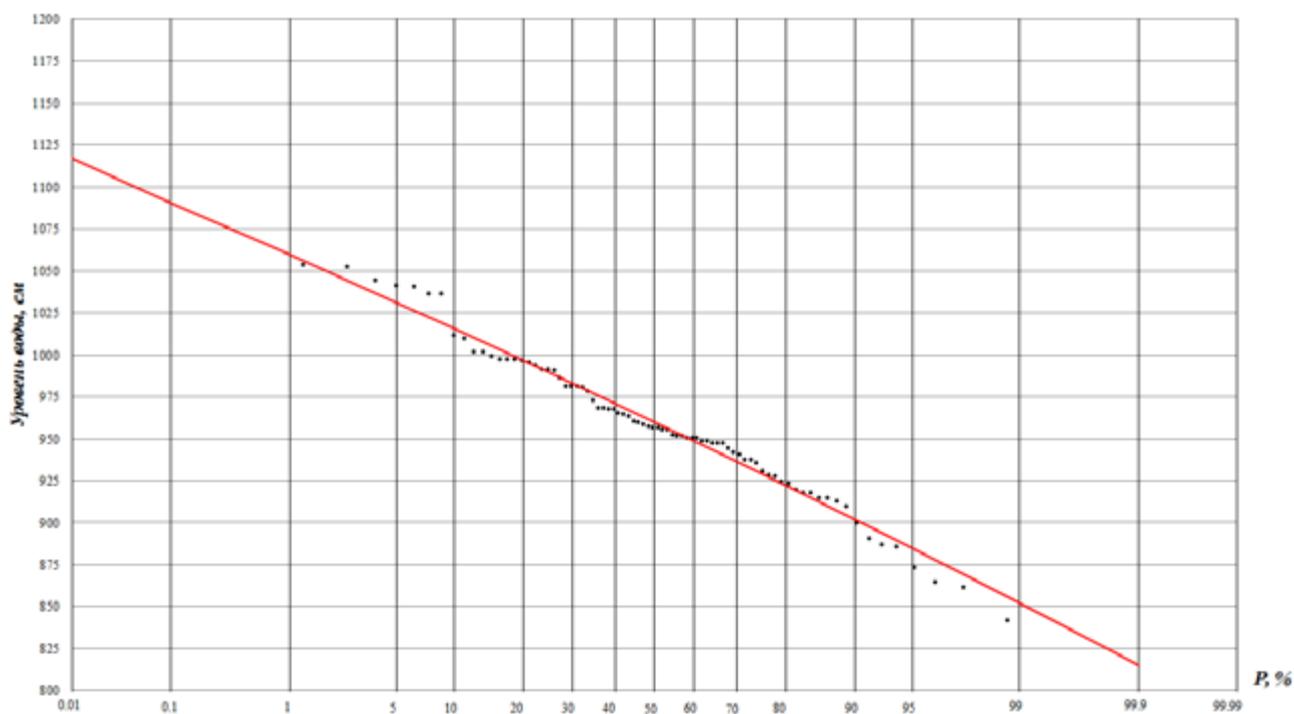


Рис. 5. Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей максимальных уровней воды, р. Пякупур — г. Тарко-Сале, 1939–2019

