HYDROLOGICAL MODELLING - A CONSERVATION TOOL FOR THE WORLD'S BIGGEST AQUATIC WARBLER BREEDING SITE, ZVANIEC MIRE

Aliaksandr Volchak (volchak@tut.by), Aleh Meshyk (omeshik@mail.ru),
Mikalai Sheshka (optimum@tut.by), Uladzimir Malashevich (malashevich@ptushki.org)*
Brest State Technical University, Belarus
* APB-BirdLife Belarus, AWCT

HYDROLOGICAL REGIME, WATER SUPPLY, WATER LEVEL, MODELLING

The main purpose of the study is to secure optimal hydrological conditions for world's biggest Aquatic Warbler breeding site - Zvaniec mire. Following the Management Plan optimal hydrological regime could be described as follows. There should be uniform flooding of the mire until the top level of tussocks in March - April. By the first decade of May water level should not exceed 145.4 m (10 cm below the top of tussocks) and then should gradually decrease till the ground level. In July - October water level should be at about 10-30 cm below the ground.

In practice securing optimal hydrological conditions of the mire might be achieved through managing hydraulic facilities on the channels surrounding the mire. In this respect operating instructions for these facilities will be developed within the research. As a first step hydrological and hydrogeological regimes of Zvaniec mire were analyzed. The water balance was calculated in order to determine the ratio between inflows of different kind, where subterranean water supply brings the biggest contribution. During autumn and spring time atmospheric precipitations also play considerable role in water balance.

The digital terrain model and a scheme for the movement of water masses were elaborated with the help of ArcGIS 10 soft. The structure of physical and mathematical model of the movement of water masses in the investigated area was defined, basing on the analysis of water regime. In this case it is assumed that the movement of surface water in the low-water period occurs mostly in the beds of existing streams. During the period of high water or during floods the water mass movement occurs both in the stream beds and along them directly on the floodplain of the watershed.

The hydraulic characteristics of the floodplain itself and calculated flow when water runs through its floodplain are treated separately. A slight misalignment of the directions of water flow in the channel and in the floodplain considered with an indicator of skewness. This indicator was determined with the help of the map of surface runoff developed by us. Water flow of the riverbed and floodplain parts is calculated by the Chezy-Bazin equation. Application of the equation requires the full-scale measurements of the transverse profile of the channel and floodplain parts of the watercourse. The distance between line gauges depends on the tasks. If case of modeling of location for raised water curve or depletion curve, intervals should be within expected length of the curve. Therefore, the distance between control points is taken as 1 km. It allows taking into account the impact of the changed level regime in the lower gauges. Such distance also enables considering the peculiarities of increasing the catchment area along the watercourse. Here is a discrete function reflecting dependence of the catchment area of the distance to the source. Using this function water catchment area may be calculated for any control point. Having analyzed conditions of formation of the spring flood, hydrological flow hydrographs were composed for the years with different dryness basing on the standard graphs for this hydrological region. Discreteness of hydrographs is 1 day. Average daily flow modules were calculated using hydrographs. Basing on known area of catchment, water consumption was calculated at each control point. Finally, the transition from water consumption to water levels in control points of the channels and the floodplain is achieved. For each hydrological period of the year, required water levels inside the mire will correspond to a certain outflow through water regulating facilities.

УТВЕРЖДАЮ Директор Общественной организации «Ахова птушак Бацькаушчыны»

> В.А.Фенчук 2013

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по проекту:

«Международное сотрудничество по сохранению вертлявой камышевки – благотворительная поддержка RSPB»

«Разработать схему управления водным режимом территории заказника «Званец» и провести численный эксперимент»

Исполнитель А.А.Волчек

Реферат

Отчет 40 с., 14 рис., 9 табл., 6 источников.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ (ВОДНЫЙ) РЕЖИМ, ВОДОТОК, УРОВНИ ВОДЫ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СООРУЖЕНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ

Объектами исследования являются водотоки и гидротехнические сооружения, расположенные на территории ландшафтного заказника «Званец»

Цель работы — исследование гидрологического (водного) режима территории заказника. Разработка мероприятий по обеспечению оптимального водного режима для поддержания естественного восстановления популяций флоры и фауны.

В ходе исследований выполнено имитационное моделирование параметров водотоков и гидротехнических сооружений территории заказника в условиях различной естественной увлажненности болота. Предложены мероприятия по оптимизации водного режима.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	4
1.1 Провести имитационное моделирование эффективности	
принятых параметров работы сооружений с учетом влияния	
минеральных островов, торфа и кочек на движение воды через	
болото	5
1.2 Определить параметры работы сооружений, обеспечивающих	
заданный (близкий) водный режим	26
1.3 Разработать режимы управления сооружениями	
гидромелиоративных систем для различных условий	
естественного увлажнения	31
Заключение	38
Список использованных источников	39
Приложение А	40

ВВЕДЕНИЕ

Конечной целью работы является оценка текущего состояния гидрологоклиматических и гидрогеологических характеристик территории ландшафтного заказника «Званец» с учетом существующего состояния мелиоративной сети и гидротехнических сооружений, разработка схемы управления водным режимом, позволяющей создать условия для естественного восстановления популяций флоры и фауны.

Управление водным режимом территории заказника осуществляется имеющимися на мелиоративной сети гидротехническими сооружениями, позволяющими с учетом инерционности эффекта от их работы в различные по водности годы обеспечить регулирование уровенного режима грунтовых и поверхностных вод в пределах, близких к естественным и оптимальным для развития флоры и фауны.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- выявление особенностей формирования водного режима исследуемой территории на основе ГИС;
- описание уровенного режима грунтовых и поверхностных вод исследуемой территории, позволяющего способствовать восстановлению структуры и динамики естественной флоры и фауны;
- оценка существующих и разработка новых (адаптированных) способов управления водным режимом территории;
- имитационное моделирование водного режима территории заказника с учетом разработанных мероприятий под управлением комплексом инженерных сооружений.

1.1 Провести имитационное моделирование эффективности принятых параметров работы сооружений с учетом влияния минеральных островов, торфа и кочек на движение воды через болото

Расчетные гидрологические характеристики болота «Званец» Общие указания

При отсутствии данных гидрологических наблюдений в расчетном створе применяют региональные методы расчета гидрологических характеристик, основанные на результатах обобщения данных гидрометеорологических наблюдений в районе проектирования.

При отсутствии гидрологических наблюдений в расчетном створе параметры распределения и расчетные значения определяют с помощью следующих основных методов:

- водного баланса;
- гидрологической аналогии;
- осреднения в однородном районе;
- построения карт изолиний;
- построения региональных зависимостей стоковых характеристик от основных физико-географических факторов водосборов;
- построения зависимостей между погодичными стоковыми характеристиками и стокоформирующими факторами.

Максимальный сток воды рек

Методы определения расчетных характеристик максимального стока весеннего половодья и дождевых паводков подразделяют на следующие:

- а) при наличии одной или нескольких рек-аналогов;
- б) при отсутствии рек-аналогов.

Значения параметров и коэффициентов в расчетных формулах следует уточнять на основе использования гидрометеорологической информации за весь период наблюдений, включая последние годы.

Выбор рек-аналогов следует проводить с соблюдением условий

$$\frac{L}{A^{0.56}} \approx \frac{L_a}{A_a^{0.56}},$$
 (1.1)

$$i \cdot A^{0,50} \approx i_a \cdot A_a^{0,50},$$
 (1.2)

где L и $L_{\rm a}$ – длина исследуемой реки и реки-аналога соответственно, км; i и $i_{\rm a}$ – уклон водной поверхности исследуемой реки и реки-аналога, промиле; A и $A_{\rm a}$ – площади водосборов исследуемой реки и реки-аналога соответственно, км².

Максимальный сток воды рек весеннего половодья

Методы расчета максимальных расходов воды рек весеннего половодья, изложенные в настоящем разделе, следует применять при расчете для водосборов с площадями от элементарно малых (менее 1 км^2) до 20000 км^2 [1, 2].

При наличии рек-аналогов расчетный максимальный расход воды весеннего половодья Q_P , м³/с, заданной ежегодной вероятностью превышения определяется по редукционной формуле

$$Q_P = \frac{K_0 \cdot h_P \cdot \mu \cdot \delta \cdot \delta_1 \cdot \delta_2}{(A+1)^{0,20}} \cdot A, \qquad (1.3)$$

где K_0 — параметр, характеризующий дружность весеннего половодья, который рассчитывают, как среднее из значений, определенных по данным нескольких реканалогов обратным путем из формулы (1.3); h_P — расчетный слой суммарного весеннего стока (без срезки грунтового питания) стока, мм, ежегодной вероятностью превышения $P_{\%}$; μ — коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров слоев стока и максимальных расходов воды, приведен в таблице 1.1; δ — коэффициент, учитывающий влияние водохранилищ, прудов и проточных озер; δ_1 , δ_2 — коэффициенты, учитывающие снижение максимального расхода воды, соответственно, в залесенных и заболоченных водосборах; A — площадь водосбора до расчетного створа реки, км².

Таблица 1.1 – Значения коэффициента µ, учитывающего неравенство параметров слоя стока и максимальных расходов воды

Водосбор	Значения коэффициента μ при обеспеченности P , $\%$, равной											
_	1	2	3	5	10	25	50	75				
Остальные реки Беларуси	1,0	0,96	0,93	0,90	0,84	0,75	0,65	0,55				

При обосновании в формулу (1.3) допускается введение дополнительных параметров, учитывающих влияние естественных и искусственных факторов на формирование максимального стока воды рек весеннего половодья.

Допускается определять параметр K_0 , по региональным зависимостям, установленным для мелиорированных водосборов в связи с различием формирования максимального стока на естественных водосборах и водосборах мелиоративной сети и невозможностью подбора аналогов для определения параметра K_0 , как среднее из значений, определенных по данным нескольких рек-аналогов обратным путем.

Расчетный слой стока h_P , мм, определяется следующими методами:

по данным рек-аналогов,

— в зависимости от коэффициента вариации $C_{
m v}$ и соотношения C_S / C_V , а также среднего многолетнего слоя стока весеннего половодья h_0

Средний многолетний слой весеннего стока h_0 , мм, и коэффициент вариации слоя стока C_v определяются по данным рек-аналогов, а при невозможности их подбора — интерполяцией по картам, построенным для исследуемого района с учетом последних лет наблюдений, а также по картам изолиний, приведенным на рисунках 1.1 и 1.2 соответственно. При больших площадях значения h_0 и C_v принимаются по аналогии со створами в данном бассейне, имеющими многолетние наблюдения. Кроме того, на рисунке 1.3 представлена карта стока весеннего половодья 1 %-ой обеспеченности.

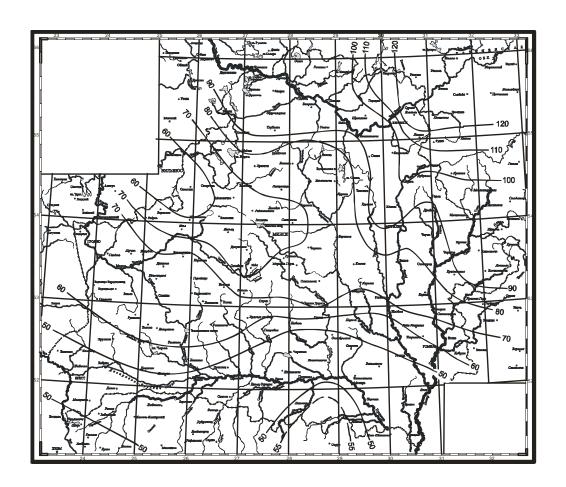


Рисунок 1.1 – Карта среднемноголетнего слоя весеннего половодья, мм.

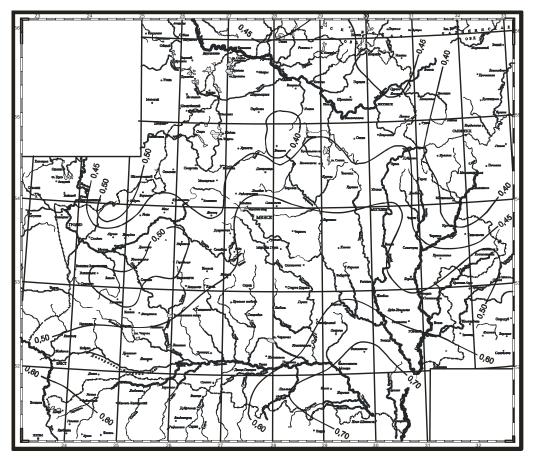


Рисунок 1.2 – Карта коэффициента вариации слоя стока весеннего половодья

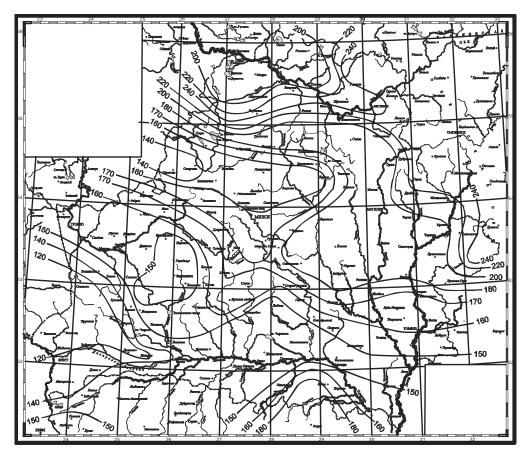


Рисунок 1.3 – Карта стока весеннего половодья 1 %-ой обеспеченности, мм.

Для рек с площадями водосбора менее 200 км 2 в значения C_v , полученные по карте изолиний, следует вводить поправочный коэффициент k_{C_v} , учитывающий величину площади водосбора и определяемый по формуле

$$k_{C_{v}} = 1.3 - 0.0014 \cdot A,$$
 (1.4)

где A — площадь водосбора до расчетного створа реки, км 2 .

Расчетное значение отношения коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации C_S / C_V устанавливается в соответствии с таблицей 1.2.

Таблица 1.2 – Соотношения C_s/C_v для водосборов Беларуси

Территория	Значение соотношения C_s/C_v
Бассейн Немана и левобережные притоки р. Припять	3

Коэффициент δ, учитывающий снижение максимального стока рек, зарегулированных проточными озерами, определяется по формуле

$$\delta = \frac{1}{1 + c \cdot A_{\alpha}},\tag{1.5}$$

где c — коэффициент, принимаемый в зависимости от среднего многолетнего слоя весеннего стока h_0 . При $h_0{\ge}100$ мм, $c{=}0,2$; при $h_0{=}50$ мм, $c{=}0,3$; при h_0 , изменяющемся от 100 до 50 мм, c находят интерполяцией; A_{o3} — средневзвешенная озерность водосбора, %, определяемая по формуле

$$A_{03} = \frac{\sum_{i=1}^{n} S_i \cdot A_i}{A^2} \cdot 100, \qquad (1.6)$$

где S_i – площади зеркал озер, км²; A_i – площади водосборов озер, км²; A – площадь водосбора до расчетного створа реки, км².

Если река и ее притоки вытекают из озер, водосборы которых занимают значительную часть площади водосбора реки $A_{os}^{'}>50$ %, то средневзвешенную озерность A_{os} вычисляется по формуле

$$A_{o3} = \frac{\left(A'_{o3} - 2\right)}{0.92},\tag{1.7}$$

где $A'_{_{O3}}$ — относительная озерность, %, определяемая по формуле

$$A'_{o3} = \frac{\sum_{i=1}^{n} S_i \cdot 100}{A}.$$
 (1.8)

Если озера расположены на водосборе вне главного русла и основных притоков, значение δ =0,8 независимо от степени озерности.

Влияние прудов, регулирующих меженный сток, при расчете максимальных расходов воды вероятностью превышения P<5 % не учитывается, а при P≥5 % допускается уменьшение расчетного значения расхода воды до 10 %.

Коэффициент δ_1 , учитывающий снижение максимальных расходов воды в залесенных бассейнах, определяется по формуле

$$\delta_{1} = \frac{\alpha_{1}}{\left(A_{x} + 1\right)^{0.22}},\tag{1.9}$$

где α_1 — параметр, учитывающий расположение леса на водосборе; приведен в таблице 1.3; A_{π} — залесенность водосбора, %.

При относительной залесенности $A_{\scriptscriptstyle \Pi}$ менее 3 % или при проточной озерности $A_{\scriptscriptstyle 03}$ более 20 % или при $A_{\scriptscriptstyle \Pi}\!\!>\!\!30$ % коэффциент $\alpha_1\!\!=\!\!1,\!0.$

Таблица 1.3 - 3начения параметра α_1

	Па	раметр α_1 при A_{π} ,	%
Расположение леса на водосборе	от 3 % до 9 %	от 10 % до 19	от 20 % до 30
		%	%
Равномерное		1,0	
В верхней части водосбора	0,85	0,80	0,75
В нижней и прирусловой части водо-	1,20	1,25	1,30
сбора		_,	

Коэффициент δ_2 , учитывающий снижение максимального расхода воды заболоченных водосборов, определяется по формуле

$$\delta_2 = 1 - \beta \cdot \lg(0.1 \cdot A_0 + 1),$$
 (1.10)

где β — коэффициент, учитывающий тип болот и преобладающий механический состав почв (грунтов) вокруг болота и заболоченных земель; приведен в таблице 1.4; A_6 — заболоченность водосбора, %.

Таблица 1.4 – Значения параметра β

Типы болот и почв (грунтов) на их водосборах	β
Низинные болота и заболоченные леса и луга на водосборах, сложенных супес-	
чаными и легкосуглинистыми почвами (грунтами)	0,8
Болота разных типов на водосборе	0,7
Верховые болота на водосборах, сложенных супесчаными и легкосуглинисты-	
ми почвами (грунтами)	0,5
Верховые болота на водосборах, сложенных среднесуглинистыми и глинисты-	
ми почвами (грунтами)	0,3

Внутриболотные озера, рассредоточенные по водосбору и расположенные вне главного русла и основных притоков, следует включать в значение относительной площади болот.

При заболоченности менее 3 % или проточной средневзвешенной озерности более 6 % коэффициент δ_2 =1.

Расчет максимальных расходов воды весеннего половодья заказника «Званец» осуществлялся для условного водосбора площадью A=10 км² с помощью компьютерной программы «Гидролог-2», разработанной на кафедре сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета. Результаты расчета представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 — Максимальные расходы весеннего половодья с условного водосбора $A=10~{\rm km}^2$ на территории заказника «Званец» различной обеспеченности, ${\rm m}^3/{\rm c}$

Способ определения	P=1%	P=2%	P=3%	P=5%	P=10%	P=25%
Аналог отсут. (h1%)	10,7	9,25	8,35	7,46	6,14	4,16
По формуле (1.3)	13,9	12,1	10,9	9,74	7,69	5,09

Расчетные гидрографы стока воды рек весеннего половодья

Расчетные гидрографы стока воды рек весеннего половодья необходимо рассчитывать при проектировании водохранилищ, прудов, отводе вод от сооружений в период их строительства, расчете затопления пойм, пропуске высоких вод через дорожные и другие искусственные сооружения.

Форма расчетных гидрографов принимается по моделям наблюденных высоких весенних половодий с наиболее неблагоприятной их формой, для которых основные элементы гидрографов и их соотношения должны быть близки к расчетным.

