

МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД УЧАСТКОВ ПОВТОРНОГО ЗАБОЛАЧИВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА»

ВОЛЧЕК А.А., ШЕШКО Н.Н.

УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест

The article presents the results of studies of the water balance of individual sections of Belovezhskaya Pushcha. The adjustment of the water balance equation parameters of the simulated sections was implemented according to the measurements of groundwater levels. The simulation results made it possible to evaluate the structure of the input and output parts of the water balance equation. The article gives the parameters for the development of an observation network for groundwater levels.

ВВЕДЕНИЕ

Национальный парк «Беловежская пушча» является уникальным природным объектом, расположенным в центре Европы, и наша задача сохранить его в естественном виде. Современное потепление климата оказывает влияние на экосистемы Беловежской пушчи, кроме того, антропогенные воздействия (строительство водохранилищ и прудов, мелиоративных систем и др. как непосредственно на территории пушчи, так на прилегающих территориях), векторы воздействия которые в одних случаях совпадают, что усиливает влияние, в других носят разнонаправленный характер, что приводит к взаимной компенсации.

Главным фактором, влияющим на развитие природных экосистем, является характер климата, в частности, метеорологические и гидрологические условия [1, 2, 10]. Если в управлении метеорологическими факторами человечество еще слабо продвинулось, то в воздействии на водный режим территорий достигнуты значительные результаты, и не всегда положительные. Поэтому при ренатурализации природных объектов нам доступно управление водным режимом территории по той или иной схеме.

Территория Беловежской пушчи расположена на Прибужской равнине, которая характеризуется обширными равнинами и заболоченными территориями, поэтому водный режим определяется уровнями грунтовых вод (УГВ). В этой связи встает вопрос: а какими должны быть УГВ, чтобы обеспечить естественный характер развития биоценоза Беловежской пушчи, который был 600, 100, 50, 10 лет назад, и стоит ли отказываться от современного водного режима, к которому экосистемы уже адаптировались? Вопрос сложный и неоднозначный, требует усилия ученых разных научных областей.

На территории Беловежской пушчи и прилегающих к ней территориях имеются гидрогеологические посты с наблюдательными скважинами, по

которым ведут мониторинг УГВ. Накопленный материал требует анализа и практического использования в установлении естественного водного режима экосистем Беловежской пушчи.

Целью настоящего исследования является анализ имеющейся информации по УГВ, оценка ее репрезентативности, оптимизация количества наблюдательных скважин, их местоположения. При невозможности ведения непосредственных наблюдений за УГВ предлагается методика моделирования их на основе тепловлагодобалансовых расчетов наиболее уязвимых природных комплексов, таких как заболоченные верховья рек и отдельные локальные заболоченные участки. Исследования водного и теплоэнергетического баланса болотных массивов позволят получить информацию об УГВ, что послужит основой для выбора рациональных инженерных мероприятий по сохранению уникальных природных комплексов.

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методы исследования. УГВ характеризуют увлажненность территории и грунтовая составляющая, которая необходима для решения уравнения водного баланса речного водосбора или части его. Поэтому моделирование водного баланса позволяет наиболее эффективно оценить возможные изменения уровня режима в случае реализации инженерных и организационных мероприятий.

Для анализа составляющих водного баланса исследуемых болотных массивов адаптирован метод гидролого-климатических расчетов (ГКР), предложенный В.С. Мезенцевым, основанный на совместном решении уравнений водного и теплоэнергетического балансов [3, 5, 6]. На основе гидролого-климатической гипотезы нами разработана многофакторная компьютерная модель, включающая стандартное уравнение водного баланса участка суши с независимой оценкой основных элементов баланса (атмосферные осадки, суммарное испарение и климатический сток) в годовом разрезе.

Уравнение водного баланса территории за некоторый промежуток времени имеет вид:

$$Y_K(t) = H(t) - E(t) \pm \Delta W(t) \pm \mu \cdot \Delta U(t) \quad (1)$$

где $Y_K(t)$ – суммарный климатический сток, мм; $H(t)$ – суммарные ресурсы увлажнения, мм; $E(t)$ – суммарное испарение, мм; $\Delta W(t)$ – изменение влагозапасов деятельного слоя почвогрунтов, мм; $\Delta U(t)$ – изменение УГВ, мм; μ – коэффициент водоотдачи почвогрунтов; t – интервал осреднения (сутки).