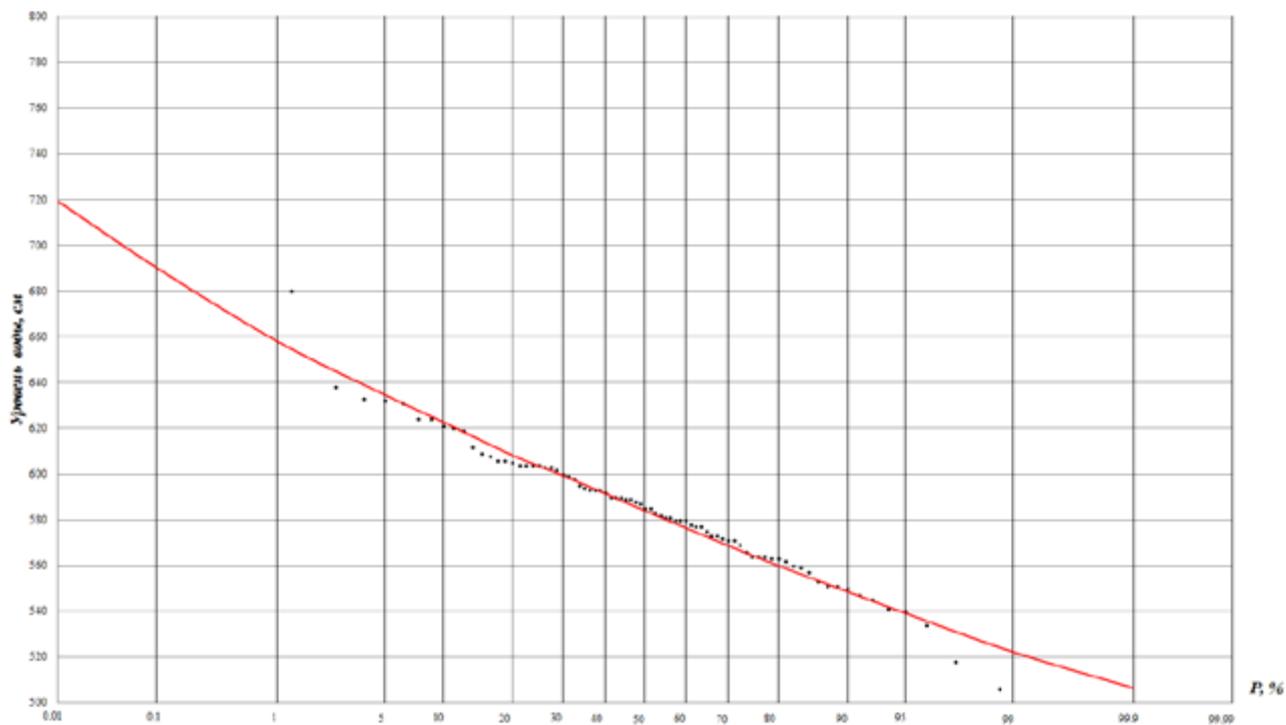


Рис. 6. Эмпирическая и аналитическая кривые обеспеченностей минимальных уровней воды летне-осенней межени, р. Пякупур — г. Тарко-Сале, 1939–2019

По табл. 7 построены аналитическая кривые обеспеченности минимальных за летне-осенний период уровней воды и нанесены эмпирические значения минимальных уровней воды за период свободного русла по посту р. Пякупур — г. Тарко-Сале (рис. 6).

Построение модели судоходного участка в верховьях реки Пур

Для построения модели участка реки Пур использована программа AutoCAD Civil3D. Основной модели послужили судоходные лоции реки Пур. Точки глубин на лоциях перенесены в программу методом оцифровки (рис. 7). Необходимо внимательно настраивать масштаб листов лоций для оцифровки, чтобы модель соответствовала размерам своего реального объекта. Далее производится перенесение точек глубин в программу для дальнейшего построения. Помимо глубин производится оцифровка берегов и островов.

По оцифрованным точкам глубин и урезу воды в программе Civil3D производится постро-

ение модели участка реки. Программа строит модель в автоматическом режиме, однако требует аккуратной настройки параметров построения, а именно: задание верных границ участка построения, настройка группы точек, по которой производятся интерполяция и построение, настройки горизонталей для дальнейшего их построения.

После настройки и построения модели стоит внимательно изучить результат, так как возможны ошибки в построенной модели, связанные с недостаточностью точек на участке. Проблема решается путем анализа участка и добавления новых точек глубин в модель.