Для расчета отверстий дорожных и других искусственных сооружений допускается принимать схематизацию гидрографов стока воды рек весеннего половодья по геометрическим формам.

Гидрографы речного стока следует рассчитывать по равнообеспеченным значениям максимального расхода воды, объема стока воды основной волны и объема всего весеннего половодья расчетной ежегодной вероятности превышения.

Расчетные гидрографы стока воды рек для весеннего половодья определяются по среднесуточным расходам воды; гидрографы внутрисуточного хода стока воды рассчитываются, если величина максимального мгновенного расхода воды в 1,5 раза больше соответствующего ему среднесуточного расхода воды;

Построение гидрографов при отсутствии данных гидрометрических наблюдений

Максимальный средний суточный расход, м³/с, определяется по формуле

$$Q_P = \frac{Q_p'}{k_\tau} \,. \tag{1.11}$$

Коэффициент перехода k_{τ} от максимального мгновенного расхода воды весеннего половодья $Q'_{P\%}$ к среднесуточному $Q_{P\%}$ устанавливается по рекаманалогам. При их отсутствии допускается принимать коэффициент k_t по данным, приведенным в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Переходный коэффициент k_{τ}

Бассейны рек		Коэфф	ициен	т k_t прі	и плош	адях в	одосбо	ра, км	2
вассеины рек	0,1	0,5	1	5	10	50	100	500	1500
Реки бассейна Западной Двины	1,90	1,70	1,60	1,40	1,30	1,20	1,15	1,	00
Реки других бассейнов	3,50	2,80	2,60	2,10	1,90	1,60	1,40	1,15	1,00

Относительные ординаты одновершинного гидрографа стока воды весеннего половодья (дождевого паводка) приведены в таблице 1.7 по значению коэффициента несимметричности k_{τ} , определяемого по формуле (1.11) по данным рек-аналогов или по значению коэффициента формы гидрографа λ^* , определяемого по формуле

Таблица 1.7 — Относительные ординаты расчетного гидрографа стока воды $y=Q_i/Q_p$ для $x=t_i/t_n$ при различных значениях

 $k_{ au}$

	2,6						0,004	0,062	0,34	0,79		0,82	0,49	0,22	0,084	0,027	0,008	0,002	0													0,44
	2,4					0	0,000	0,094	0,40	0,82		0,85	0,54	0,28	0,12	0,046	0,016	0,005	0,001													0,43
	2,2						0,017	0,14	0,46	0,84		0,87	09,0	0,34	0,17	0,075	0,030	0,011	0,004	0,001	0											0,43
	2,0					0,002	0,036	0,19	0,52	0,87		0,	0,65	0,41	0,23	0,12	0,054	0,024	0,010	0,004	0,002											0,42
	1,9					0,003	0,049	0,22	0,55	0,88		0,00	0,68	0,44	0,26	0,14	0,071	0,034	0,015	0,007	0,003											0,42
	1,8				0	0,005	990,0	0,26	0,59	0,89		0,91	0,70	0,48	0,30	00,17	0,092	0,047	0,023	0,011	0,005											0,42
, равных	1,7					0,009	0,088	0.30	0,62	06,0		0,92	0,73	0,52	0,34	0,21	0,12	990,0	0,035	0,018	600'0											0,41
	1,6					0,015	0,12	0,34	99'0	0,91		0,93	92,0	95,0	0,38	0,25	0,15	0,089	0,050	0,028	0,015											0,40
(0,0116)	1,5				0,001	0,025	0,14	62,0	69'0	0,92		0,0	0,78	09'0	0,43	0,29	0,19	0,12	0,072	0,043	0,025	800'0	0,002	0,001	0							0,40
,	1,4				0,003	0,039	0,18	0,43	0,72	0,93		0,94	0,80	0,64	0,48	0,34	0,23	0,15	0,10	0,063	0,039	0,014	0,005	0,002	101	0						0,39
ЧНЫХ	1,3			0	0,006	0,059	0,22	0,48	0,75	0,94	1,00	0,95	0,83	0,68	0,52	0,39	0,28	0,20	0,13	0,089	0,059	0,025	0,010	0,004	0,001)						0,38
при различных	1,2				0,013	0,088	0,27	0,54	0,78	0,95		0,96	0,85	0,71	0,57	0,44	0,34	0,25	0,18	0,13	0,088	0,042	0,019	800'0	0,004	0,002	0					0,38
1 <i>q</i> ,	1,1			0,001	0,024	0,13	0,33	0,59	0,81	0,96		0,0	0,87	0,75	0,62	0,50	0,39	0,30	0,23	0,17	0,13	0,066	0,034	0,017	0,008	0,004)					0,37
KI.	1,0		(0,003	0,043	0,18	0,39	0,64	0,84	0,			68'0	82'0	0,67	0,56	0,46	0,37	0,29	0,23	0,18	0,10	0,058	0,032	0,018	0,010	0,002	0				0,36
Значени	6,0			0,009	0,076	0,24	0,47	0,69	0,87	0,97		0,97	0,91	0,82	0,72	0,62	0,52	0,44	0,36	0,29	0,24	0,15	960,0	0,060	0,036	0,022	900,0	0,002	0			0,34
	8,0			0,022	0,12	0,31	0,54	0,74	0.89	0,			0,92	0,85	0,77	0,68	0.59	0,51	0,44	0,37	0,31	0,22	0,15	0,10	0,068	0,045	0,016	0,005)			0,33
	0,7		0,003	0,050	0,19	0,40	0,61	62'0	0,91	86,0		0,98	0,94	88'0	0,81	0,74	99'0	0,59	0,52	0,46	0,40	0,30	0,22	0,16	0,12	980,0	0,037	0,016	0,003	0		0,31
	9,0	0	0,011	0,099	0,28	0,49	69'0	0,83	0,93	0,			0,95	0,91	0,85	62'0	0,73	99'0	09'0	0,55	0,49	0,40	0,32	0,25	0,19	0,15	0,079	0,042	0,011	0,003	0	0,29
	0,5		0,034	0,18	0,39	0,59	0,75	0,87	96'0			66,0	96'0	6,03	68'0	0,84	62'0	0,74	69'0	0,64	0,59	0,50	0,42	0,35	0,29	0,24	0,15	0,092	0,034	0,012	0,002	0,26
	0,4	0,002	0,091	0,29	0,51	0,69	0,82	0,91	96'0	0,99		0,	0,97	0,95	0,92	0,88	0,85	0,81	0,77	0,73	69,0	0,61	0,54	0,48	0,42	0,37	0,26	0,19	0,091	0,044	0,010	0,23
	0,3	0,023	0,21	0,45	99,0	0,78	0,88	0,94	0,97				0,98	0,97	0,95	0,92	06,0	0,87	0,84	0,81	0,78	0,73	0,67	0,62	0,57	0,53	0,43	0,34	0,21	0,13	0,052	0,19
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	6,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	8,0	$k_s = h_{\pi}' h_p = = f \ (\lambda)$

$$\lambda^* = \frac{q \cdot t_n}{0.0116 \cdot h} \,. \tag{1.12}$$

Ординаты расчетного гидрографа определяются по формуле

$$Q_i = y \cdot Q_{P\%} \quad , \tag{1.13}$$

а абсциссы – по формуле

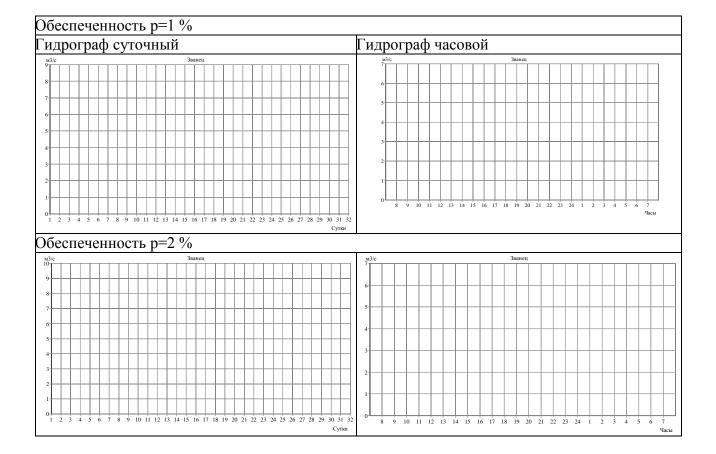
$$t_i = x \cdot t_n, \tag{1.14}$$

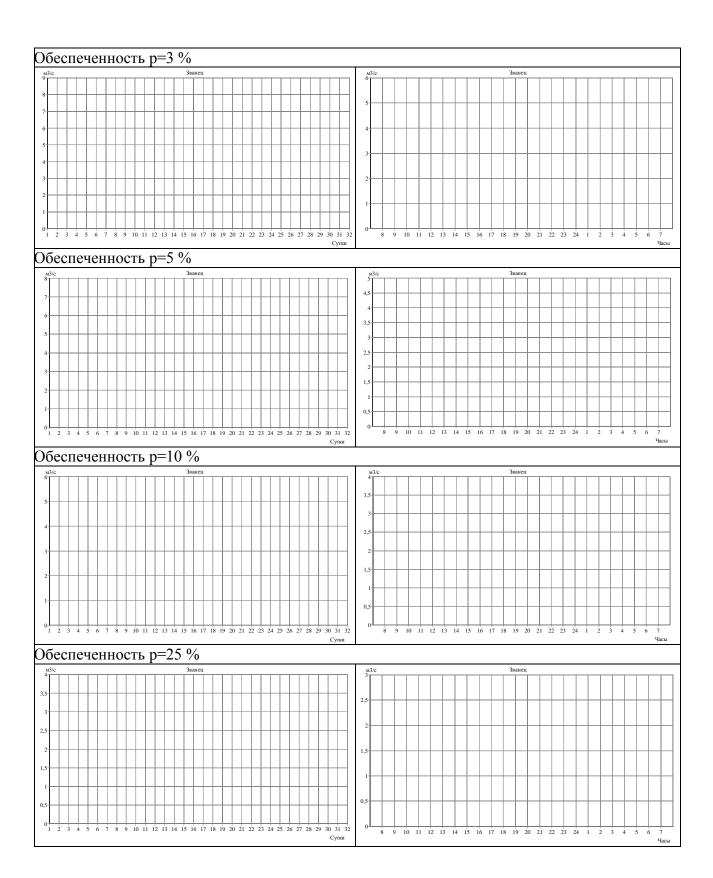
где $t_{\rm п}$ – продолжительность подъема весеннего половодья (дождевого паводка), определяется по формуле

$$t_n = \frac{0.0116 \cdot \lambda \cdot h_{P\%}}{q_{P\%}}; \tag{1.15}$$

x, y — относительные ординаты расчетного гидрографа стока воды, приведены в таблице 1.7.

Построение гидрографов стока воды весеннего половодья заказника «Званец» осуществлялся для условного водосбора площадью A=10 км² с помощью компьютерной программы «Гидролог-2», разработанной на кафедре сельскохозяйственных гидротехнических мелиораций Брестского государственного технического университета. Результаты построения представлены на рисунке 1.4.





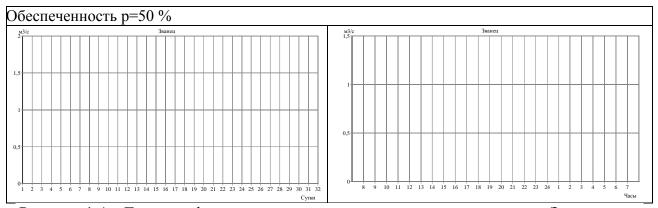


Рисунок 1.4 – Гидрографы стока воды весеннего половодья заказника «Званец» для условного водосбора площадью $A=10~{\rm km}^2$ различной обеспеченности

Продолжительность расчетного половодья составляет 31 сутки. Кроме того, для суток с максимальным расчетным расходом выполнено построение гидрографа часовых расходов. Результаты построения суточных и часовых гидрографов используются для имитационного моделирования работы проводящей и регулирующей сети территории болотного массива «Званец».

Непосредственно моделирование движение воды в открытой сети производится на основании следующих параметров и характеристик водотока:

- 1. Геометрические характеристики поперечного профиля водотока в соответствующих расчетных створах;
- 2. Шероховатость русловой и пойменной части в соответствующих расчетных створах;
- 3. Отметки бермы и дна русла водотока в соответствующих расчетных створах;
- 4. Площади водосбора водотока в соответствующих расчетных створах.

Геометрические характеристики поперечного профиля водотока приняты ориентировочно на основании натурных наблюдений и описаний параметров, приведенных в Плане управления [3]. Отметки характерных точек в расчетных створах скорректированы на основании анализа средних уклонов поверхности земли в пределах тальвега водотока. В перспективе необходимо уточнить параметры поперечного сечения и отметки характерных точек в Балтийской системе координат. Принятые параметры расчетных створов водотока приведены в таблице 1.8 для канала Поведский и канала Барсук. Продольные уклоны дна русла водотока вычисляются исходя из значений минимальной отметки, отнесенные к расстоянию между створами. В данном случае принятое расстояние соответствует 1 км.

Таблица 1.8 – Отметки и глубины в расчетных створах канала Поведский и канала Барсук

		Канал 1	Поведски	й						
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	0,8	0,8	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,584	144,534	144,524	144,384	143,784	143,784	144,334	144,524	144,534	144,584
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	0,85	0,85	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,551	144,501	144,491	144,351	143,701	143,701	144,301	144,491	144,501	144,551
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	0,9	0,9	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,518	144,468	144,458	144,318	143,618	143,618	144,268	144,458	144,468	144,518
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	0,95	0,95	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,484	144,434	144,424	144,284	143,534	143,534	144,234	144,424	144,434	144,484
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1	1	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,451	144,401	144,391	144,251	143,451	143,451	144,201	144,391	144,401	144,451
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,05	1,05	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,418	144,368	144,358	144,218	143,368	143,368	144,168	144,358	144,368	144,418
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,1	1,1	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,385	144,335	144,325	144,185	143,285	143,285	144,135	144,325	144,335	144,385
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,15	1,15	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,352	144,302	144,292	144,152	143,202	143,202	144,102	144,292	144,302	144,352
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,2	1,2	0,25	0,06	0,05	0

Отметка дна водотока, м	144,318	144,268	144,258	144,118	143,118	143,118	144,068	144,258	144,268	144,318
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	50,5	60,5	62	62,6	64,1	74,1	84,1	94,1
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,25	1,25	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,252	144,202	144,192	144,052	143,002	143,002	144,002	144,192	144,202	144,252

		Кана	л Барсук							
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	21,4	22	22,825	32,825	42,825	52,825
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	0,8	0,8	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	145,1	145,05	145,04	144,9	144,3	144,3	144,85	145,04	145,05	145,1
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	21,4	22	22,975	32,975	42,975	52,975
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	0,8	0,9	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,95	144,9	144,89	144,75	144,15	144,05	144,7	144,89	144,9	144,95
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	21,85	22,45	23,725	33,725	43,725	53,725
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,1	1,1	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,8	144,75	144,74	144,6	143,7	143,7	144,55	144,74	144,75	144,8
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	22	22,6	24,025	34,025	44,025	54,025
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,2	1,2	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,65	144,6	144,59	144,45	143,45	143,45	144,4	144,59	144,6	144,65
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	22,15	22,75	24,175	34,175	44,175	54,175
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,3	1,2	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,5	144,45	144,44	144,3	143,2	143,3	144,25	144,44	144,45	144,5
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	22,15	22,75	24,325	34,325	44,325	54,325
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,3	1,3	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,35	144,3	144,29	144,15	143,05	143,05	144,1	144,29	144,3	144,35
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	22,15	22,75	24,325	34,325	44,325	54,325
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,3	1,3	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,2	144,15	144,14	144	142,9	142,9	143,95	144,14	144,15	144,2
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	22,15	22,75	24,325	34,325	44,325	54,325
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,3	1,3	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	144,05	144	143,99	143,85	142,75	142,75	143,8	143,99	144	144,05
Расстояние от постоянного начала, м	0	0,5	10,5	20,5	22,3	22,9	24,475	34,475	44,475	54,475
Глубина на промерной вертикали, м	0	0,05	0,06	0,2	1,4	1,3	0,25	0,06	0,05	0
Отметка дна водотока, м	143,9	143,85	143,84	143,7	142,5	142,6	143,65	143,84	143,85	143,9

Шероховатость принята исходя из условий наличия древесно-кустарниковой и травяной растительности. Так для русловой части по всей длине русла принято значение $\gamma_{\text{русл}}=7$, для пойменной части $\gamma_{\text{пойма}}=12$.

Площади водосбора для каждого расчетного створа водотока определены с использованием ГИС гидрографической сети болотного массива «Званец» (рисунок 1.5).