Программа Civil3D позволяет наложить на модель цветовую шкалу глубин, что существенно облегчает анализ участка на предмет малых глубин или узких участков судовых ходов (рис. 8).

На полученной модели ярко выражены проблемы судоходства в верховьях реки Пур, а именно малые глубины на некоторых участках с извилистым судовым ходом.

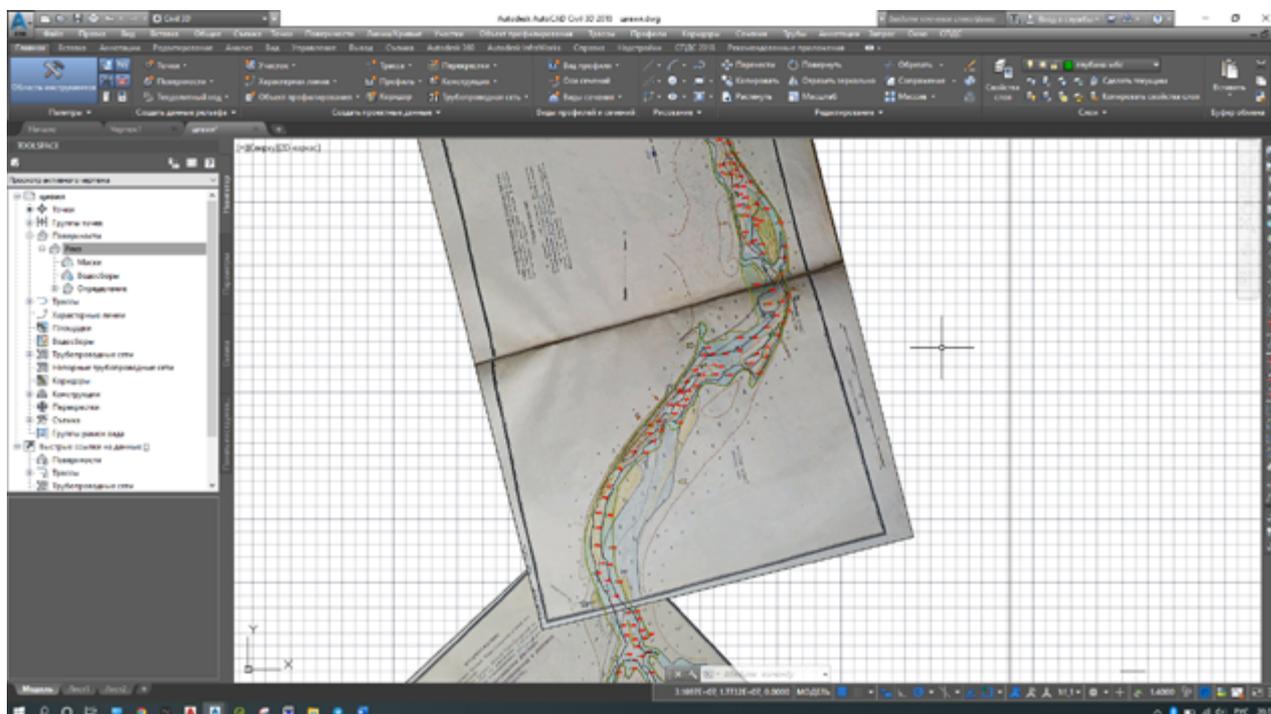


Рис. 7. Оцифровка судоходных лоций

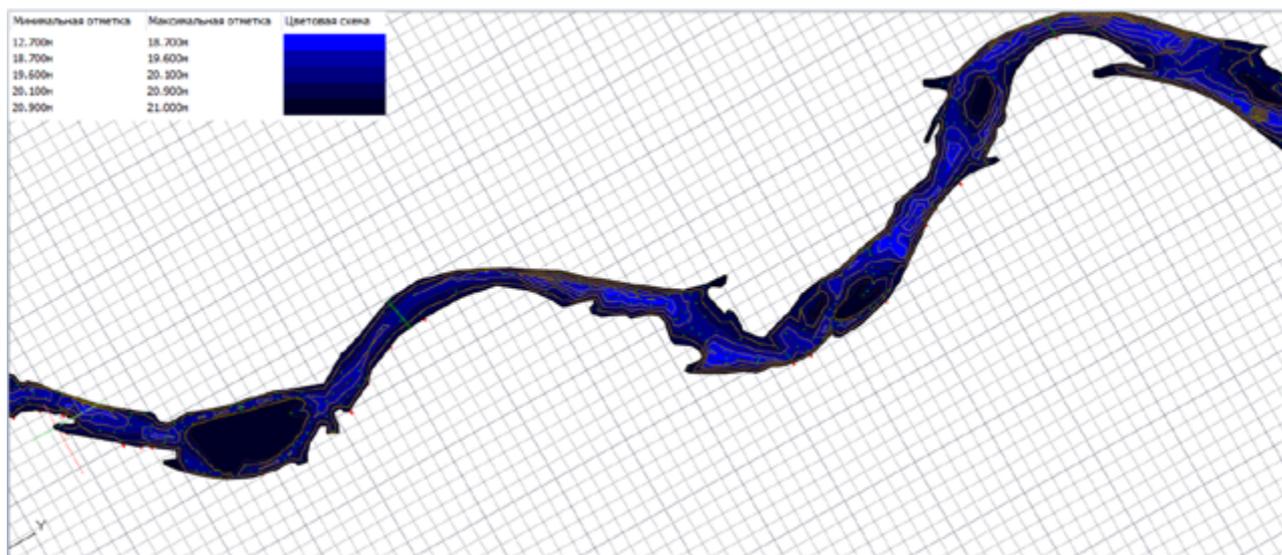


Рис. 8. Модель участка реки с наложенной цветовой шкалой глубин

На построенной модели были выявлены несколько таких участков. По данным участкам построены поперечные профили с нанесением на них рассчитанных обеспеченных минимальных уровней за летне-осенний период и гарантированной для судоходства глубины (рис. 9 и 10).

На рис. 10 видно, что минимальные уровни за летне-осенний период с обеспеченностями 95, 97 и 99 % находятся ниже гарантированной глубины. На рис. 9 уровень 95 % обеспеченности находится чуть выше гарантированной глубины, минимальные уровни воды 97 и 99 % обеспеченности находятся ниже.

При наступлении минимальных уровней, имеющих большую обеспеченность, судоходство в верховье реки Пур будет невозможно в связи с глубинами, недостаточными для судоходства на реке Пур. Следовательно, на таких участках следует проводить комплекс дноуглубительных работ, чтобы избежать прекращения судоходства.

Заключение

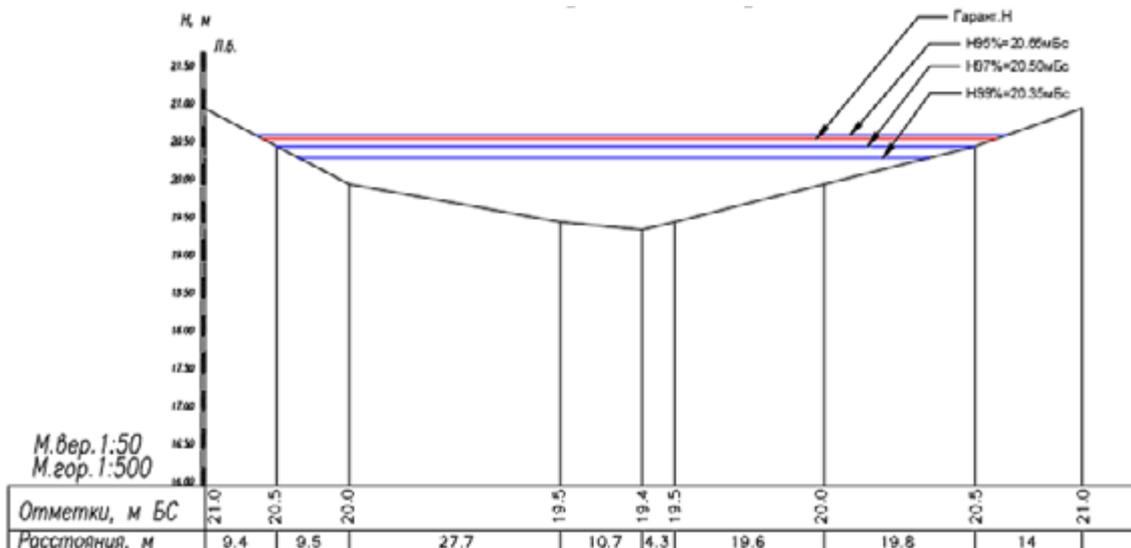
В ходе работы построена цифровая модель рельефа участка реки Пур в ее верховьях. Также рассчитаны максимальные и минимальные уровни воды различной обеспеченности. По