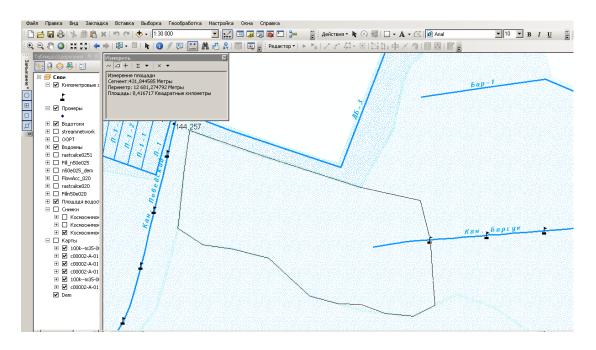


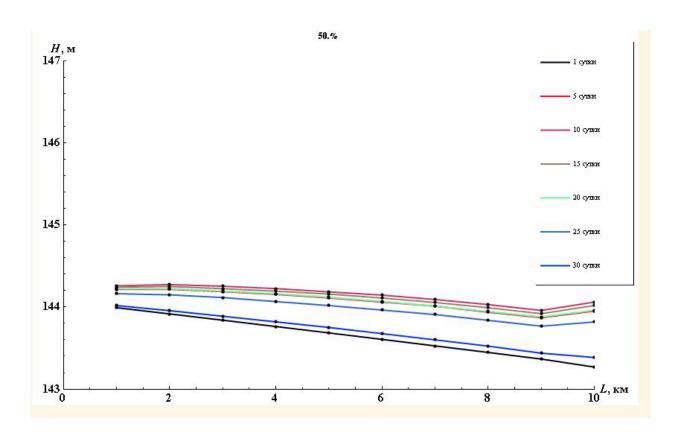
Рисунок 1.5 – Принцип определения площади водосбора в расчетных створах

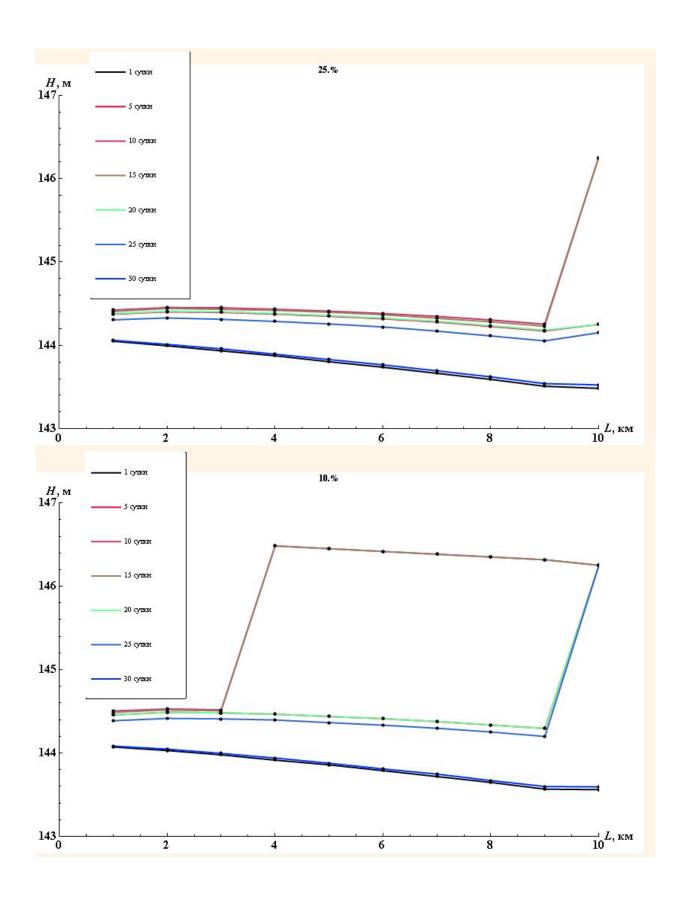
Таким образом, результаты определения площадей водосборов по каналам (Поведский и Барсук) представлены в виде базы данных, которая используется разработанным алгоритмом. Содержание данной базы данных представлено в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Площади водосборов в расчетных створах водотоков при имитационном моделировании

Ka	Канал Поведский												
Расстояние от истока до расчет-													
ного створа, км	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Площадь водосбора водотока в													
расчетном створе, км ²	7,07	11	13,9	16,4	18,5	20,2	21,4	21,7	21,9	37,4			
I	Санал	Барс	ук										
Расстояние от истока до расчет-													
ного створа, км	1	2	3	4	5	6	7	8	9	_			
Площадь водосбора водотока в													
расчетном створе, км ²	9,20	12,1	15,1	19,5	22,4	32,7	37,2	40,6	43,7	_			

Для визуализации результатов имитационного моделирования движения водных масс в водотоках избран вариант изображения расчетных отметок в виде набора графиков при различной обеспеченности. Моделирование проводилось с интервалом в 5 суток, что позволяет рассматривать задачу как при установившемся режиме. Уровни воды в различные интервалы времени изображены отдельными линиями. При этом отметка уровня воды в соответствующем створе определялась по формуле $\nabla VB^* = Max(\nabla VB) + 2M$ в тех случаях, когда расход в створе превышает максимально возможный (рисунки 1.6 и 1.7). Анализ полученных результатов имитационного моделирования работы открытых водотоков показал приемлемость заложенной физико-математической модели. Получаемые с ее помощью результаты в достаточной мере информативны для реализации управленческих решений или иных технических решений по созданию требуемого уровенного режима поверхностных вод. Изменение гидравлических условий (шероховатость русла, глубина воды, транзитный расход) движения воды в водотоках будут приводить к автоматической корректировке расчетного уровенного режима водотока.





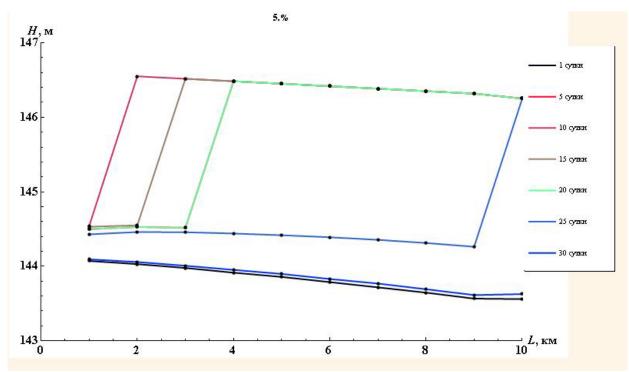
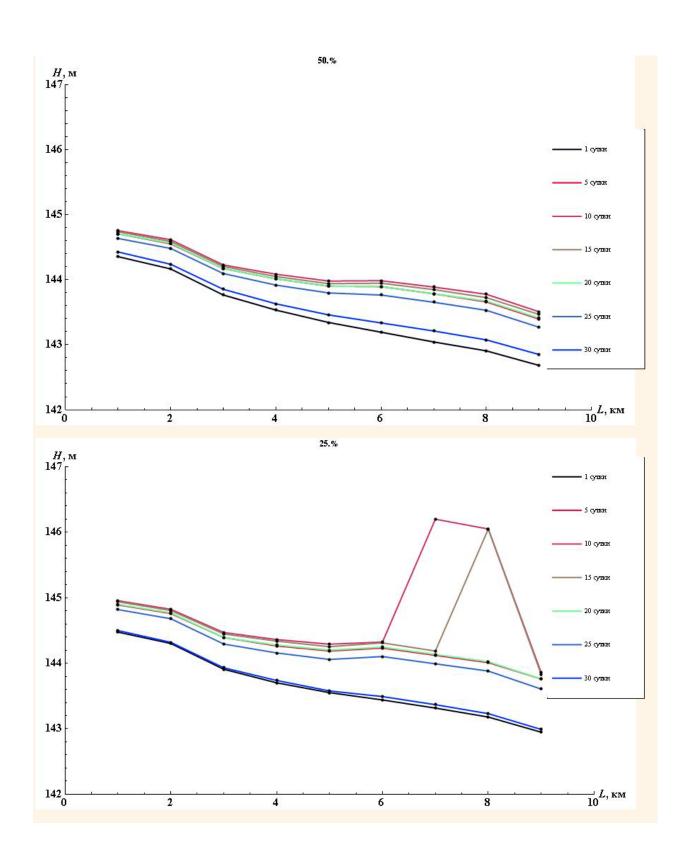


Рисунок 1.6 – График изменения уровня воды в канале Поведский за период весеннего половодья при различной водности года (водность года указана в верхней части)

Анализ численного эксперимента показал, что при принятых характеристиках и параметрах водотоков пропускная способность канала Поведский и канала Барсук только в средний по водности год обеспечивает пропуск расчетных расходов. При этом на канале Поведский формируется кривая подпора к водопропускному сооружению, связанная с резким увеличением приточности на 8–10 км. На канале Барсук в средний по водности год формируется кривая спада, связанная с увеличением продольных уклонов на 8–9 км.



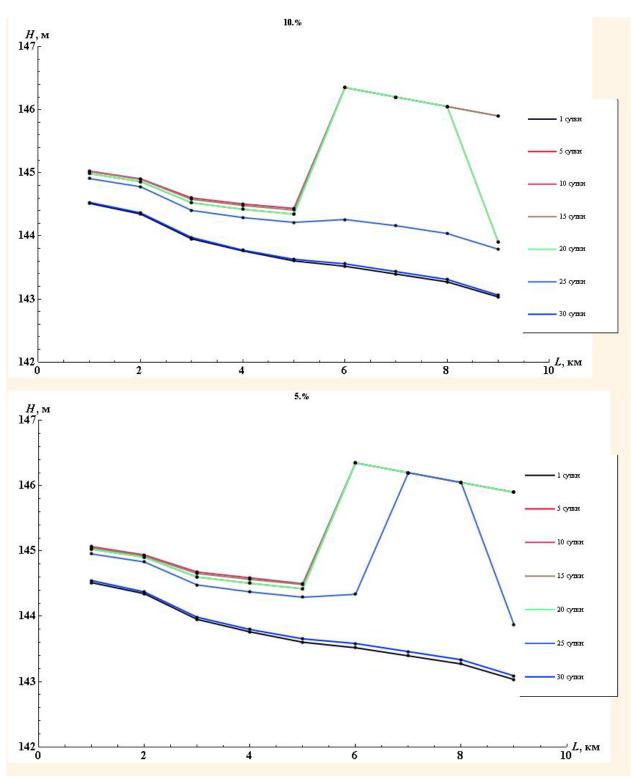


Рисунок 1.7 – График изменения уровня воды в канале Барсук за период весеннего половодья при различной водности года (водность года указана в верхней части)

1.2 Определить параметры работы сооружений, обеспечивающих заданный (близкий) водный режим

В рамках данного исследования наиболее детально рассматривалось в качестве примера гидротехническое сооружение на канале Поведский. На выходе данного канала за пределы болотного массива расположена труба-регулятор с коробчатым затвором. По результатам рекогносцировочных обследований, выполненных в рамках проекта, оценены параметры и состояние трубы-регулятора. Несмотря на незначительный срок эксплуатации сооружения, присутствуют деформации каменного зуба в верхнем бъефе (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Труба-регулятор на канале Поведский (ВБ)

В тоже время водопропускная труба находится в заиленном состоянии (рисунок 1.9), что значительно снижает ее пропускную способность в период прохождения паводка. На момент проведения натурных исследований затвор регулятора находился в опущенном состоянии. Однако на зимний период и период прохождения паводка

затвор должен находиться в верхнем положении, чтобы не ограничивать количество пропускаемой воды в нижний бьеф. Также, большое количество древесно-кустарниковых остатков приводит к захламлению водоприемной части сооружения. Данные факты свидетельствуют о недостаточном качестве эксплуатационных мероприятий.

Для оценки диапазона пропускной способности трубы-регулятора на канале Поведский проведено имитационное моделирование с использованием физикоматематической модели, изложенной в виде листинга кода в приложении A.

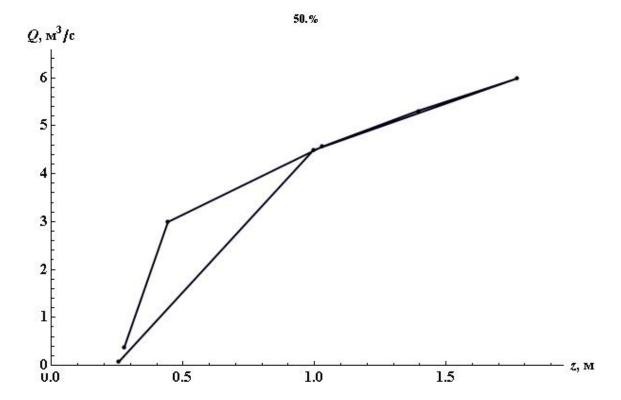


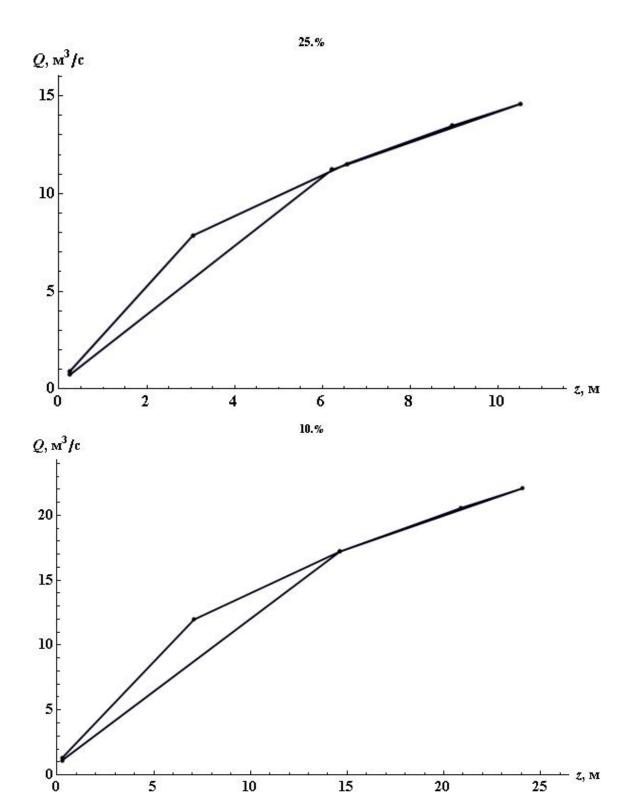
Рисунок 1.9 – Труба-регулятор на канале Поведский (НБ)

С использованием расчетных расходов воды весеннего половодья, при условии удовлетворительной пропускной способности канала Поведский, выполнено моделирование работы трубы-регулятора. Целью моделирования в данном случае было выявление диапазона рабочих расходов и формирующихся при данных расходах разностей уровня верхнего и нижнего бъефов. Результат представлен в виде зависимости разности уровней и расхода. Точки на график нанесены в хронологической последо-

вательности, начиная с первых суток паводка до окончания, шагом в 5 суток. Анализ результатов показал, что допустимый диапазон приемлемых расходов воды на трубе составляет от 0 до 6 m^3 /с, при этом формируется разность уровней от 0 до 1,9 м (рисунок 1.10). Однако данная разность уровней возможна только при очень специфических условиях:

- высокая приточность канала Поведский в верхнем бьефе;
- большая пропускная способность нижнего бьефа;
- отсутствие подпора в каналах (вниз по течению).





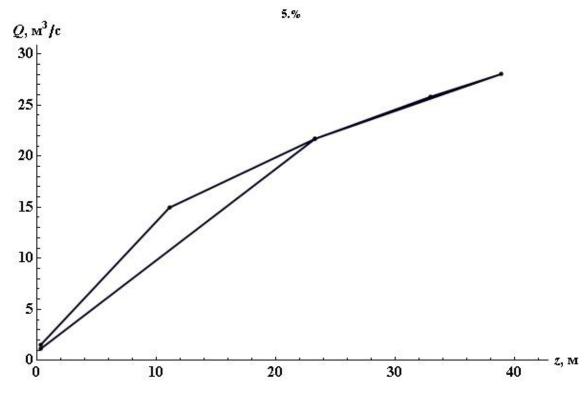


Рисунок 1.10 – График зависимости расхода от разности уровней верхнего и нижнего бъефов (канал Поведский)

1.3 Разработать режимы управления сооружениями гидромелиоративных систем для различных условий естественного увлажнения

Оптимальный, с точки зрения поддержания популяции вертлявой камышевки, гидрологический режим болота имеет 3 характерных периода [3]. В марте-апреле – равномерное затопление болота до верхнего уровня кочек, в первой декаде мая – обеспечение затопления до отметки 145,4 м (на 10 см ниже уровня кочек) и дальнейшее плавное понижение уровней воды до поверхности земли, в июле-октябре – обеспечение уровней грунтовых вод 10-30 см.

В качестве входного параметра схемы управления водным (гидрологическим) режимом используется оптимальная отметка поверхности воды в пределах расчетного створа. Требуемая отметка достигается управлением расходом воды в водотоке. В пределах исследуемого объекта функционирует незначительное количество регулирующих гидротехнических сооружений, и их диапазон регулирования расходов зачастую не позволяет решить поставленные задачи. В этом случае поиск необходимого расхода заключается в определении даты подъема уровня воды в канале и включения в схему управления регулирующих сооружений. На основе прогноза водности года выбирается тот или иной расчетный гидрограф весеннего половодья. С учетом этого возможны три расчетные схемы:

- 1. Расход воды в пределах гидрографа весеннего половодья не позволяет сформироваться необходимому расходу до расчетной даты.
- 2. Сток весеннего половодья позволяет установить необходимый расход воды в канале до расчетной даты, и, в свою очередь, расход воды находится в пределах диапазона регулирования гидротехнического сооружения.
- 3. Сток весеннего половодья позволяет установить необходимый расход воды в канале до расчетной даты, но расход находится за пределами диапазона регулирования гидротехнического сооружения.

Наиболее удобной, с точки зрения регулирования, является вторая расчетная схема. В этом случае, как указывалось ранее, подбираем расход, позволяющий поддерживать оптимальный (заданный) уровень воды на территории заказника. Такой подход эффективно реализуется как при поддержании высоких уровней воды (немногим менее отметки кочек), так и при снижении уровня до отметки земли.

Следует отметить, что расстояние от истока Поведского канала до трубырегулятора составляет около 6 км, что делает практически невозможным реальное посуточное управление водным режимом в контрольных точках. Существующее сооружение способно пропускать расходы воды весеннего половодья и дождевых паводков и с большим запаздыванием и погрешностью может обеспечить необходимые контрольные отметки на болоте в нужные сроки. Инерционность работы сооружения находится в пределах 3-15 суток.

В соответствии с Правилами эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений [4], для трубырегулятора на Поведском канале необходимо рекомендовать следующее:

- обеспечить отсутствие наносов грунта, камней, растительности, льда и других предметов, препятствующих пропуску расходов воды;
- обеспечить отсутствие трещин, разломов, оголенной арматуры, коррозии бетона, провалов грунта и осадочных воронок вдоль стен сооружения, повреждений крепления входной и выходной части и откосов русла Поведского канала;
 - предотвратить пропускание воды через затвор.

В части управления сооружением необходимо обеспечить пропуск максимальных расходов при полностью открытом затворе. На спаде весеннего половодья, через 3-10 суток после прохождения пиковых расходов, в зависимости от расчетной обеспеченности, обеспечить постепенное закрытие затвора для достижения контрольных отметок на болоте в первой декаде мая. В течение дальнейшего теплого периода затвор остается закрытым в зависимости от водности года.

На рисунке 1.11 представлены слои стока, которые могут пропустить существующие водотоки и сооружения на территории заказника за период весеннего половодья (прямая линия черного цвета). Кривая красного цвета показывает фактическое накопление воды на болоте. В качестве показателя работы водотоков и сооружений рассматривается разность кривой накопления влаги и ее сработки (кривая зеленого цвета). В случае превышения пропускной способности водотока над притоком, балансовая кривая отсутствует.

Так, рассматривая баланс в средний год по водности (P = 50 %), балансовая кривая отсутствует. Эффективность работы водотоков и сооружений по отводу избыточной влаги превышает приточность на протяжении всего весеннего половодья.

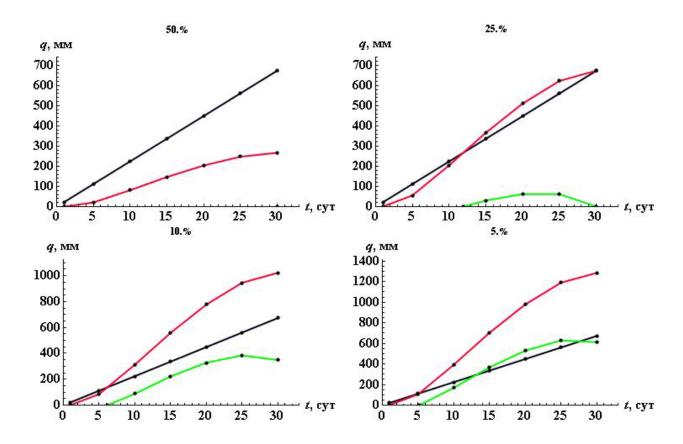


Рисунок 1.11 – Интегральные графики накопления и расходования водных ресурсов территории заказника «Званец» за период весеннего половодья

С учетом наступления даты весеннего половодья, рисунок 1.11 позволяет сделать выводы об уровнях воды на болоте к контрольным датам и принять решение о необходимости открытия (закрытия) затворов гидротехнических сооружений. На рисунке 1.12 приведена схема поступления и отвода вод с территории заказника.

Среди факторов, вызывающих неблагоприятный гидрологический режим на болоте можно выделить следующие.