полученным данным выявлены участки реки, затруднительные для судоходства, и предложены мероприятия для решения проблем в зависимости от ситуации.

Главным выводом работы является то, что использование цифровых моделей в сфере судоходства может существенно облегчить выполнение задач. Главным преимуществом использования моделей является визуализация — с помощью модели можно легко и быстро определить проблемные участки. Получение информации с модели (например, поперечные профили) также осуществляется с минимальными трудозатратами. Кроме того, ЦМР позволяет внести корректировку при изменении рельефа, например, после проведения дноуглубительных работ.

Построенные модели можно также применять в комплексах других программ, позволяющих моделировать физические процессы. Использование моделирования для обеспечения судоходства на водных путях является актуальным в современном мире.

В заключение следует отметить, что навигационные условия в летнюю межень зависят от водности года, которая определяется рядом гидрометеорологических факторов (запасы воды

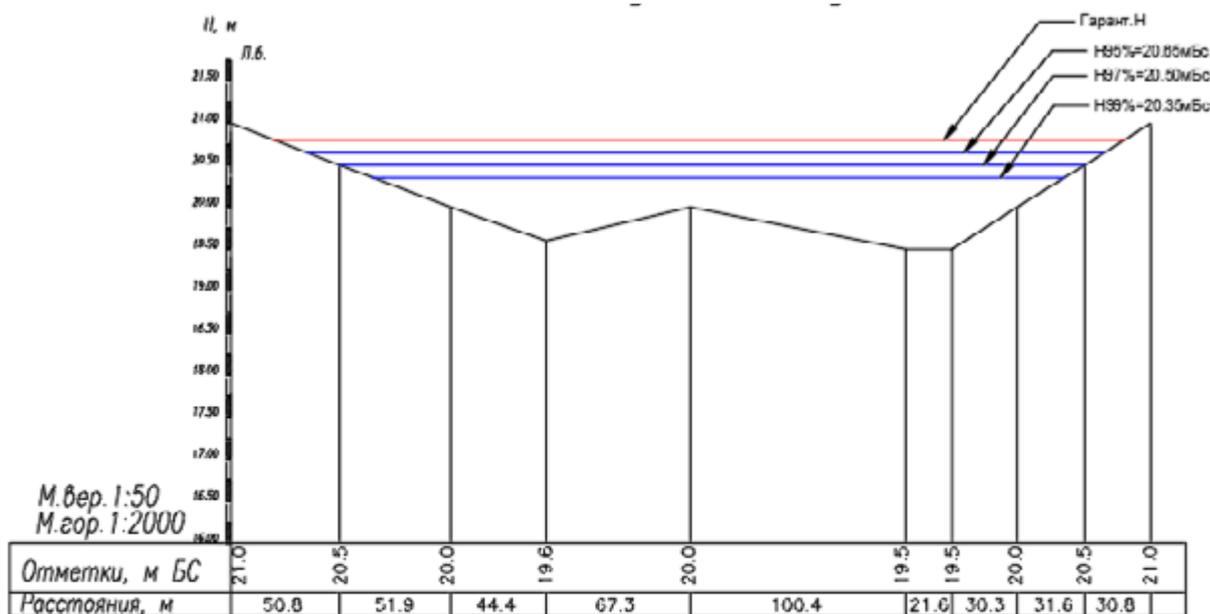


Примечание:

Система высот Балтийская

- Отметки уреза воды, м БС.
- Отметки дна, м
- Отметка гарантированной глубины, м

Рис. 9. Поперечный профиль р. Пур 398,7 км судоходного пути



Примечание:

Система высот Балтийская

- Отметки уреза воды, м БС.
- Отметки дна, м
- Отметка гарантированной глубины, м

Рис. 10. Поперечный профиль р. Пур 381,8 км судоходного пути

в снеге, количество и интенсивность дождевых осадков и т. д.). Особенно неблагоприятными для условий навигации являются в отдельные годы устойчивые понижения уровня в межень и, как следствие этого, срыв гарантированных глубин на ряде перекатов.

Для своевременного планирования распределения технических средств и проведения путевых работ на этих перекатах необходимо долгосрочное прогнозирование минимальных навигационных уровней. Кроме того, в период проведения навигации для наиболее эффективного использования гидрологических условий требуется разработка методов краткосрочных рейсовых прогнозов уровней, учитывающих дождевые паводки, а в устьевом участке — сгонно-нагонные явления.

Библиографический список

1. Генеральный план муниципального образования город Тарко-Сале Пуровского района. Материалы по обоснованию проекта. — URL: <https://www.puradm.ru/deyatelnost/gradostroitel'naya-deyatelnost/dokumenty-territorialnogo-planirovaniya/generalnyy-plan-munitsipalnogo-obrazovaniya-gorod-tarko-sale/Материалы%20по%20обоснованию%20в%20текстовой%20форме.pdf> (дата обращения: 06.07.2022).
2. Обь-Иртышский бассейн: Водные пути Западной Сибири. — URL: <http://www.morvesti.ru/analitika/1690/28097/> (дата обращения: 06.07.2022).
3. Соловьева З. С. Уровненный режим р. Пур / З. С. Соловьева // Труды ААНИИ. Т. 297. Проблемы гидрологии устьевых областей сибирских рек. — Л.: Гидрометеиздат, 1972. — С. 92–103.
4. Распоряжение Федерального агентства морского и речного транспорта от 27 декабря 2021 г. № АЛ-595-р «Об установлении категорий внутренних водных путей, определяющих для участков внутренних водных путей габариты судовых ходов и навигационно-гидрографическое обеспечение условий плавания судов, перечень судовых ходов, а также сроки работы средств навигационно-го оборудования и судоходных гидротехнических сооружений в навигацию 2022 года».
5. Разуваев В.Н., Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Клещенко Л.К., Кузнецова В.Н., Трофименко Л.Т., Шерстюков А.Б., Швець Н.В., Давлетшин С.Г., Зверева Г.Н. Научно-прикладной справочник «Климат России» / В. Н. Разуваев, О. Н. Булыгина, Н. Н. Коршунова. — URL: <http://aisori-m.meteo.ru/> (дата обращения: 06.07.2022).
6. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Дата введения: 29 мая 2019 г.
7. Саноцкая Н. А. Водный и ледовый режимы реки Пур в современных условиях / Н. А. Саноцкая // Морские исследования и образование: сборник трудов X Международной научно-практической конференции. — Тверь, 2021. — С. 311–316.
8. Саноцкая Н. А. Изменения водного и ледового режима р. Пур в створе г. Уренгой / Н. А. Саноцкая, В. С. Азарян; отв. редакторы С. И. Богданов, Д. А. Субетто, А. Н. Паранина // География: развитие науки и образования: сборник статей по материалам ежегодной Международной научно-практической конференции LXXIV Герценовские чтения. — Санкт-Петербург, 2021. — С. 281–284.
9. Гидрологический ежегодник. Т. 6. Бассейн Карского моря (западная часть). Вып. 4–9. 1935–1980.
10. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. Вып. 10. Бассейны Оби (без бассейна Иртыша), Надыма, Пура, Таза. 1981–2012.
11. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). — URL: <https://gmvo.skniivh.ru>. 2013–2020.