В последние десятилетия имеет место увеличение атмосферного увлажнения (около 25 мм за годовой период на исследуемой территории) [5], что только на площади заказника дает дополнительный объем воды около 4,1 млн. м³ в среднем за год. Результатом является рост уровней грунтовых вод, увеличение доли поверхностного стока и неспособность существующей гидрографической сети пропустить формирующиеся расходы воды в критические гидрологические периоды.

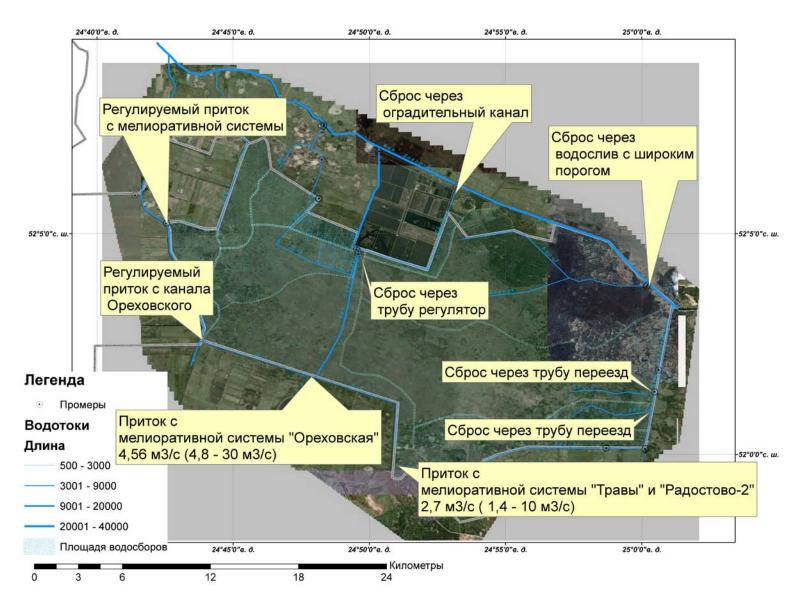


Рисунок 1.12 – Карта-схема основных источников поступления и сработки водных ресурсов

Увеличение атмосферного увлажнения имеет место в мае и июне, в результате чего уровни воды на болоте в это время все еще выше поверхности земли (рисунок 1.13).

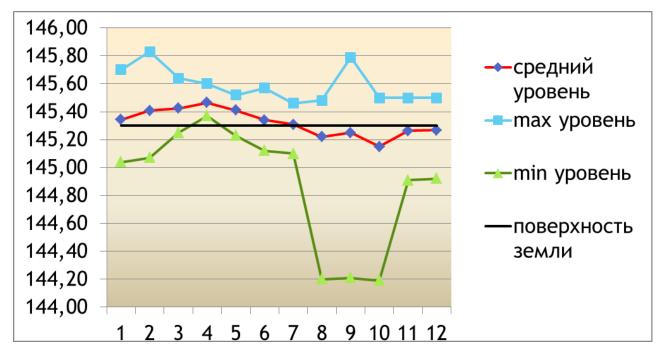


Рисунок 1.13 – Средние многолетние уровни воды на болоте «Званец» за период 1999-2007 гг.

Избыточное увлажнение приводит к ограничению площадей гнездования вертлявой камышевки. В качестве мероприятий необходимо рекомендовать обеспечение надлежащей пропускной способности Поведского и Батыевского (Барсук) каналов (расчистка завалов, удаление бобровых плотин).

Влияние Днепровского-Бугского и Белоозерского каналов на гидрологический режим болота, в целом, незначительно. Уровень воды в каналах более чем на 1 метр ниже, чем на болоте. Однако в 2010 году завершена реконструкция гидроузла и сдана в эксплуатацию мини-ГЭС в г. Кобрине (25 км ниже по течению Днепровско-Бугского канала). Для обеспечения необходимого напора на гидроузле уровни воды в канале зимой стали выше. На 15-20 суток раньше стало наступать весеннее половодье в данном бассейне. Все это создает подпоры Ореховского канала и затрудняет грунтовый сток с болота зимой.

В целом, наибольшую значимость в увлажнении болота имеет Ореховский канал. Максимальные уровни воды в канале превышают среднюю отметку на болоте 145,3 м. Защита от затопления территории водой Ореховского канала организована

посредствам дамбы обвалования. Конструктивные параметры дамбы были оценены при проведении натурных исследований. Ширина гребня дамбы составила 6 м, высота 3 м. Для оценки объема воды фильтрующегося через грунтовую дамбу выполнен расчет и составлены графики зависимости объема притока за период весеннего половодья (30 суток) от разности отметок свободной поверхности воды в канале Ореховский и воды на болотном массиве. При этом, в качестве численного эксперимента рассматривались различные значения коэффициента фильтрации грунта сложения дамбы обвалования (рисунок 1.14).

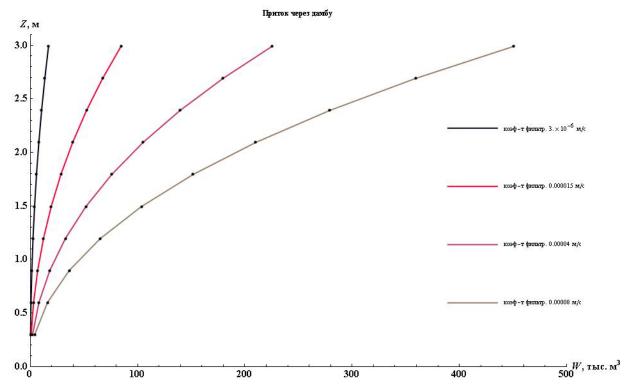


Рисунок 1.14 – Объем фильтрационных вод через трапецеидальную дамбу обвалования вдоль Ореховского канала

Анализ результатов показал, что при разности уровней воды в верхнем и нижнем бьефах 1 м и коэффициенте фильтрации 0,04 мм/с, объем профильтровавшей воды за период паводка составит 24 тыс. м³. При поддержании данной разности уровней в течение всего года объем притока составит 288 тыс. м³, или 55 мм слоя воды на водосборной площади канала O–1, что является значимой величиной и требует проведения противофильтрационных мероприятий.

Пруды рыбхоза «Новоселки» оказывают незначительное влияние на перераспределение поверхностного стока. Обводные и сбросные каналы рыбхоза перехватывают фильтрационные воды прудов и незначительную часть стока с болота в преде-

лах осушительного действия самих каналов (около 100 м). Однако доподлинно установить влияние прудов рыбхоза возможно при построении карт гидроизогипс и гидроизобат болота. Предварительно считаем, что на болоте имеет место замкнутый бассейн грунтовых вод. Для контроля уровней воды на болоте, наблюдением за динамикой грунтовых и поверхностных вод, считаем необходимым установку на болоте датчиков для наблюдения за уровнями воды (распределенными по площади равномерно в контрольных точках), которые позволят, в итоге, оптимизировать схему управления гидрологическим режимом на территории заказника.

На гидрологический режим территории заказника также оказывают влияние 7 мелиоративных систем. Только 3 из них имеют существенное значение. Мелиоративная система «Ореховская» – сбросные расходы 4,6 (4,8-30,0) м3/с. Мелиоративная система «Травы» и «Радостово-2» – сбросные расходы 2,7 (1,4-10,0) м3/с. Максимальные расходы соответствуют водосборной площади мелиоративных систем и могут рассматриваться как аварийные, например, при прорыве оградительных дамб. Наибольшие сбросные расходы поступают из водохранилища «Ореховской» мелиоративной системы, расположенного возле д. Повитье, к югу от заказника. Объем воды в водохранилище составляет 6,39 млн. м³. Водохранилище наливное, сезонного регулирования. Наполнение водой осуществляется из Ореховского канала в марте, в дальнейшем с собственного водосбора мелиоративной системы. Сработка водохранилища до отметки УМО, равной 144,0 м производится с мая по август. Учитывая большую значимость водохранилища в увлажнении болота, необходимо обеспечить соблюдение Правил эксплуатации прудов и малых водохранилищ сельскохозяйственного назначения [6] в части заполнения водохранилища до отметки НПУ в период прохождения весеннего паводка; сработку на увлажнение земель болота вплоть до отметки УМО; частичную сработку перед паводками и осеннее опорожнение; опорожнение раз в 3-4 года для выполнения профилактических мероприятий, а также для ремонта гидротехнических сооружений; другие мероприятия, направленные на обеспечение оптимального гидрологического режима на болоте в разные по увлажненности годы. Для защиты болота от поступления в многоводные годы сбросных вод мелиоративных систем, со стороны Сбросного канала необходимо строительство дамбы обвалования, регулирующей поступление избыточных вод на болото. Для обеспечения подачи воды на увлажнение из Сбросного канала в маловодные годы, необходимо строительство регулирующего сооружения в истоке Поведского канала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Только в средний по водности год (P=50 % весеннего половодья) пропускная способность существующей гидрогафической сети и сооружений на ней удовлетворяет пропуску расчетных расходов на территории заказника «Званец».

Первоочередными мероприятиями являются:

- расчистка русел и удаление бобровых плотин на Поведском и Батыевском (Барсук) каналах;
- ремонт регулятора на сбросе Поведского канала;
- строительство дамбы обвалования вдоль Сбросного канала;
- для подачи воды в засушливые периоды в истоке Поведского канала необходимо устройство трубчатого регулятора;
- мероприятия по снижению поступления паводковых и фильтрационных вод со стороны Ореховского канала;
- соблюдение Предприятиями мелиоративных систем действующих правил технической эксплуатации линейных и сетевых гидротехнических сооружений, наливного водохранилища, насосных станций;
- организация сети мониторинга за уровнями грунтовых и поверхностных вод на болоте.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

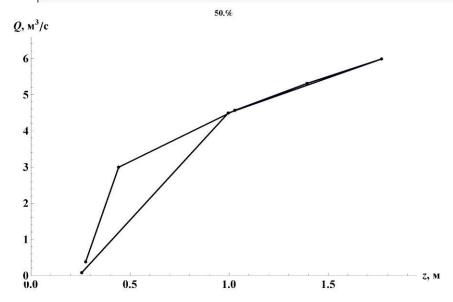
- 1. Расчетные гидрологические характеристики Порядок определения = Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве: ТКП 45-3.04-168-2009. Введ. 01.07.2010. Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2010. 64 с.
- 2. Определение расчетных гидрологических характеристик = Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Пособие к строительным нормам и правилам: П1–98 к СНиП 2.01.14–83 / Н.В. Шевцов, Н.А. Мишустин, В.Е. Валуев, А.А. Волчек, В.В. Лукша, О.П. Мешик, В.Ю. Цилиндь // Введ. 01.08.1999. Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2000. 181 с.
- 3. Актуализация и корректировка планов управления заказниками "Споровский" и "Званец": отчет о НИР (итоговый): Книга 1. План управления республиканского биологического заказника "Званец" / государственное научнопроизводственное объединение «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам»; рук. темы О.С. Беляцкая. Минск, 2009. 440 с. № гр 20083031.
- 4. Правила эксплуатации (обслуживания) мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений: Постановление Совета Министров Республики Беларусь 10.07.2009 № 920.
- 5. Мешик, О.П. Трансформация режима выпадения атмосферных осадков на территории Беларуси / О.П. Мешик, В.Е. Валуев // Вестник Брестского государственного технического университета. Сер. Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. 2005. № 3(33). С. 3–6.
- 6. Типовые правила эксплуатации прудов и малых водохранилищ сельскохозяйственного назначения; разработаны РУП «Белгипроводхоз» / Соколовский Г.В. [и др.]. Минск, 2008. 34 с.

Приложение А

Таблица A.1 – Листинг программного кода алгоритма моделирования движения жидкости через трубу-регулятор/трубу-переезд

```
 \begin{array}{l} {\rm ADz} [{\rm xx}_{\_}] := -0.76 + \frac{0.76}{{\rm xx}^{2.732}} \\ (*{\rm Исходыне данные*}) \\ (*{\rm RabParTrub} [{\rm диаметр} \ {\rm трубы}, \ {\rm Длинна} \ {\rm трубы}, \ {\rm коэффициент} \ {\rm гидравлического} \ {\rm трения}, \\ {\rm наличие затвора} \ (0 - {\rm her} \ {\rm satворa}, \ 1 - {\rm ecth} \ {\rm satвоp}, \ {\rm pacxod}] \\ {\rm функция} \ {\rm выдает} \ {\rm pashocth} \ {\rm уровней} \ {\rm i} \ {\rm heodexoдимоe} \ {\rm sakputue} \ {\rm satsopa*}) \\ {\rm RabParTrub} [{\rm d}_{\_}, \ {\rm L}_{\_}, \ {\rm A}_{\_}, \ {\rm d}_{\_}] := {\rm If} \left[{\rm A} = 1, \ {\rm For} \left[{\rm i} = 100, \ {\rm i} > 0, \ {\rm i} = {\rm i} - 1, \right. \right. \\ {\rm a} = {\rm d} \ \frac{{\rm i}}{100}; \ {\rm g} = 9.81; \ {\rm gvh} = 0.3; \ (*{\rm Koэффициенt}} \ {\rm cопротивления} \ {\rm ha} \ {\rm входе*}) \\ {\rm g} {\rm vyh} = 0.8; \ (*{\rm Koэффициенt}} \ {\rm cопротивления} \ {\rm ha} \ {\rm входе*}) \\ {\rm Z} = {\rm FindRoot} \left[{\rm q} = \frac{1}{\sqrt{{\rm gvh} + {\rm ADz} \left[\frac{{\rm a}}{{\rm d}}\right] + \lambda \frac{{\rm L}}{{\rm d}} + {\rm gvyh}}} \ {\rm \pi} \ \frac{{\rm d}^2}{4} \sqrt{2\,{\rm g\,z}} \ , \ ({\rm z}, \ 1)} \right] [{\rm [1}, \ 2]]; \\ {\rm If} \left[{\rm Z} < 0.25, \ {\rm a} = {\rm d} \ \frac{{\rm i}}{100}, \ {\rm i} = 0\right]\right]; \left\{{\rm Z}, \ \frac{1}{\sqrt{{\rm gvh} + {\rm ADz} \left[\frac{{\rm a}}{{\rm d}}\right] + \lambda \frac{{\rm L}}{{\rm d}} + {\rm gvyh}}}} \ {\rm \pi} \ \frac{{\rm d}^2}{4} \sqrt{2\,{\rm g\,z}} \ , \ ({\rm z}, \ 1)} \right] [{\rm [1}, \ 2]]; \\ {\rm d} {\rm e} = {\rm d}; \ {\rm Z} = {\rm FindRoot} \left[{\rm q} = \frac{1}{\sqrt{{\rm gvh} + {\rm ADz} \left[\frac{{\rm a}}{{\rm d}}\right] + \lambda \frac{{\rm L}}{{\rm d}} + {\rm gvyh}}}} \ {\rm \pi} \ \frac{{\rm d}^2}{4} \sqrt{2\,{\rm g\,z}} \ , \ ({\rm z}, \ 1)} \right] [{\rm [1}, \ 2]]; \\ {\rm d} {\rm e} = {\rm d}; \ {\rm Z} = {\rm FindRoot} \left[{\rm q} = \frac{1}{\sqrt{{\rm gvh} + {\rm ADz} \left[\frac{{\rm a}}{{\rm d}}\right] + \lambda \frac{{\rm L}}{{\rm d}} + {\rm gvyh}}}} \ {\rm d} {\rm e} = {\rm d}; \ {\rm e} = {\rm e} =
```

2 | Уровень воды в канале при различных модуляхV1.1 .nb



УТВЕРЖДАЮ Директор Общественной организации «Ахова птушак Бацькаушчыны»

> В.А.Фенчук 2013

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

по проекту:

«Международное сотрудничество по сохранению вертлявой камышевки – благотворительная поддержка RSPB»

Этап 2 «Провести рекогносцировочные обследования территории, разработать ГИС гидрографической сети»

Исполнитель О.П.Мешик

Реферат

Отчет 41 с., 8 рис., 3 табл., 9 источников.

ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ СЕТЬ, ГИС, ВОДНЫЙ РЕЖИМ, ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Объектом исследования являются характеристики гидрологического режима территории ландшафтного заказника «Званец» (уровни и расходы воды, слой стока).

Цель работы — разработка гидрологической геоинформационной системы (ГИС) исследуемой территории.

В ходе выполнения работы составлена многослойная ГИС ландшафтного заказника «Званец». Основным является слой, содержащий гидрологические данные. Составлена физико-математическая модель водного режима территории, основанная на классических научных представлениях гидрологии и гидравлики.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение	4
2.1 Разработать ГИС гидрографической сети заказника «Званец» и	
прилегающих земель	5
2.2 Составить физико-математическую модель водного режима	
территории заказника с учетом влияния минеральных островов,	
торфа и кочек на движение воды через болото	22
Заключение	28
Список использованных источников	29
Приложение А	30

ВВЕДЕНИЕ

Одним из нормативных документов при создании ГИС гидрографической сети является Европейская Рамочная Водная Директива (ЕРВД) (Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy) [1], которая была принята в 2000 году. Этот документ регламентирует подходы в политике охраны, использования и управления водными ресурсами и призван к 2015 г. гармонизировать и унифицировать подходы стран ЕС и других европейских стран к управлению водными ресурсами и их охране.

Рациональное управление водными ресурсами может быть реализовано только при наличии полной, унифицированной, достоверной и своевременной информации о состоянии и тенденциях изменения водных экосистем или их отдельных компонентов. Системой, обеспечивающей все уровни управления водными ресурсами для определения стратегии природопользования и принятия оперативных решений, являются ГИС [2, 3].

2.1. Разработать ГИС гидрографической сети заказника «Званец» и прилегающих земель

Основными объектами любой ГИС являются карты, географические данные и таблицы.

Карта — географическое представление части поверхности. Карта может состоять из одного или более списков данных, содержащих определенный тип географических данных. Карты могут быть записаны в цифровой форме. Из цифровых данных можно создать и распечатать аналоговые карты.

Географические данные — это данные, описывающие объекты и явления, которые можно представить в соотношении с поверхностью земли. Собрание географических данных является данными цифровыми, входящими в состав ГИС. Такие термины, как собрание географических данных, информационный слой, или тематический слой, являются синонимами. Слой может быть представлен пикселями, точками, линиями и многоугольниками.

Таблица представляет собой содержание базы описательных данных. Информационные системы требуют организации сбора данных в одну или более таблиц. Колонки таблицы соответствуют полям базы данных, а заголовки таблицы – это отдельные записи базы данных. Для сравнения информации из разных источников таблицы должны иметь идентичную структуру.

Таблицы могут включать такие элементы, как: гидрографические характеристики русел, названия объектов, их местоположение в географических координатах, кодировка рек, дата взятия проб, качество воды, объем забора воды и т.д. Количество полей с данными в таблицах может расти бесконечно по мере работы с ними.

ЕРВД требует от европейских стран предоставления значительного количества информации в форме карт (более 13 слоев и 49 таблиц данных). Наилучшей формой предоставления большинства требуемой информации является форма тематических слоев ГИС. Это связано с тем, что большинство данных следует представлять в пространственном контексте. Внедрение ЕРВД требует сопоставления географических данных (координат местоположений) как с целью подготовки планов управления водохозяйственной деятельностью в бассейнах, так и с целью подготовки отчетности Бассейновых управлений. В первом случае техника ГИС является необходимой для разработки различных информационных слоев (например, характеристик бассейнов, химического и экологического состояния поверхностных и подземных вод).

На гидрографическую карту на первом (основном) этапе ее создания наносились следующие тематические слои:

 количественный слой, описывающий реки с записанными в базе данных названиями и их кодировкой;

- линейный слой, описывающий расположение, форму и другие геометрические параметры объектов с разделением на отдельные слои таких элементов, как реки, каналы, канализированные реки;
- слой полигонов, описывающий озера и искусственные водохранилища с определением объемов запаса воды, площади водного зеркала и максимальной глубины (при среднем уровне воды), – если такие данные доступны;
- слой полигонов, изображающий водосборы рек, описанных в базе данных такими параметрами, как название и кодировка водотока (или участка водотока), питаемого с этого водосбора, площадь водосбора, ширина, а также по мере возможности топографическими и гидрографическими данными (например, модуль стока), если такие данные доступны;
- линейный слой, содержащий границы водосборных бассейнов с указанием наименования смежных водосборов.

Для наполнения информацией тематических слоев и баз описательных данных было необходимо определить их источники. Так для территории заказника «Званец» была сформирована база метаданных (таблица 2.1). В основу разработки ГИС гидрографической сети данной территории были положены уже существующие картографические материалы. В 1984–1988 гг. были подготовлены относительно более новые топографические карты данного района. Эти картографические материалы, благодаря их высокой точности, можно использовать как основу для последующей векторизации объектов. В качестве современных данных использованы космические снимки.

Все цифровые данные записывались в базу данных ГИС в географических координатах. Геодезической системой сопоставления использовалась WGS 1984 (World Geodetic System 1984 (Всемирная геодезическая система)). Такой способ записи дал возможность легко трансформировать данные в новую систему плоских координат. Наиболее оптимально использование системы координат, которая опирается на проекцию Mercatora, для которой принята WGS 1984 как геодезическая система соотнесения.

Таким образом, на основе выделенных требований сформирована система координат, имеющая следующие параметры [4]:

проекция: Gauss Kruger, Pulkovo_1942_GK_Zone_5

осевой меридиан $L = 27^{\circ}$ восточной долготы;

меридиональная полоса между 24 и 30 градусом восточной долготы, охватывающая всю территорию природного комплекса «Званец»;

частный масштаб по осевому меридиану 1,0;

точка пересечения экватора с осевым меридианом имеет координату $X = 5\,500\,000$ м, Y = 0 м.

Таблица 2.1 – Инвентаризации базы метаданных

Таолица 2.1 – Инвен	таризации оазы ме	таданных		*	105	
Вид данных	Название данных	Владелец	Содержание	Формат данных, масштаб, система координат	Обновление (год издания, частота актуализация)	Доступ
1	2	3	4	5	6	7
		Карты	и атласы			
Топографические	Оттиски топогра- фических карт	Госкартгеоцентр	- горизонтали - ситуация	Цифровая карта М 1: 100000 Тиражные от- тиски топогра- фических карт М 1: 50000 система коорди- нат, СК-42, СК- 63	1993 обновление продолжа- ется	Платно
Геологические	Карта четвертич- ных отложений (Национальный атлас Беларуси)	Белкартография	- границы зон четвер- тичных отложений	Тиражные оттиски карт М 1:500000 географическая система координат	2002 обновля- ются по мере появ- ления но- вой ин- формации	По офици- альному запросу
Гидрологические	Водность рек (На- циональный атлас Беларуси)	Белкартография	- водность основных рек	То же	То же	В открытом доступе

7

1	2	3	4	5	6	7
Гидрографические	Векторная карта гидрографической сети	Госкартгеоцентр	- реки; водохранили- ща; деление на бас- сейны и русла; систе- ма идентификации	Тиражные оттиски топографических карт М 1:50000 система координат СК-42, СК-63	1993 обновление продолжа- ется	Платно
Почвенные	Карата почв тер- ритории Беларуси	РУП «Институт поч- воведения и агрохи- мии»	- типы почв - границы ареалов почв	Тиражные оттиски карт М 1:500000 географическая система координат	2001 обновля- ются по мере появ- ления но- вой ин- формации	По офици- альному запросу
Гидрогеологические	Гидрогеологическая карта, районирование водоносных горизонтов (Национальный атлас Беларуси)	Белкартография	- гидрогеологическая структура территории	Тиражные оттиски карт М 1: 2000000 географическая система координат	2002 обновля- ются по мере появ- ления но- вой ин- формации	В открытом доступе
	T		венные данные			
Водоёмы (например, водохранилища, пруды)	Перечень с харак- теристиками	ГУП «Брестмелио- водхоз» Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- название - состояние - местоположение - линейные размеры	Табличная форма на электронных и бумажных носителях	2005 обновление раз в 5 лет	По офици- альному запросу

 ∞

1	2	3	4	5	6	7
Гидрологические и метеорологические наблюдательно- измерительные пункты	Перечень постов	Брестский областной гидрометеорологиче- ский центр	- название - состояние - местоположение - категория	Табличная форма на электронных и бумажных носителях	2007 обновление ежегодно	То же
Охраняемые зоны и территории (например: охранная зона забора воды, охранные зоны водохранилищ, особо охраняемые территории, экологическая сеть Natura 2000)	Перечень с характеристиками Карта особо охраняемых территорий Карты землепользования	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды Белкартография Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете	- наименование типов охраняемых зон и территорий - местоположение - границы	Список на электронных и бумажных носителях Тиражные оттиски карт М 1: 500000 географическая система координат	2008 обновление ежегодно обновля- ются по мере появ- ления но- вой ин- формации	В открытом доступе
Территории, подвер- женные наводнениям	Карты территорий потенциального затопления	Министерство по чрезвычайным ситуа- циям Республики Беларусь	- границы зон воз- можного затопления для различных по водности лет	Тиражные оттиски карт М 1:500000 географическая система координат	2005 обновля- ются по мере появ- ления но- вой ин- формации	По офици- альному запросу
Структура хозяйст- венного использова- ния земель	Карты землеполь- зования	Комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии	- границы территорий землепользователей - виды землепользователей вателей	Тиражные оттиски карт М 1:100000 географическая система координат	2005 обновля- ются по мере появ- ления но- вой ин- формации	То же

9

1	2	3	4	5	6	7
Пункты количественного и качественного мониторинга подземных и поверхностных вод	Перечень постов	Брестский областной гидрометеорологиче- ский центр	- название - состояние - местоположение - категория	Табличная форма на электронных и бумажных носителях	2007 обновление ежегодно	»
Гидрографические элементы (например, реки, каналы, канавы, озера, водоразделы)	Перечень с харак- теристиками	ГУП «Брестмелио- водхоз» Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- название - состояние - местоположение - линейные размеры	Табличная фор- ма на электрон- ных и бумажных носителях	2005 обновление раз в 5 лет	»
Главные бассейны подземных вод	Карта ресурсов подземных вод (Национальный атлас Беларуси)	Белкартография	- ресурс подземных вод по администра- тивным районам	Тиражные оттиски карт М 1: 4000000 географическая система координат	2002 обновля- ются по мере появ- ления но- вой ин- формации	В открытом доступе
Заборы подземных и поверхностных вод	Карта месторождений подземных вод (Национальный атлас Беларуси) Статистические отчеты	Белкартография Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды РУПП «ЦНИИКИВР» РУПП «Белгеолония»	- расположение месторождений подземных вод - мощность месторождений	Тиражные оттиски карт М 1: 4000000 географическая система координат Табличная форма на электронных и бумажных носителях	2002 обновля- ются регу- лярно	То же

1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	2	3	4	5	6	7	
1	<u> </u>		4	J	U	/	
Рыбхозы	Перечень рыбных хозяйств	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды Главное управление по охране и воспроизводству рыбных запасов и регулированию рыболовства	- расположение - наименование - производительность	Список на элек- тронных и бу- мажных носите- лях	2007 обновление ежегодно	По офици- альному запросу	
Очистные сооружения, места складирования отходов	Перечень очистных сооружений и места складирования отходов	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- расположение - наименование - производительность	Список на электронных и бумажных носителях	2007 обновление ежегодно	То же	
Административные единицы	Карта административного районирования РБ (Национальный атлас Беларуси)	Белкартография	- ресурс подземных вод по администра- тивным районам	Тиражные оттиски карт М 1: 1250000 географическая система координат	2002 обновля- ются по мере появ- ления но- вой ин- формации	В открытом доступе	
	Описательные данные						
Состояние поверхно- стных и подземных вод (качественный и количественный мо- ниторинг)	Статистические отчеты	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- компьютерная про- грамма - характеристики вод	Таблица Компьютерная программа	2008 обновление ежемесячно	По офици- альному запросу	

1	2	3	4	5	6	7
Объем потребления подземных и поверхностных вод, а также выброса сточных вод	Статистические отчеты	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- компьютерная про- грамма - характеристики вод	Таблица Компьютерная программа	То же	То же
Параметры сосредоточенных и распределенных источников загрязнения	Статистические отчеты	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- компьютерная про- грамма - характеристики ве- ществ	Таблица Компьютерная программа	»	»
Данные о воздействиях, связанных со складированием опасных веществ	Статистические отчеты	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- компьютерная про- грамма - характеристики ве- ществ	Таблица Компьютерная программа	»	»
Данные об использовании территории и о водоочистительном хозяйстве	Статистические отчеты	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- компьютерная про- грамма - характеристики вод	Таблица Компьютерная программа	»	»
Выданные разрешения на выброс сточных вод и потребления вод	Перечень разре- шений и обоб- щенных данных	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- компьютерная про- грамма - перечень разреше- ний	Таблица Компьютерная программа	*	»
Данные о количестве и виде веществ, особенно опасных для окружающей водной среды	Перечень	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды	- характеристики - наименования	Таблица на бу- мажных носите- лях	»	»

1	2	3	4	5	6	7
Данные, касающиеся гидротехнических сооружений, а также мелиорированных территорий	Перечень	ГУП «Брестмелио- водхоз»	- характеристики - наименования	Таблица на бу- мажных носите- лях	2008 обновление ежегодно	»
Данные о рыбхозах и о пригодности вод для рыбной ловли	Перечень рыбхо- зов и водоемов пригодных для рыборазведения	Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды ГУП «Брестмелиоводхоз»	- перечень водоемов - характеристики	Таблица на бу- мажных носите- лях и в элек- тронном виде	2008 обновление ежегодно	»
Экологическое состояние вод реки и его притоков, а также затопляемых территорий	Национальная система мониторинга окружающей среды РБ	Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды	- мониторинг земель - мониторинг поверх- ностных вод - мониторинг подзем- ных вод - мониторинг атмо- сферного воздуха - мониторинг лесов - система социально- гигиенического мони-	Печатное изда- ние	2007 Обновле- ние еже- годно	В открытом доступе

В результате обработки графических материалов (топографических карт, аэрофотоснимков и т.д.) нами создана ГИС гидрографической сети природно-территориального комплекса «Званец» (рисунок 2.1).

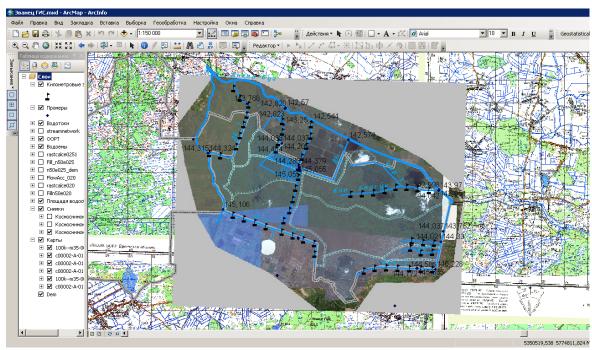


Рисунок 2.1 – Структура и основные элементы ГИС гидрографической сети природно-территориального комплекса «Званец»

Отдельным слоем, отображающим топографическую информацию в районе исследования, являются топографические карты масштаба 1:100 000 и 1:50 000. Для их точного отображения в системе принятых координат выполнена калибровка и преобразование файлов в формате *.jpg в формат *.geotif. Кроме того с целью снижения смещений в местах соединения смежных карт использовалась трансформация и увязка. Слой топографических карт включает 6 файлов GEOTIF (рисунок 2.2).

Вторым источником топографической информации являлись аэрокосмические фотоснимки (рисунок 2.3) трех наиболее распространенных картографических ресурсов находящихся в открытом доступе: ESRI; Google; Virtual Earth.

В качестве количественных цифровых линейных объектов созданы слои водотоков, границ водосборов и использован предоставленный слой границ природно-территориального комплекса «Званец». Слой водотоков включает атрибутивную информацию: длинны объектов, координат начала, координат конца участка водотока, локальную систему шифрованию учитывающую принадлежность к бассейнам отдельных крупных водотоков, а также поле

для записи особенностей гидрологического режима на участках водотока (рисунок 2.4).

Таблица 2.2 – Характеристики водотоков в пределах болотного массива «Званец» ¹

Название (код) водотока	Длина в пределах объекта, м	Обслуживаемая площадь в пределах объекта, га		Длина в преде- лах объекта, м	Обслуживаемая площадь в пре- делах объекта, га
кан. Днепр-Буг	25730	_	П-1-7	2922	208,8
кан. Поведский	10398	3742,2	П-1-7-1	329	_
кан. Ореховский	14603	_	П-1-7-2	587	
кан. Белозерский	6766	_	П-1-7-3	768	_
кан. Барсук	8942	4371,4	П-1-7-4	730	_
ДБ-1	7713	530,5	П-1-7-5	751	_
ДБ-2	3343	_	П-1-7-6	772	_
П-1-1	981	_	П-1-7-7	748	_
П-1-2	980	_	П-1-7-8	732	_
П-1-3	985	_	П-1-7-9	742	_
П-1-4	986	_	П-1-7-10	742	
П-1-5	1012	_	П-1-7-11	761	_
П-1-6	889	_	П-2	3725	_
Π-1	5477	1263,4	Бар-1	5349	_
П-3	5093	_	Бел-1	3581	509,6
П-3-1	901	_	Бел-2	3615	4368,6
Π-4	5419	_	ДБ-2-1	4536	451,3
Бел-3	7240	1679,5	O-1	2182	584,2
ДБ-3	6889	233,6			

Точечные объекты представлены километровыми знаками по водотокам, предназначенными для проведения изысканий по уточнению параметров и характеристик водотоков в рассматриваемых точках. Кроме того по результатам инструментальных измерений были определены координаты характерных точек гидрографической сети с записью информации об их высотном положении в Балтийской системе вертикальных координат (рисунок 2.5). Результаты нивелировки представлены отдельной таблицей подключенной к таблице атрибутивной информации слой промеров.

Таблица 2.3 – Результаты геодезических измерений ²

Идентификатор точки	Погрешность измерения	Дата, время измере- ния	Высоты, приведенные к Балтийской системе
1	0,009	04/18/2013 08:18:12	144,789
2	0,008	04/18/2013 08:18:40	145,109

 $^{^{1}}$ Принята локальная система кодировок

² Желтым фоном выделены точки с высокой погрешностью

3	0,009	04/18/2013 08:21:06	144,584
4	0,008	04/18/2013 08:22:30	144,366
5	0,008	04/18/2013 08:32:16	144,378
6	0,011	04/18/2013 08:45:50	148,323
7	0,014	04/18/2013 09:07:49	145,076
8	0,014	04/18/2013 09:09:27	145,128
9	0,016	04/18/2013 09:13:06	145,141
10	0,015	04/18/2013 09:29:39	145,069
11	0,015	04/18/2013 09:30:47	145,083
12	0,016	04/18/2013 09:35:05	144,89
13	0,014	04/18/2013 09:35:36	145,06
14	0,014	04/18/2013 09:39:45	145,054
15	0,207	04/18/2013 09:48:14	144,96
16	0,012	04/18/2013 09:48:53	146,71
17	0,009	04/18/2013 09:49:56	146,71
18	0,011	04/18/2013 09:52:12	145,151
19	0,012	04/18/2013 09:53:34	145,525
20	0,087	04/18/2013 09:55:05	145,296
21	0,012	04/18/2013 09:56:37	145,106
22	0,017	04/18/2013 10:59:59	144,315
23	0,018	04/18/2013 11:01:14	144,324
24	0,02	04/18/2013 11:04:16	144,568
25	0,017	04/18/2013 11:11:52	144,145
26	0,022	04/18/2013 11:12:29	144,361
27	0,036	04/18/2013 12:01:06	143,768
28	0,017	04/18/2013 12:22:17	142,615
29	0,016	04/18/2013 12:23:02	142,57
30	0,016	04/18/2013 12:27:03	142,823
31	0,018	04/18/2013 12:28:16	142,828
32	0,02	04/18/2013 13:32:27	143,25
33	0,015	04/18/2013 13:51:41	144,425
34	0,014	04/18/2013 13:53:31	144,414
35	0,015	04/18/2013 13:55:10	144,205
36	0,015	04/18/2013 14:12:02	144,038
37	0,014	04/18/2013 14:12:47	144,037
38	0,01	04/18/2013 14:50:06	143,833
39	0,01	04/18/2013 14:58:59	144,257
40	0,01	04/18/2013 15:00:00	144,478
41	0,029	04/18/2013 15:05:20	145,165
42	0,009	04/18/2013 15:09:14	145,055
43	0,01	04/18/2013 15:09:58	145,055
44	0,012	04/18/2013 15:40:53	144,285
45	0,009	04/18/2013 15:41:46	144,379
46	0,014	04/18/2013 15:56:02	142,544
47	0,011	04/18/2013 15:30:02	142,574
101	0,009	04/19/2013 10:00:30	145,489
102	0,000	04/19/2013 09:21:21	145,418
103	0,011	04/19/2013 10:06:52	145,419
103	0,011	UT/17/2013 10:00:32	173,717

104	0,008	04/19/2013 11:08:26	144,772
105	0,009	04/19/2013 11:40:12	145,335
106	0,01	04/19/2013 11:55:08	144,586
107	0,012	04/19/2013 11:56:04	146,228
108	0,011	04/19/2013 12:12:09	144,33
109	0,012	04/19/2013 12:12:54	144,021
110	0,021	04/19/2013 12:23:08	144,037
111	0,049	04/19/2013 12:23:51	143,782
112	0,012	04/19/2013 12:56:28	144,042
113	0,009	04/19/2013 12:57:49	143,97
114	0,01	04/19/2013 12:58:27	143,951
115	0,011	04/19/2013 13:06:34	142,998