Дата поступления: 05.07.2022

Решение о публикации: 07.09.2022

Контактная информация:

САНОЦКАЯ Надежда Александровна —
канд. физ.-мат. наук; na_san@mail.ru
БЕЛИКОВ Илья Александрович — студент;
iliy.ily148897@gmail.com

Building Digital Model of Riverbed Pur in Upper Reaches to Ensure Technosphere Safety on Inland Waterways

N. A. Sanotskaya^{1,2}, I. A. Belikov¹

¹Russian State Hydrometeorological University, 79, Voronezhskaya st., Saint Petersburg, 192007, Russian Federation

²Arctic and Antarctic Research Institute, 38, Bering st., Saint Petersburg, 199397, Russian Federation

For citation: Sanotskaya N. A., Belikov I. A. Building Digital Model of Riverbed Pur in Upper Reaches to Ensure Technosphere Safety on Inland Waterways // *Proceedings of Petersburg Transport University*, 2022, vol. 19, iss. 4, pp. 712–726. (In Russian). DOI: 10.20295/1815-588X-2022-4-712-726

Summary

Purpose: To consider the issues of building and using digital models of riverbeds for to ensure technosphere safety on inland waterways on the example of river Pur. **Methods:** Collection, processing of the data of observations of water bodies and their transfer into electronic format with further analysis. **Results:** To ensure technosphere safety, digital model of riverbed Pur in the upper reaches is presented and meteorological and hydrological characteristics in the area of study are renewed. Air temperature difference is shown according to the current regulatory documents (SP 131.13330.2020 “Construction climatology”) and average for 30 years (basic climatic period is from 1991 to 2020) indicators. **Practical importance:** The need to clarify meteorological and hydrological characteristics in changing climate conditions is shown. To maintain dimensional parameters of riverbeds it is recommended to create the digital models. The work results can be recommended to practical use. The work main conclusion is that digital model use in shipping sphere can significantly facilitate tasks implementation. The main advantage of these models use is a visualization — one can easily and quickly identify problem areas with the help of the model. Obtaining information from the model, for example, of transverse profile, is being made in a couple of minutes also. When terrain changes, for example, after dredging works, it wouldn't be difficult to introduce all changes to the model.

Keywords: Technosphere safety, inland waterways, digital model of riverbed, water regime, river Pur.

References

1. *General'nyy plan munitsipal'nogo obrazovaniya gorod Tarko-Sale Purovskogo rayona. Materialy po obosnovaniyu proekta* [The master plan of the municipal formation of the city of Tarko-Sale, Purovsky district. Project justification materials]. Available at: <https://www.puradm.ru/deyatelnost/gradostroitel'naya-deyatelnost/dokumenty-territorialnogo-planirovaniya/generalnyy-plan-munitsipalnogo-obrazovaniya-gorod-tarko-sale/Materialy%20po%20obosnovaniyu%20v%20tekstovoy%20forme.pdf> (accessed: July 06, 2022). (In Russian)
2. *Ob'-Irtyshtskiy basseyn: Vodnye puti Zapadnoy Sibiri* [Ob-Irtysht basin: Waterways of Western Siberia]. Available

at: <http://www.morvesti.ru/analitika/1690/28097/> (accessed: July 06, 2022). (In Russian)