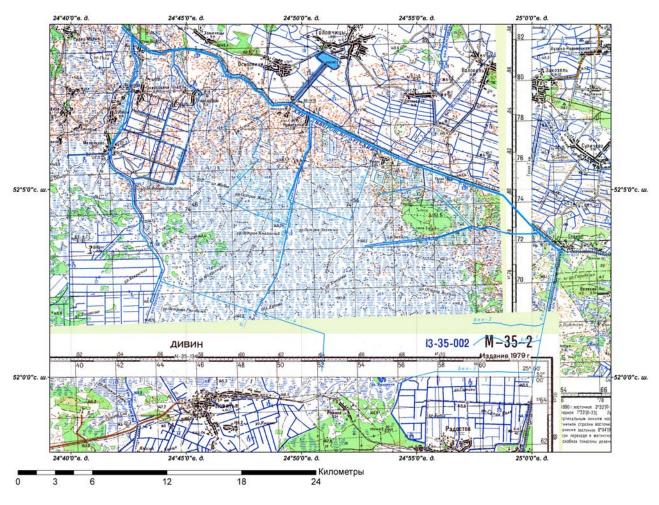


Рисунок 2.2 – Слой топографической информации

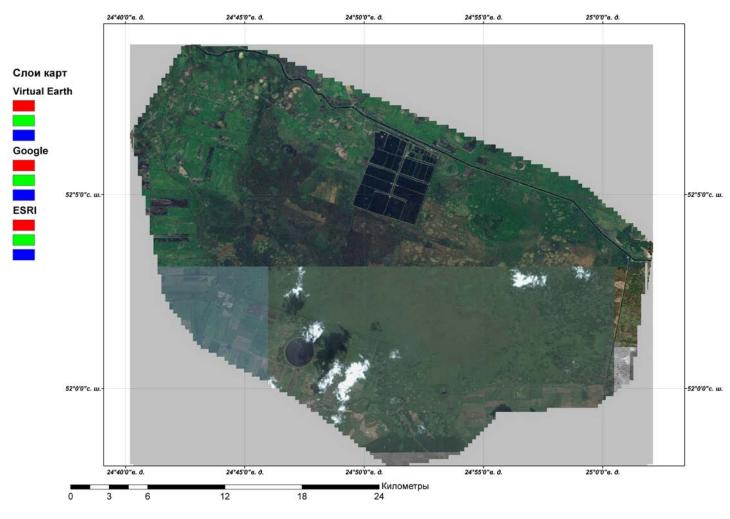


Рисунок 2.3 – Аэрокосмические фотоснимки

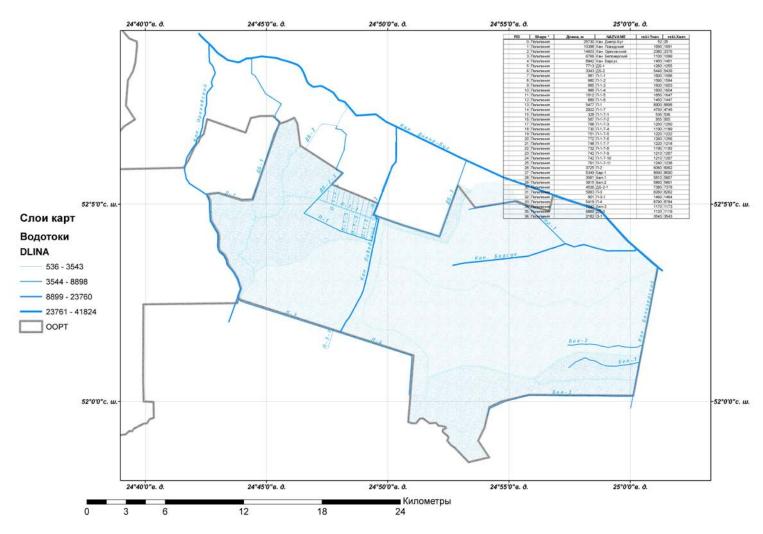


Рисунок 2.4 – Гидрографическая сеть

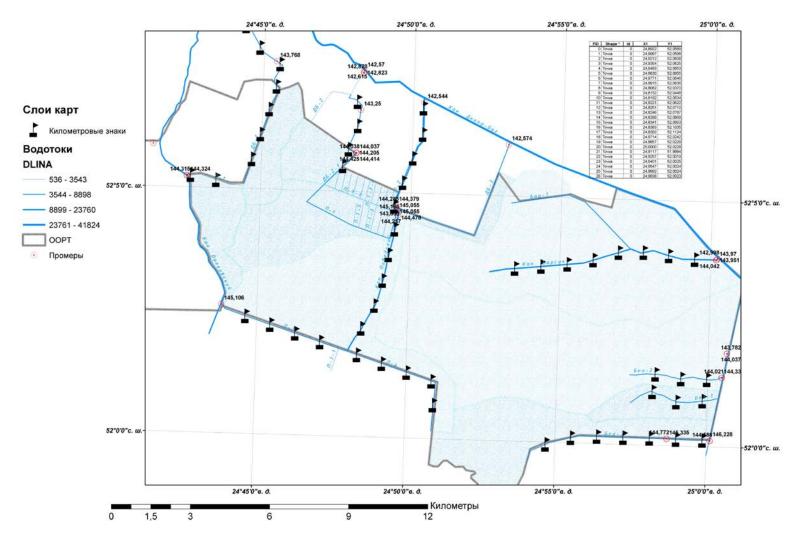


Рисунок 2.5 – Точечные объекты (километровые отметки, нивелировка)

2.2. Составить физико-математическую модель водного режима территории заказника с учетом влияния минеральных островов, торфа и кочек на движение воды через болото

Исходя из анализа водного режима исследуемой территории определена структура физико-математической модели движения водных масс по водотокам.

На основе анализа рельефных, гидрологических и гидрогеологических условий исследуемой территории определена структура физикоматематической модели движения водных масс. В этом случае предполагается, что движение поверхностных вод в маловодный период происходит в руслах существующих водотоков (таблица 2.2), а в период прохождения паводка или половодья движение водных масс происходит в руслах водотоков и вдоль их непосредственно по пойменной части водосбора.

При движении вода по пойме её гидравлические характеристики и сам расчетный расход рассматриваются отдельно. Незначительная не параллельность направлений стока воды в русле и на пойме учитывается показателем косины потока, который определяется на основе разработанной карты структуры поверхностного стока (рисунок 2.6). Так при величине угла α до 90 расход, формирующийся на пойме, прибавляется, а при величине α более 90° расход отнимается. Расчет расхода, м³/с, ведется по формуле:

$$Q = Q_{\text{DVC,I}} + Q_{\text{ПОЙМ}} \cdot \cos\alpha , \qquad (2.1)$$

где $Q_{\text{русл}}$ – расход воды в русловой части, м³/c; $Q_{\text{пойм}}$ – расход воды в пойменной части водотока, м³/c; α – угол между направлением стока в русле и на пойме.

Расход воды для русловой и пойменной частей вычисляется на основе уравнения Шези-Базена:

$$Q_{\text{русл/пойм}} = \omega_{\text{русл/пойм}} \frac{87}{1 + \frac{\gamma_{\text{русл/пойм}}}{\sqrt{R_{\text{русл/пойм}}}}} \sqrt{R_{\text{русл/пойм}} \cdot i} , \qquad (2.2)$$

где $\omega_{\text{русл/пойм}}$ — площадь живого сечения русловой/пойменной частей водотока, м 2 , $R_{\text{русл/пойм}}$ — гидравлический радиус русловой/пойменной частей водотока, м $\gamma_{\text{русл/пойм}}$ — коэффициент шероховатости по Базену русловой/пойменной частей водотока; i — средний уклон поверхности земли на расчетных интервалах.

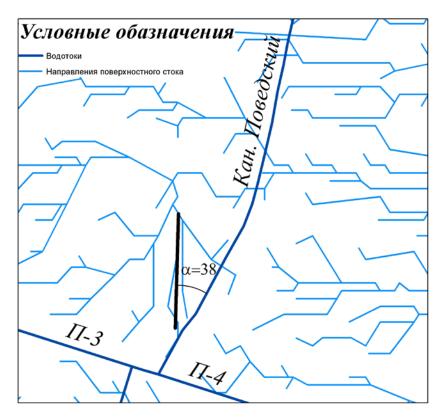


Рисунок 2.6 – Схема определения направления движения воды на пойме (канал Поведский ПК 0 – ПК 2)

Особенности применения уравнения (2.2) заключаются в необходимости выполнения натурных измерений поперечного профиля русла и поймы водотока. Расстояние между промерными створами зависит от решаемых задач. В случае необходимости моделирования положения кривой подпора или спада интервалы должны быть в пределах прогнозируемой её длинны. В общих случаях кривая подпора при уклонах водотока i менее критических $i_{\rm кр}$ составляет в пределах $1\dots 2$ км. Поэтому расстояние между расчетными створами принимается 1 км, что позволяет снизить влияние изменённого уровенного в ниже лежащих створах. При этом принятый шаг позволят учесть особенности увеличения площади водосбора по длине водотока. Используя дискретную функцию

$$F = f(L), (2.3)$$

отражающую зависимость площади водосбора F от расстояния до истока L, имеем возможность для любого пикета получить площадь водосбора.

Выполнив анализ условий формирования весеннего половодья для территории заказника «Званец» составлены гидрографы стока различной

обеспеченности (водности лет). Гидрографы весеннего половодья составлены по типовым графикам для данного гидрологического района. Дискретность гидрографов составляет 1 сутки (рисунок 2.7).

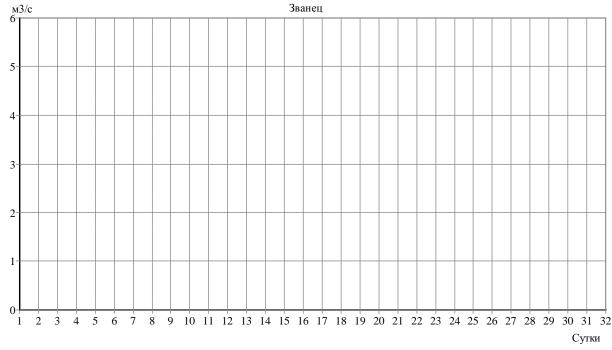


Рисунок 2.7 – Гидрограф весеннего половодья 10 % обеспечености для условного водосбора площадью 10 км²

Используя расчетные гидрографы аналогичные приведенному на рисунке 2.8 вычисляются среднесуточные модули стока $q_{\rm сут}$, $({\rm m}^3/{\rm c})/{\rm km}^2$, для соответствующих обеспеченностей. Таким образом, получаем дискретную функцию аналогичную (2.3) для расхода воды в водотоках по пикетам. Общий вид функции:

$$Q = f\left(L, q_{\text{cyr}}\right),\tag{2.4}$$

Для выполнения моделирования наполнения русла по формуле (2.2) необходимо получить статистическую зависимость отметки воды в расчетном створе от расхода воды, сформировавшегося выше по течению. Математическая обработка данных промеров поперечных сечений по пикетам выполняется по нижеописанному алгоритму.

Анализ современных методов математического моделирования показал, что для решения поставленной задачи наиболее приемлемыми являются имитационные и численные методы: метод Монте-Карло, численное интегрирование, итерационное решение уравнений и т. п.

Для определения средней глубины потока и его средней скорости для расходов воды различной обеспеченности в отдельном створе необходимо решить две отдельные задачи [8]:

- организовать временный (для разовых наблюдений) водомерный пост и измерить основные характеристики потока;
 - определить водность года исследуемого водотока.

Обустройству водомерного поста предшествует выбор участка реки и места для установки оборудования. Предварительно необходимо всесторонне ознакомиться с районом по литературным данными, архивным материалам и другим источникам, а также провести рекогносцировочное обследование реки.

Рекогносцировочное обследование производится не только в пределах значительно шире. Длина намеченного участка, a рекогносцировочного обследования определяется местными условиями и особенностями водного объекта. Рекогносцировка участка обычно выполняется во время летней межени, когда наилучшим образом можно охарактеризовать рельеф русла, поймы и берегов, растительность, грунты и т. п. Характеристика состояния реки в половодье и зимний период выявляется путем опроса местного населения.

На основе результатов стандартных гидрометрических работ определяются отметки характерных точек русла и поймы водотока, по которым строится поперечный профиль, и вычисляются площади поперечного сечения, смоченный периметр и гидравлический радиус для различной глубины наполнения [5]. При этом рекомендуется использовать расчетную формулу вычисления площади многоугольника вида

$$\omega = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} (x_i (y_{i+1} - y_{i-1})), \qquad (2.5)$$

$$\chi = \sum_{i=1}^{n-1} \sqrt{\left(x_i - x_{i+1}\right)^2 + \left(y_i - y_{i+1}\right)^2}$$
 (2.6)

где x_i и y_i – координаты i-той точки рассматриваемого многоугольника (см. рисунок 2.8), м;

n — количество точек многоугольника.

Приращение глубины принимается в зависимости от выраженности рельефа дна водотока, но рекомендуется принимать количество итераций $\tau > 50$, тогда $\Delta h = \frac{Y_{\rm max} - Y_{\rm min}}{\tau}$. Аналогично определяется зависимость смоченного периметра χ и гидравлического радиуса R.

Используя полученные массивы $\left[\omega,h_{\rm cp}\right]$ и $\left[R,h_{\rm cp}\right]$, выполняется оценка параметров регрессионной модели вида

$$\omega = \alpha_{\omega} \cdot (h_{\rm cp} - h_{\rm cp}^{\rm meas})^2 + \beta_{\omega} \cdot (h_{\rm cp} - h_{\rm cp}^{\rm meas}) + \omega^{\rm meas}, \qquad (2.7)$$

$$R = \beta_R \cdot (h_{\rm cp} - h_{\rm cp}^{\rm meas}) + R^{\rm meas}$$
 (2.8)

где α , β – константы регрессионного уравнения.

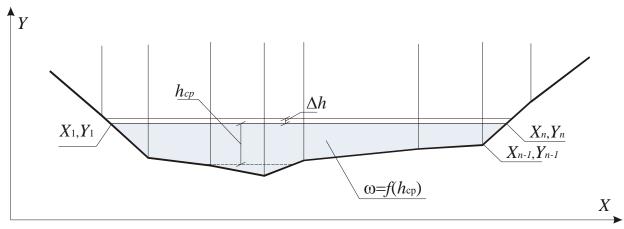


Рисунок 2.8 – Схема численной обработки данных промерных работ

Одновременно с обработкой данных гидрометрических измерений производится отслеживание прироста гидравлического радиуса с увеличением наполнения русла с целью определения момента затопления поймы водотока. Так как указывалось ранее, общий расход определяется суммой расхода на пойме и в русле, необходимо определять гидравлические характеристики подтока для каждой из частей в отдельности. Определение момента выхода воды на пойму осуществляется исходя из условия

$$R_{i-1} > R_i + \Delta h \frac{\tau}{10 + \frac{\tau}{5K \, 10}},$$
 (2.9)

где R_{i-1} , R_i – гидравлических радиус соответственно на i-1 итерации и

Определение зависимости площади живого сечения от средней глубины в форме функции вида (2.7) дает возможность численного решения уравнения Шези по средней глубине потока

$$Q_{P\%} = \omega_{P\%} C_{P\%} \sqrt{R_{P\%} i} , \qquad (2.10)$$

где $C_{P\%}$ – коэффициент Шези, м^{0,5}/с;

 $i = i_0$ — гидравлический уклон, при равномерном установившемся движении можно принять как средний уклон дна водотока (первое допущение);

Уравнение (2.10) можно записать как систему уравнений

$$\begin{cases} Q_{\text{P\%}} = \omega_{\text{P\%}} C_{\text{P\%}} \sqrt{R_{\text{P\%}} i} \\ \omega_{\text{P\%} \text{cp}} = \alpha_{\omega} \cdot h & {}^{2}_{\text{cp}} + \beta_{\omega} \cdot h & + \varphi_{\omega} \\ R_{\text{P\%} \text{cp}} = \alpha_{R} \cdot h & {}^{2}_{\text{cp}} + \beta_{R} \cdot h & + \varphi_{R} \cdot \\ C_{\text{P\%}} = \frac{R_{\text{P\%}}^{2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R_{\text{P\%}}} (\sqrt{n} - 0.1)}}{n} \end{cases}$$

$$(2.11)$$

Как видно из уравнения (2.11) имеем количество неизвестных больше чем количество уравнений. Исходя из этого, предполагаем (второе допущение), что измеренные значения гидравлических характеристик стока $Q_{\text{изм}}$, $R_{\text{изм}}$, $\omega_{\text{изм}}$, $C_{\text{изм}}$, i и искомая средняя глубина воды заданной обеспеченности относятся к одному гидрологическому сезону. Исходя из, этого можно определить шероховатость русла водотока, используя формулу Н.Н. Павловского [7, 9]

$$C_{_{\text{изм}}} = \frac{R_{_{\text{изм}}}^{2,5\sqrt{n}-0,13-0,75\sqrt{R_{_{\text{изм}}}}(\sqrt{n}-0,1)}}{n},$$
(2.12)

где $C_{_{\text{изм}}} = \frac{Q_{_{_{\text{изм}}}}}{\omega_{_{_{_{\text{изм}}}}}\sqrt{R_{_{_{_{\!\text{изм}}}}}i}}$ — коэффициент Шези [6], определяемый на основе

измеренных значений расхода и параметров поперечного сечения русла водотока, $M^{0,5}/c$.

Формула Н.Н. Павловского принята как наиболее устойчивая в условиях малых значений гидравлического радиуса. Аналогичная ей формула И.И. Агроскина дает зачастую отрицательные значения коэффициента Шези при малых гидравлических радиусах, и в нашем случае не применима.

Также необходимо отметить, что при численном решении уравнения (2.11) необходимо учитывать границы применимости регрессионных уравнений, то есть решение данного уравнения должно находиться в пределах $0 < h_{\rm cp\ P\%} < h_{\rm cp\ max}$. Так как экстраполяция данных зависимостей может привести к ошибочным результатам.

Описанные выше подходы и методы описания гидравлического режима открытых водотоков реализованы с помощью математического программирования в компьютерной программе Wolfram Mathematica 7. Код программы представлен в приложении A.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы разработана гидрологическая ГИС ландшафтного заказника «Званец», которая позволяет реализовать схему управления заказником в части оптимизации водного режима на болоте, способствующего сохранению популяции вертлявой камышевки. Разработанная методика позволяет выполнить расчеты расходов воды, проходящей в руслах водотоков на болоте и на пойме. В конечном итоге осуществляется переход от расходов воды к уровням воды в каналах и на пойме в различных пикетах. Обеспечение поддержания уровней воды на болоте в пределах контрольных отметок в различные гидрологические периоды будет соответствовать пропуску соответствующих установленных расходов через гидротехнические сооружения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Директива 2000/60/ЕС Европейского Парламента и Совета от 23 октября 2000 г. (Рамочная Водная Директива).
- 2. Шайтура, С.В. Геоинформационные системы и методы их создания / С.В. Шайтура. Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 1997. 253 с.
 - 3. ArcView GIS: Руководство пользователя. М.: МГУ, 1998. 365 с.
- 4. Волчек, А.А. Геоинформационная система гидрографической сети водосбора р. Западный Буг / А.А. Волчек, В. Соболевски, Н.Н. Шешко // Вестник Брестского гос. технического ун-та. 2009. № 2(56): Водохозяйственное строительство и теплотехника. С. 2—8.
- 5. Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. М.: Наука, 1986. 544 с.
- 6. Михневич, Э.И. Пропускная способность русел регулируемых рек и водоотводящих каналов / Э.И. Михневич // Природная среда Полесья: особенности и перспективы развития : сб. науч. тр. Вып. 1 : в 2 т. Т. 2. Водные ресурсы Полесья. Брест : Альтернатива, 2008. С. 38–41.
- 7. Скворцов, Л.С. Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения : учебник для вузов. М. : Архитектура-С, 2008. С. 120–123.
- 8. Учебная практика по гидрометрии : учеб. пособие для вузов по специальности «Мелиорация и вод. хоз-во» / А.А. Волчек [и др.]. Минск : Изд. центр Белорус. гос. ун-та, 2003. 306 с.
- 9. Чугаев, Р.Р. Гидравлика : учебник для вузов / Р.Р. Чугаев. Л. : Энергия, 1975. С. 145–147.

Приложение А

Таблица A.1 – Листинг программного кода алгоритма моделирования движения жидкости в открытых руслах

```
(*Kanrash[путь к файлу промеров поперечных сечений, путь к файлу площадей водосбора,
  подуль стока, гидравлические условия русла, число итераций, приток из вне]
 возвращает максимальный расход с учетом поймы в последнем расчетном сечении канала*)
Needs["PlotLegends`"];
Kanrash[PutPr_, PutPl_, q_, \gamma1_, iter_, Qvn_] := |data = Import[PutPr, "Data"][[1]];
  dataF = Import[PutPl, "Data"][[1]]; mm = Length[dataF[[1]]];
  m = Length[data]
  uslPoumy = 0;
  If mm = m,
   RezhcpP = Table[0, {i, 1, iter}]; RezhcpR = Table[0, {i, 1, iter}];
    us12 = 0; RezHR = Table[0, {i, 1, iter}]; RezHP = Table[0, {i, 1, iter}];
   mm1 = Length[data[[1]]];
   Table Q = Table [{0, 0}, {i, 1, iter}];
    Qizm = Qvn + q dataF[[2, k]]; RezHP = Table[{0, 0}, {i, 1, iter}];
     RezHR = Table[{0, 0}, {i, 1, iter}]; RezHhop = Table[{0, 0}, {i, 1, iter}];
     n = Length[data[[1 + (k-1) 3]]]; min = Min[data[[3 k]]]; max = Max[data[[3 k]]];
    pozMin = Position[data[[3k]], min][[1]];
     nscer = {0.4, 0.2, 0.15, 0.2, 0.4};
     \gamma = \{\gamma 1 \ 1.7, \ \gamma 1, \ \gamma 1 \ 0.8, \ \gamma 1 \ 0.9, \ \gamma 1 \ 1.6\};
     If k = 1, insm = \frac{\min[\text{data}[[3 \ k]]] - \min[\text{data}[[3 \ (k+1)]]]}{\min[\text{data}[[3 \ (k+1)]]]}
                            dataF[[1, k + 1]] - dataF[[1, k]]
      iusm = \frac{Min[data[[3 (k-1)]]] - Min[data[[3 (k+0)]]]}{[3 (k+0)]};
                     dataF[[1, k]] - dataF[[1, k - 1]]
     shag1 = (max - min) / iter; to4kaL = max; to4kaR = max;
     Table
      shag = shag1 j;
      (*определение точки пересечения*)
      to4kaL = {};
      to4kaR = {};
      s4etL = 1;
      (*подщет левых пересечений*)
      Table[If[data[k3, i]] >= min + shag > data[[3k, i+1]] && OddQ[s4etL] == True,
         to 4kaL = Append[to 4kaL, \{i, data[[k 3, i]]\}]; s 4etL = s 4etL + 2], \{i, 1, n - 1\}];
      (*подщет левых пересечений*)
      \label{lem:table_section} Table[If[data[[k\ 3,\ i]]\ < \mbox{min} + \mbox{shag} <= \mbox{data}[[3\ k,\ i+1]] \&\&\ Odd\ Q[s4etL] \ == \mbox{True}\,,
         to4kaR = Append[to4kaR, {i, data[[3k, i]]}]; s4etL = s4etL + 2], {i, 1, n - 1}];
      (*определение точек пересечения*)
      (*определение левых точек пересечения*)
      to4kaLcor = to4kaL;
```

```
Table[
 wect = {{data[[3k, to4kaL[[i, 1]]]], data[[1 + (k-1) 3, to4kaL[[i, 1]]]]},
   {data[[k 3, to4kaL[[i, 1]] + 1]], data[[1 + (k - 1) 3, to4kaL[[i, 1]] + 1]]}};
 lmL = NonlinearModelFit[wect, cx+bb, {bb, c}, x];
 to4kaLcor[[i]] = {min + shag, lmL[min + shag]}
 , {i, 1, Length[to4kaL]}];
(*определение правых точек пересечения*)
to4kaRcor = to4kaR;
Table[
 wect = \{ \{ data[[3k, to4kaR[[i, 1]]] \}, data[[1 + (k-1) 3, to4kaR[[i, 1]]]] \}, \}
   {data[[3k, to4kaR[[i, 1]] + 1]], data[[1 + (k - 1) 3, to4kaR[[i, 1]] + 1]]}};
 lmR = NonlinearModelFit[wect, cx+bb, {bb, c}, x];
 to4kaRcor[[i]] = {min + shag, lmR[min + shag]}
 , {i, 1, Length[to4kaR]}];
(*Расчет площади*)
ss = 0;
pp = 0;
11 = 0;
Table
 Segment = {to4kaLcor[[i]]};
 {j, to4kaL[[i, 1]] + 1, to4kaR[[i, 1]]}];
 Segment = Append[Segment, to4kaRcor[[i]]];
       1 (Length[Segment]-1
                       (Segment[[i, 2]] (Segment[[i+1, 1]] - Segment[[i-1, 1]])) +
      {\tt Segment[[1,2]] (Segment[[2,1]] - Segment[[Length[Segment],1]]) +} \\
      Segment[[Length[Segment], 2]] (Segment[[1, 1]] - Segment[[Length[Segment] - 1, 1]]) ;
 ss = ss + sss;
      \sum_{i=1}^{\text{Length[Segment]}-1} \left( \sqrt{\left( \left( \text{Segment[[i,2]] - Segment[[i+1,2]]} \right)^2 + \right)^2} \right)
         (Segment[[i, 1]] - Segment[[i+1, 1]])^{2}); pp = pp + ppp;
 111 = Segment[[Length[Segment], 2]] - Segment[[1, 2]];
 11 = 11 + 111;
 , {i, 1, Length[to4kaR]} ;
P = ss;
\chi = pp;
R = = ;
B = 11;
RezHR[[j]] = {min + shag, R}; RezHP[[j]] = {min + shag, P};
, {j, 1, iter}];
```

```
(*Определение точек перегиба*)
Peregib = {};
Corto4kaPeregibR = {};
Corto4kaPeregibL = {};
Corto4kaPeregib = {};
Corto4kaPeregibSmegnyeL = {};
Corto4kaPeregibSmegnyeR = {};
{\tt Table[If[RezHR[[j-1,2]] < RezHR[[j,2]] > RezHR[[j+1,2]],}
  Peregib = Append[Peregib, j]], {j, 1+1, iter-1}];
(*Определение координат точект перегиба*)
 shag = shag1 Peregib[[i]];
 (*определение точки пересечения*)
 to4kaL = {};
 to4kaR = {};
 s4etL = 1;
 (*подщет левых пересечений*)
 Table[If[data[k3, i]] >= min + shag > data[3k, i+1]] &&OddQ[s4etL] == True,
   to4kaL = Append[to4kaL, {i, data[[k3, i]]}]; s4etL = s4etL + 2], {i, 1, n - 1}];
 (*подщет левых пересечений*)
 \label{lem:table_state} Table[If[data[[k 3, i]] < min + shag <= data[[3 k, i + 1]] &&OddQ[s4etL] == True, \\
   to4kaR = Append[to4kaR, {i, data[[3k, i]]}]; s4etL = s4etL + 2], {i, 1, n - 1}];
 (*определение точек пересечения*)
 (*определение левых точек пересечения*)
 to4kaLcor = to4kaL;
 Table[
  wect = \{ \{ data[[3\,k,\,to4kaL[[i,\,1]]]] \,,\, data[[1+(\,k-1)\,\,3,\,to4kaL[[i,\,1]]]] \} \,,
    \{ data[[k\ 3,\ to\ 4kaL[[i,\ 1]]\ +\ 1]]\ ,\ data[[1+(k-1)\ 3,\ to\ 4kaL[[i,\ 1]]\ +\ 1]]\} \};
  lmL = NonlinearModelFit[wect, cx+bb, {bb, c}, x];
  to4kaLcor[[i]] = {min + shag, lmL[min + shag]}
  , {i, 1, Length[to4kaL]}];
 Corto4kaPeregibL = Append[Corto4kaPeregibL, to4kaLcor[[1]]];
 Corto4kaPeregibSmegnyeL = Append[Corto4kaPeregibSmegnyeL, wect];
 (*определение правых точек пересечения*)
 to4kaRcor = to4kaR;
  wect = \{ \{ data[[3k, to4kaR[[i, 1]]] \}, data[[1 + (k-1) 3, to4kaR[[i, 1]]]] \}, \}
    \{ \mathtt{data}[ \texttt{[3k, to4kaR[[i, 1]] + 1]], data[[1 + (k - 1) 3, to4kaR[[i, 1]] + 1]]} \};
  lmR = NonlinearModelFit[wect, cx+bb, {bb, c}, x];
  to4kaRcor[[i]] = {min + shag, lmR[min + shag]}
  , {i, 1, Length[to4kaR]}];
 ; Corto4kaPeregibR = Append[Corto4kaPeregibR, to4kaRcor[[1]]];
 Corto4kaPeregibSmegnyeR = Append[Corto4kaPeregibSmegnyeR, wect];
 , {j, 1, Length[Peregib]}];
Corto4kaPeregibL = Reverse[Corto4kaPeregibL];
Corto4kaPeregib = Join[Corto4kaPeregibL, Corto4kaPeregibR];
(*Разделение данных на несколько массивов*)
         (*Интеграция координат точек в исходную базу*)
dataObrab = data;
```

```
nomerTo4kiPereloma = {1};
Table [Table ]
    {\tt dataObrab = Insert[dataObrab, Corto4kaPeregib[[ij, 2]], \{1 + (k - 1) \ 3, \ j + 1\}];}
      {\tt dataObrab = Insert[dataObrab, Corto4kaPeregib[[ij, 1]], \{3 + (k - 1) \ 3, \ j + 1\}];}
      {\tt dataObrab = Insert[dataObrab, \, dataObrab[[3+(k-1)\ 3,\ 1]] - Corto4kaPeregib[[ij,\ 1]]}\ ,
           {2 + (k - 1) 3, j + 1}; nomerTo4kiPereloma = Append[nomerTo4kiPereloma, j + 1],
    \label{eq:continuous} $\{j, 1, Length[dataObrab[[1+(k-1) 3]]] - 1\}], \{ij, 1, Length[Corto4kaPeregib]\}]; $$
nomerTo4kiPereloma = Append[nomerTo4kiPereloma, Length[dataObrab[[1 + (k - 1) 3]]]];
(*Создание отдельных баз данных *)
qw = Take[dataObrab, {1 + (k - 1) 3, 3 + (k - 1) 3}];
                                kwrem = 1;
Table RezHP = Table [{0, 0}, {i, 1, iter}];
  RezHR = Table[{0, 0}, {i, 1, iter}]; RezHhcp = Table[{0, 0}, {i, 1, iter}];
   qw1 = Take[qw, \{1, Length[qw]\}, \{nomerTo4kiPereloma[[jk]], nomerTo4kiPereloma[[jk+1]]\}]; \\
                          If [jk = 1, nc = Length [qw1[[1]]];
    qw1 = Insert[qw1, qw1[[1, nc]], {1, nc+1}];
    qw1 = Insert[qw1, 0, {2, nc+1}];
    qw1 = Insert[qw1, dataObrab[[3 + (k-1) 3, 1]], {3, nc + 1}]];
                          If[jk = Length[nomerTo4kiPereloma] - 1, nc = Length[qw1[[1]]];
    qw1 = Insert[qw1, qw1[[1, 1]], {1, 1}];
    qw1 = Insert[qw1, 0, {2, 1}];
    qw1 = Insert[qw1, dataObrab[[3 + (k - 1) 3, 1]], {3, 1}]];
  If[1 # jk && jk # Length[nomerTo4kiPereloma] - 1, nc = Length[qw1[[1]]];
    qw1 = Insert[qw1, qw1[[1, 1]], {1, 1}];
    qw1 = Insert[qw1, 0, {2, 1}];
    qw1 = Insert[qw1, dataObrab[[3 + (k - 1) 3, 1]], {3, 1}];
    qw1 = Insert[qw1, qw1[[1, nc+1]], {1, nc+2}];
    qw1 = Insert[qw1, 0, {2, nc+2}];
    qw1 = Insert[qw1, dataObrab[[3 + (k-1) 3, 1]], {3, nc + 2}];
  1;
  n = Length[qw1[[1]]]; minData = min;
          min1 = Min[qw1[[3]]]; max = Max[qw1[[3]]];
  pozMin = Position[qw1[[3]], min1][[1]];
  to4kaL = max; to4kaR = max;
  \label{eq:RezHP}  \mbox{RezHP = Table[{0,0},{i,1,iter}]; RezHP = Table[{0,0},{i,1,iter}]; }
  Table
    shag = shag1 j;
    (*определение точки пересечения*)
    to4kaL = {};
    to4kaR = {};
    s4etL = 1;
     (*подщет левых пересечений*)
    \label{lem:table_stable} Table[If[qw1[[3, i]] >= minData + shag > qw1[[3, i+1]] && OddQ[s4etL] == True, \\
        to4kaL = Append[to4kaL, {i, qw1[[3, i]]}]; s4etL = s4etL + 2], {i, 1, n - 1}];
     (*подщет левых пересечений*)
     \label{lem:table in the continuous contin
```

```
to4kaR = Append[to4kaR, {i, qw1[[3, i]]}]; s4etL = s4etL + 2], {i, 1, n - 1}];
(*определение точек пересечения*)
(*определение левых точек пересечения*)
to4kaLcor = to4kaL:
Table[
 wect = {{qw1[[3, to4kaL[[i, 1]]]], qw1[[1 + (1-1) 3, to4kaL[[i, 1]]]]},
     \{qw1[[1\times 3, \, to4kaL[[i,\,1]]\,+1]]\,,\, qw1[[1+(1-1)\,3,\, to4kaL[[i,\,1]]\,+1]]\}\}; 
 lmL = NonlinearModelFit[wect, cx+bb, {bb, c}, x];
 to4kaLcor[[i]] = {minData + shag, lmL[minData + shag]}
 , {i, 1, Length[to4kaL]}];
(*определение правых точек пересечения*)
to4kaRcor = to4kaR;
 \texttt{wect} = \{ \{qw1[[3 \times 1, \ to4kaR[[i, 1]]]], \ qw1[[1 + (1 - 1) \ 3, \ to4kaR[[i, 1]]]] \}, \}
   \{qw1[[3\times1, to4kaR[[i, 1]] + 1]], qw1[[1 + (1-1) 3, to4kaR[[i, 1]] + 1]]\}\};
 lmR = NonlinearModelFit[wect, cx+bb, {bb, c}, x];
 to4kaRcor[[i]] = {minData + shag, lmR[minData + shag]}
 , {i, 1, Length[to4kaR]}];
(*Расчет площади*)
ss = 0;
pp = 0;
11 = 0;
Table
 Segment = {to4kaLcor[[i]]};
  \label{thm:condition} Table[Segment = Append[Segment, \{qw1[[3 \times 1, j]], qw1[[1 + (1 - 1) 3, j]]\}], \\
 {j, to4kaL[[i, 1]] + 1, to4kaR[[i, 1]]}];
 Segment = Append[Segment, to4kaRcor[[i]]];
 sss = \frac{1}{2} \left( \sum_{i=2}^{\text{Length[Segment]-1}} \right)
                         (Segment[[i, 2]] (Segment[[i+1, 1]] - Segment[[i-1, 1]])) +
      {\tt Segment[[1,2]] (Segment[[2,1]] - Segment[[Length[Segment],1]]) + Segment[[}
         Length[Segment], 2]] (Segment[[1, 1]] - Segment[[Length[Segment] - 1, 1]]) |;
 ss = ss + sss;
                   \sqrt{\left(\text{Segment}[[i,2]] - \text{Segment}[[i+1,2]]\right)^2} +
         (Segment[[i, 1]] - Segment[[i+1, 1]])^{2});
 pp = pp + ppp;
 111 = Segment[[Length[Segment], 2]] - Segment[[1, 2]];
 11 = 11 + 111;
, {i, 1, Length[to4kaR]} ;
P = ss;
\chi = pp;
If[pp = 0, R = 0, R = \frac{ss}{pp}];
B = 11;
```

```
If \left[B = 0, RezHhcp[[j]] = \{minData + shag, 0\}, RezHhcp[[j]] = \{minData + shag, \frac{P}{P}\}\right];
         RezHR[[j]] = {minData + shag, R}; RezHP[[j]] = {minData + shag, P};
         , {j, 1, iter}];
       Q3 = Table \left[ \left\{ \text{RezHP}[[i, 1]], \text{RezHP}[[i, 2]] \right\} \right] \frac{87 \sqrt{\text{RezHR}[[i, 2]] \text{ indsm}}}{1 + \frac{\gamma([jk])}{\sqrt{10^{-15} + \text{RezHR}[[i, 2]]}}} \right\}, \{i, 1, iter\} \right];
       nscer = Table \left[\frac{\sqrt{\text{RezHhcp}[[i,2]]} + \gamma[[jk]]}{87\sqrt[3]{\text{RezHhcp}[[i,2]] + 10^{-15}}}, \{i, 1, iter\}\right];
        (*Q2=Table[{RezHP[[i,1]]},
             RezHP[[i,2]] = \frac{1}{nscer[[i]]} RezHhcp[[i,2]]^{2.5\sqrt{nscer[[i]]}-0.13-0.75\sqrt{RezHhcp[[i,2]]}} \left[\sqrt{nscer[[i]]}-0.1\right]
               \sqrt{\text{RezHhcp}[[i,2]]} іизм \},\{i,1,iter\}];*)
       Table[Q[[i, 2]] = Q[[i, 2]] + Q3[[i, 2]], {i, 1, iter}];
       (*Table[Q1[[i,2]]=Q1[[i,2]]+Q2[[i,2]],\{i,1,iter\}];*)\\
        , {jk, 1, Length[nomerTo4kiPereloma] - 1} ;
      Table[Q[[i, 1]] = RezHP[[i, 1]], {i, 1, iter}];
      us1 = 0;
      hh = Q[[iter - 1, 2]];
      (*Table[Q1[[i,1]]=RezHP[[i,1]],\{i,1,iter\}];Print[ListPlot[\{Q,Q1\}]]*)
      , {k, m, m}
     , Print["Число пикетов больше либо меньше числа промерных створов"]];
   hh
Kanpov[PutPr_, PutPl_, q_, γl_, iter_, Qvn_] := data = Import[PutPr, "Data"][[1]];
   dataF = Import[PutPl, "Data"][[1]]; mm = Length[dataF[[1]]];
       Length[data]
           3
   uslPoumy = 0;
   If mm == m,
    hh = {};
    RezhcpP = Table[0, {i, 1, iter}]; RezhcpR = Table[0, {i, 1, iter}];
```

```
us12 = 0; RezHR = Table[0, {i, 1, iter}]; RezHP = Table[0, {i, 1, iter}];
mm1 = Length[data[[1]]];