3. Solov'eva Z. S. Urovennyy rezhim r. Pur [Level regime of the river. Pur]. *Trudy AANII. Problemy gidrologii ust'evykh oblastey sibirskikh rek* [Proceedings of the AARI. Problems of Hydrology of the Mouth Areas of Siberian Rivers]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1972, pp. 92–103. (In Russian)
4. *Rasporyazhenie Federal'nogo agentstva morskogo i rechnogo transporta ot 27 dekabrya 2021 g. № AL-595-r "Ob ustanovlenii kategoriy vnutrennikh vodnykh putey, opredelyayushchikh dlya uchastkov vnutrennikh vodnykh putey*

gabarity sudovykh khodov i navigatsionno-gidrograficheskoe obespechenie usloviy plavaniya sudov, perechen' sudovykh khodov, a takzhe sroki raboty sredstv navigatsionnogo oborudovaniya i sudokhodnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy v navigatsiyu 2022 goda” [Decree of the Federal Agency for Marine and River Transport dated December 27, 2021 No. AL-595-r “On the establishment of categories of inland waterways that determine the dimensions of ship passages for sections of inland waterways and navigational and hydrographic support for the navigation conditions of vessels, a list of ship passages, as well as the terms of operation of aids to navigation and navigable hydraulic structures in navigation in 2022”]. (In Russian)

5. Razuvaev V. N., Bulygina O. N., Korshunova N. N., Kleshchenko L. K., Kuznetsova V. N., Trofimenko L. T., Sherstyukov A. B., Shvets' N. V., Davletshin S. G., Zvereva G. N. *Nauchno-prikladnyy spravochnik «Klimat Rossii»* [Scientific and applied reference book “Climate of Russia”]. Available at: <http://aisori-m.meteo.ru/> (accessed: July 06, 2022). (In Russian)

6. SP 131.13330.2020. *Stroitel'naya klimatologiya* [SP 131.13330.2020. Building climatology. Introduction date 2019-05-29]. (In Russian)

7. Sanotskaya N. A. *Vodnyy i ledovyy rezhimy reki Pur v sovremennykh usloviyakh* [Water and ice regimes of the Pur River in modern conditions]. *Morskie issledovaniya i obrazovanie. Sbornik trudov X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Marine research and education. Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference]. Tver', 2021, pp. 311–316. (In Russian)

8. Sanotskaya N. A., Azaryan V. S. *Izmeneniya vodnogo i ledovogo rezhima r. Pur v stvore g. Urengoy* [Changes in

the water and ice regime of the river. Pur in the alignment of the city of Urengoy]. *Geografiya: razvitie nauki i obrazovaniya. Sbornik statey po materialam ezhegodnoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii LXXIV Gertsenovskie chteniya* [Geography: the development of science and education. Collection of articles based on the materials of the annual international scientific-practical conference LXXIV Herzen readings]. St. Petersburg, 2021, pp. 281–284. (In Russian)

9. *Gidrologicheskiy ezhegodnik. Basseyn Karskogo morya (zapadnaya chast')* [Hydrological Yearbook. Volume 6. Basin of the Kara Sea (western part)]. 1935-1980, I. 4–9, vol. 6. (In Russian)

10. *Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushy* [Annual data on the regime and resources of land surface waters]. 1981–2012, vol. 1, I. 10. Basseyn Obi (bez basseyna Irtysha), Nadyma, Pura, Taza. (In Russian)

11. *Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnykh ob'ektov (AIS GMVO)* [Automated information system for state monitoring of water bodies (AIS GMVO)]. Available at: <https://gmvo.skniivh.ru>. 2013–2020. (In Russian)

Received: July 05, 2022

Accepted: September 07, 2022

Author's information:

Nadezhda A. SANOTSKAYA — PhD in Physics and Mathematics; na_san@mail.ru

Ilya A. BELIKOV — Student;

iliy.iliy148897@gmail.com