Table Q = Table[{0, 0}, {i, 1, iter}];
 Qizm = Qvn + q dataF[[2, k]]; RezHP = Table[{0, 0}, {i, 1, iter}];
 RezHR = Table[{0, 0}, {i, 1, iter}]; RezHhcp = Table[{0, 0}, {i, 1, iter}];
 n = Length[data[[1 + (k-1) 3]]]; min = Min[data[[3 k]]]; max = Max[data[[3 k]]];
 pozMin = Position[data[[3k]], min][[1]];
 nscer = {0.4, 0.2, 0.15, 0.2, 0.4};
 \gamma = \{\gamma 1 1.7, \gamma 1, \gamma 1 0.8, \gamma 1 0.9, \gamma 1 1.6\};
 If k = 1, insm = \frac{\min[\text{data}[[3 \ k]]] - \min[\text{data}[[3 \ (k+1)]]]}{\frac{1}{2}}
                         dataF[[1, k + 1]] - dataF[[1, k]]
         Min[data[[3 (k-1)]]] - Min[data[[3 (k+0)]]] ;
                  dataF[[1, k]] - dataF[[1, k-1]]
 shag1 = (max - min) / iter; to4kaL = max; to4kaR = max;
 Table
  shag = shag1 j;
  (*определение точки пересечения*)
  to4kaL = {};
  to4kaR = {};
  s4etL = 1;
   (*подщет левых пересечений*)
  {\tt Table[If[data[k3,i]] >= min + shag > data[[3k,i+1]] \&\&OddQ[s4etL] == True,}
     to4kaL = Append[to4kaL, {i, data[[k3, i]]}]; s4etL = s4etL + 2], {i, 1, n - 1}];
   (*подщет левых пересечений*)
  \label{lem:table_state} Table[If[data[[k\ 3,\ i]]\ < \min + shag <= data[[3\ k,\ i+1]]\ \&\&\ OddQ[s4etL] \ == \ True,
     to4kaR = Append[to4kaR, {i, data[[3k, i]]}]; s4etL = s4etL + 2], {i, 1, n - 1}];
   (*определение точек пересечения*)
   (*определение левых точек пересечения*)
  to4kaLcor = to4kaL;
   wect = \{ \{ data[[3k, to4kaL[[i, 1]]]], data[[1 + (k-1)3, to4kaL[[i, 1]]]] \}, \}
      {data[[k3, to4kaL[[i, 1]] + 1]], data[[1 + (k-1) 3, to4kaL[[i, 1]] + 1]]}};
   lmL = NonlinearModelFit[wect, cx+bb, {bb, c}, x];
   to4kaLcor[[i]] = {min + shag, lmL[min + shag]}
    , {i, 1, Length[to4kaL]}];
   (*определение правых точек пересечения*)
  to4kaRcor = to4kaR;
   \texttt{wect} = \{ \{ \texttt{data}[[3\,k,\, \texttt{to4kaR}[[i,\, 1]]]] \,,\, \texttt{data}[[1 + (\,k - 1)\,\, 3,\, \texttt{to4kaR}[[i,\, 1]]]] \} \,,
      {data[[3k, to4kaR[[i, 1]] + 1]], data[[1 + (k - 1) 3, to4kaR[[i, 1]] + 1]]}};
   lmR = NonlinearModelFit[wect, cx + bb , {bb, c}, x];
   to4kaRcor[[i]] = {min + shag, lmR[min + shag]}
   , {i, 1, Length[to4kaR]}];
   (*Расчет площади*)
  ss = 0;
  pp = 0;
  11 = 0;
```

```
Table
  Segment = {to4kaLcor[[i]]};
  Table[Segment = Append[Segment, \{data[[3k, j]], data[[1+(k-1)3, j]]\}],\\
   {j, to4kaL[[i, 1]] + 1, to4kaR[[i, 1]]}];
  Segment = Append[Segment, to4kaRcor[[i]]];
  sss = \frac{1}{2} \left( \sum_{i=2}^{Length[Segment]-1} \right)
                        (Segment[[i, 2]] (Segment[[i+1, 1]] - Segment[[i-1, 1]])) +
       Segment[[1, 2]] (Segment[[2, 1]] - Segment[[Length[Segment], 1]]) +
       Segment[[Length[Segment], 2]] (Segment[[1, 1]] - Segment[[Length[Segment] - 1, 1]]) ;
  ss = ss + sss;
       Length [Segment] -1
                  (\sqrt{(Segment[[i,2]] - Segment[[i+1,2]])^2} +
          (Segment[[i, 1]] - Segment[[i+1, 1]])^{2}); pp = pp + ppp;
  111 = Segment[[Length[Segment], 2]] - Segment[[1, 2]];
  11 = 11 + 111;
  , {i, 1, Length[to4kaR]} ;
 P = ss:
 x = pp;
 R = = ;
 B = 11:
 RezHR[[j]] = {min + shag, R}; RezHP[[j]] = {min + shag, P};
 , {j, 1, iter} ;
(*Определение точек перегиба*)
Peregib = {};
Corto4kaPeregibR = {};
Corto4kaPeregibL = {};
Corto4kaPeregib = {};
Corto4kaPeregibSmegnyeL = {};
Corto4kaPeregibSmegnyeR = {};
{\tt Table[If[RezHR[[j-1,\,2]] < RezHR[[j,\,2]] > RezHR[[j+1,\,2]],}
  Peregib = Append[Peregib, j]], {j, 1+1, iter-1}];
(*Определение координат точект перегиба*)
 shag = shag1 Peregib[[j]];
 (*определение точки пересечения*)
 to4kaL = {};
 to4kaR = {};
 s4etL = 1;
 (*подщет левых пересечений*)
 Table [If [data[k3, i]] >= min + shag > data[3k, i+1]] && OddQ[s4etL] == True,
   to4kaL = Append[to4kaL, {i, data[[k3, i]]}]; s4etL = s4etL + 2], {i, 1, n - 1}];
```

```
(*подщет левых пересечений*)
  {\tt Table[If[data[[k\ 3,\ i]]<\min+shag<=\ data[[3\ k,\ i+1]]\ \&\&\ OddQ[s4etL]==\ True,}
       to4kaR = Append[to4kaR, {i, data[[3k, i]]}]; s4etL = s4etL + 2], {i, 1, n - 1}];
   (*определение точек пересечения*)
   (*определение левых точек пересечения*)
  to4kaLcor = to4kaL:
  Table
    wect = \{ \{ data[[3k, to4kaL[[i, 1]]] \}, data[[1 + (k-1)3, to4kaL[[i, 1]]]] \}, \}
         {data[[k3, to4kaL[[i, 1]] + 1]], data[[1 + (k-1) 3, to4kaL[[i, 1]] + 1]]}};
    lmL = NonlinearModelFit[wect, cx+bb, {bb, c}, x];
    to4kaLcor[[i]] = {min + shag, lmL[min + shag]}
     , {i, 1, Length[to4kaL]}];
  Corto4kaPeregibL = Append[Corto4kaPeregibL, to4kaLcor[[1]]];
  Corto4kaPeregibSmegnyeL = Append[Corto4kaPeregibSmegnyeL, wect];
  (*определение правых точек пересечения*)
  to4kaRcor = to4kaR;
    wect = \{ \{ data[[3k, to4kaR[[i, 1]]] \}, data[[1 + (k-1) 3, to4kaR[[i, 1]]]] \}, \}
         \{ \mathtt{data}[[3\,k,\,\mathtt{to4kaR}[[i,\,1]]\,+\,1]]\,,\,\mathtt{data}[[1\,+\,(\,k\,-\,1)\,\,3,\,\mathtt{to4kaR}[[i,\,1]]\,+\,1]] \} \}\,;
    lmR = NonlinearModelFit[wect, cx+bb, {bb, c}, x];
    to4kaRcor[[i]] = {min + shag, lmR[min + shag]}
    , {i, 1, Length[to4kaR]}];
  ; Corto4kaPeregibR = Append[Corto4kaPeregibR, to4kaRcor[[1]]];
  Corto4kaPeregibSmegnyeR = Append[Corto4kaPeregibSmegnyeR, wect];
  , {j, 1, Length[Peregib]}];
Corto4kaPeregibL = Reverse[Corto4kaPeregibL];
Corto4kaPeregib = Join[Corto4kaPeregibL, Corto4kaPeregibR];
(*Разделение данных на несколько массивов*)
                  (*Интеграция координат точек в исходную базу*)
dataObrab = data;
nomerTo4kiPereloma = {1};
Table[Table[
    If[dataObrab[[1 + (k-1) 3, j]] < Corto4kaPeregib[[ij, 2]] <= dataObrab[[1 + (k-1) 3, j + 1]],
       dataObrab = Insert[dataObrab, Corto4kaPeregib[[ij, 1]], {3 + (k - 1) 3, j + 1}];
       dataObrab = Insert[dataObrab, dataObrab[[3 + (k - 1) 3, 1]] - Corto4kaPeregib[[ij, 1]],
            \{2 + (k-1) \ 3, \ j+1\}\}; nomerTo4kiPereloma = Append[nomerTo4kiPereloma, j+1]],
     {j, 1, Length[dataObrab[[1 + (k - 1) 3]]] - 1}], {ij, 1, Length[Corto4kaPeregib]}];
nomerTo4kiPereloma = Append[nomerTo4kiPereloma, Length[dataObrab[[1 + (k - 1) 3]]]];
(*Создание отдельных баз данных *)
qw = Take[dataObrab, {1 + (k-1) 3, 3 + (k-1) 3}];
Table RezHP = Table[{0, 0}, {i, 1, iter}];
  \label{eq:RezHR}  \mbox{\tt RezHR} = \mbox{\tt Table}[\{0\,,\,0\}\,,\,\{i\,,\,1\,,\,iter\}]\,; \\  \mbox{\tt RezHhcp} = \mbox{\tt Table}[\{0\,,\,0\}\,,\,\{i\,,\,1\,,\,iter\}]\,; \\  \mbox{\tt Table}[\{0\,,\,0\}\,,\,\{i\,,\,1\,,\,iter
   qw1 = Take[qw, \{1, Length[qw]\}, \{nomerTo4kiPereloma[[jk]], nomerTo4kiPereloma[[jk+1]]\}]; \\
                          If[jk = 1, nc = Length[qw1[[1]]];
```

```
qw1 = Insert[qw1, qw1[[1, nc]], {1, nc+1}];
 qw1 = Insert[qw1, 0, {2, nc + 1}];
 qw1 = Insert[qw1, dataObrab[[3 + (k - 1) 3, 1]], {3, nc + 1}]];
              If[jk == Length[nomerTo4kiPereloma] - 1, nc = Length[qw1[[1]]];
 qw1 = Insert[qw1, qw1[[1, 1]], {1, 1}];
 qw1 = Insert[qw1, 0, {2, 1}];
 qw1 = Insert[qw1, dataObrab[[3 + (k - 1) 3, 1]], {3, 1}]];
If[1 # jk && jk # Length[nomerTo4kiPereloma] - 1, nc = Length[qw1[[1]]];
 qw1 = Insert[qw1, qw1[[1, 1]], {1, 1}];
 qw1 = Insert[qw1, 0, {2, 1}];
 qw1 = Insert[qw1, dataObrab[[3 + (k - 1) 3, 1]], {3, 1}];
 qw1 = Insert[qw1, qw1[[1, nc+1]], {1, nc+2}];
 qw1 = Insert[qw1, 0, {2, nc + 2}];
 qw1 = Insert[qw1, dataObrab[[3 + (k - 1) 3, 1]], {3, nc + 2}];
];
n = Length[qw1[[1]]]; minData = min;
     min1 = Min[qw1[[3]]]; max = Max[qw1[[3]]];
pozMin = Position[qw1[[3]], min1][[1]];
to4kaL = max; to4kaR = max;
RezHR = Table[{0, 0}, {i, 1, iter}]; RezHP = Table[{0, 0}, {i, 1, iter}];
Table
 shag = shag1 j;
 (*определение точки пересечения*)
 to4kaL = {};
 to4kaR = {};
 s4etL = 1;
 (*подщет левых пересечений*)
 Table[If[qw1[[3, i]] >= minData + shag > qw1[[3, i+1]] &&OddQ[s4etL] == True,
    to4kaL = Append[to4kaL, {i, qw1[[3, i]]}]; s4etL = s4etL + 2], {i, 1, n - 1}];
  (*подщет левых пересечений*)
 \label{eq:table_state} Table[If[qw1[[3, i]] < minData + shag <= qw1[[3, i+1]] && OddQ[s4etL] == True, \\
    to4kaR = Append[to4kaR, {i, qw1[[3, i]]}]; s4etL = s4etL + 2], {i, 1, n - 1}];
  (*определение точек пересечения*)
  (*определение левых точек пересечения*)
 to4kaLcor = to4kaL;
 Table[
  wect = \{ \{qw1[[3, to4kaL[[i, 1]]]], qw1[[1 + (1-1)3, to4kaL[[i, 1]]]] \},
      \{qw1[[1\times 3, \ to4kaL[[i,\ 1]]\ +1]]\ ,\ qw1[[1+(1-1)\ 3,\ to4kaL[[i,\ 1]]\ +1]]\}\}; 
  lmL = NonlinearModelFit[wect, cx+bb, {bb, c}, x];
   to4kaLcor[[i]] = {minData + shag, lmL[minData + shag]}
   , {i, 1, Length[to4kaL]}];
 (*определение правых точек пересечения*)
 Table[
  \texttt{wect} = \{ \{ \texttt{qw1}[[\texttt{3} \times \texttt{1}, \, \texttt{to4kaR}[[\texttt{i},\, \texttt{1}]]]] \,, \, \texttt{qw1}[[\texttt{1} + (\, \texttt{1} - \texttt{1}) \,\, \texttt{3}, \, \texttt{to4kaR}[[\texttt{i},\, \texttt{1}]]]] \} \,,
      \{qw1[[3\times 1, \ to4kaR[[i,1]]+1]], \ qw1[[1+(1-1)3, \ to4kaR[[i,1]]+1]]\}\}; 
  lmR = NonlinearModelFit[wect, cx+bb, {bb, c}, x];
   to4kaRcor[[i]] = {minData + shag, lmR[minData + shag]}
   , {i, 1, Length[to4kaR]}];
```

```
(*Расчет площади*)
         ss = 0:
        pp = 0;
         11 = 0;
         Table
                Segment = {to4kaLcor[[i]]};
               Table [Segment = Append[Segment, \{qw1[[3 \times 1, j]], qw1[[1 + (1-1)3, j]]\}],
                    {j, to4kaL[[i, 1]] + 1, to4kaR[[i, 1]]}];
                Segment = Append[Segment, to4kaRcor[[i]]];
              sss = \frac{1}{2} \left( \sum_{i=2}^{Length[Segment]-1} (Segment[[i, 2]] (Segment[[i+1, 1]] - Segment[[i-1, 1]])) + \frac{1}{2} \left( \sum_{i=2}^{Length[Segment]-1} (Segment[[i, 2]] (Segment[[i+1, 1]] - Segment[[i+1, 1]])) + \frac{1}{2} \left( \sum_{i=2}^{Length[Segment]-1} (Segment[[i+1, 2]] (Segment[[i+1, 1]] - Segment[[i+1, 1]]) \right) + \frac{1}{2} \left( \sum_{i=2}^{Length[Segment]-1} (Segment[[i+1, 2]] - Segment[[i+1, 2]] \right) \right)
                                           Segment[[1, 2]] (Segment[[2, 1]] - Segment[[Length[Segment], 1]]) + Segment[[
                                                        Length[Segment], 2]] (Segment[[1, 1]] - Segment[[Length[Segment] - 1, 1]]) |;
              ppp = \sum_{i=1}^{Length[Segment]-1} (\sqrt{(Segment[[i, 2]] - Segment[[i+1, 2]])^2 + (\sqrt{(Segment[[i, 2]] - Segment[[i+1, 2]])^2 + (\sqrt{(Segment[[i, 2]] - Segment[[i+1, 2]])^2 + (\sqrt{(Segment[[i, 2]) - Segment[[i+1, 2]])^2 + (\sqrt{(Segment[[i+1]) - Segment[[i+1])^2 + 
                                                          (Segment[[i, 1]] - Segment[[i+1, 1]])^{2}));
              pp = pp + ppp;
               111 = Segment[[Length[Segment], 2]] - Segment[[1, 2]];
               11 = 11 + 111;
              , {i, 1, Length[to4kaR]}];
        P = ss;
        If \left[ pp = 0, R = 0, R = \frac{ss}{pp} \right];
        If\left[B = 0, RezHhcp[[j]] = \left\{minData + shag, 0\right\}, RezHhcp[[j]] = \left\{minData + shag, \frac{P}{R}\right\}\right];
         RezHR[[j]] = {minData + shag, R}; RezHP[[j]] = {minData + shag, P};
         , {j, 1, iter}];
Q3 = Table \left[\left\{\text{RezHP[[i, 1]], RezHP[[i, 2]]} \frac{87\sqrt{\text{RezHR[[i, 2]] insm}}}{1 + \frac{\gamma([jk])}{\sqrt{10^{-15} + \text{RezHR[[i, 2]]}}}}\right\}, \{i, 1, iter\}\right];
nscer = Table \left[\frac{\sqrt{\text{RezHhcp}[[i, 2]]} + \gamma[[jk]]}{87\sqrt[3]{\text{RezHhcp}[[i, 2]]} + 10^{-15}}, \{i, 1, iter\}\right];
   (*Q2=Table[{RezHP[[i,1]],
                            RezHP[[i,2]] = \frac{1}{nscer[[i]]} RezHhcp[[i,2]]^{2.5\sqrt{nscer[[i]]}-0.13-0.75\sqrt{RezHhcp[[i,2]]}} = \left(\sqrt{nscer[[i]]}-0.1\right) + \frac{1}{nscer[[i]]} \left(\sqrt{nscer[[i]]}-0.1\right)
```

```
\[ \text{RezHhcp[[i,2]] iмэм} \], \{i,1,iter} \]; *\)

Table[Q[[i,2]] = Q[[i,2]] + Q3[[i,2]], \{i,1,iter}]; \( \*Table[Q1[[i,2]] = Q1[[i,2]] + Q2[[i,2]], \{i,1,iter}]; *\)

, \{jk, 1, Length[nomerTo4kiPereloma] - 1\} \];

Table[Q[[i, 1]] = RezHP[[i, 1]], \{i, 1, iter}]; \text{usl = 0;} \( (*Table[Q1[[i,1]] = RezHP[[i,1]], \{i,1,iter}]; \text{Print[ListPlot[{Q,Q1}]]*}) \)

Table[

If[Q[[i,2]] > Qizm,

H = Q[[i,1]]; usl = 1; \omega = RezHP[[i,2]];

R = RezHR[[i,2]]; hh = Append[hh, \{k, \mathbf{k}\}]; \text{Goto[End1]} \]

], \{i, 1, iter}\}; If[usl = 0, hh = Append[hh, \{k, \mathbf{Q}[[iter, 1]] + 2\}]\}, \text{Label[End1]};

, \{k, 1, \mathbf{m}\}

, \text{Print["Число пикетов больше либо меньше числа промерных створов"]};
```