Суммарное испарение рассчитывалось по формуле:

$$E(t) = E_m(t) \left[1 + \frac{\left(\frac{E_m(t) + V(t)^{1-r(t)}}{W_{HB}} \right)^{n(t)}}{\frac{KX(t) + g(t)}{W_{HB}} + V(t)} \right]^{\frac{1}{n(t)}} \quad (2)$$

где $E_m(t)$ – максимально возможное суммарное испарение, мм; W_{HB} – наименьшая влагоемкость почвы, мм; $V(t) = W(t) / W_{HB}$ – относительная влажность почвогрунтов на начало расчетного периода; $KX(t)$ – сумма измеренных атмосферных осадков, мм; $g(t)$ – грунтовая составляющая водного баланса, мм; $r(t)$ – параметр, зависящий от водно-физических свойств и механического состава почвогрунтов; $n(t)$ – параметр, учитывающий физико-географические условия стока.

Относительная влажность почвы на конец расчетного периода определялась из соотношений:

$$V(t+1) = V(t) \cdot \left(\frac{V_{cp}(t)}{V(t)} \right)^{r(t)} \quad (3)$$

$$V_{cp}(t) = \left(\frac{\frac{KX(t) + g(t)}{W_{HB}} + V(t)}{\frac{E_m(t)}{W_{HB}} + V(t)^{1-r(t)}} \right)^{\frac{1}{r(t)}} \quad (4)$$

Моделирование водного баланса исследуемой территории реализовано в виде компьютерной программы и осуществляется в два этапа. На первом этапе производится расчет баланса без учета влияния УГВ, на втором этапе – с учетом влияния УГВ.

Максимально возможное испарение оценивалось для календарного года по формуле [3]

$$Z_m^{\text{ññä}} = 400 + \frac{117 \cdot \sum_{i=1}^{365} T_i^{>10}}{1000} + 17 \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^{365} T_i^{\leq 10}}{1000} \right)^2 \quad (5)$$

где $T_i^{>10}$ – среднесуточная температура выше 10°C.

Суточное максимально возможное испарение вычислялось по следующей эмпирической формуле [3]:

$$Z_m^{\text{ндо}} = \frac{Z_m^{\text{аи а}}}{\sum_{i=1}^{365} d_i^{\text{ндо}}} \cdot d^{\text{ндо}} \quad (6)$$

где $d_i^{\text{ндо}}$ – средний дефицит влажности воздуха в i -тые сутки.

Для балансовых расчетов необходимо учитывать количество влаги, содержащейся в снежном покрове, так называемый водный эквивалент. В работе принята средняя плотность снега постоянной и равной 320 г/дм^3 , а слой воды $h_{\text{а}}^{\text{ы}}$, образовавшейся в результате таяния, определялся по формуле:

$$h_{\text{а}}^{\text{ы}} = \Delta h_{\text{ни аа}}^- \cdot \frac{\rho_{\text{ни аа}}}{\rho_{\text{а}}} \quad (7)$$

где $\rho_{\text{ни аа}}$ и $\rho_{\text{а}}$ – соответственно плотность снега и воды (плотность воды принята 1000 г/дм^3); $\Delta h_{\text{ни аа}}^-$ – уменьшение слоя снега в результате его таяния, которое определялось по формуле:

$$\Delta h_{\text{ни аа}}^- = \begin{cases} h_{\text{ни аа}}^{t-1} > h_{\text{ни аа}}^t, & h_{\text{ни аа}}^{t-1} - h_{\text{ни аа}}^t \\ h_{\text{ни аа}}^{t-1} \leq h_{\text{ни аа}}^t, & 0 \end{cases} \quad (8)$$

Следует отметить, что при определении количества образовавшейся влаги в результате таяния не учитывается уплотнение (слёживание) снега. Это связано, во-первых, с отсутствием данных о плотности снега, и, во-вторых, с незначительным вкладом данного фактора (менее $0,1 \%$).

Для оценки ежедневного испарения использованы наблюдения за влажностью воздуха по ближайшим аэропортам с последующей их пространственной интерполяцией.

Измерение УГВ, как и иные гидрологические характеристики, осуществляют дискретно как во времени, так и в пространстве. При этом измерения зачастую нацелены на выявление локальных особенностей исследуемой территории. В этой связи в качестве отдельной задачи рассматривался вопрос оптимизации сети наблюдательных скважин. Для планирования расширения сети скважин необходимо решение задачи в двух вариантах постановки вопроса оптимизации их количества: 1) при фиксированном уровне затрат определяется максимальная точность измерений; 2) при заданной точности измерений вычисляются затраты на их проведение [8].

В качестве критерия оценки точности измерений возможно использовать долю описанной дисперсии ряда за счет повышения частоты измерений, а для оценки затрат – функцию эффективности, показывающую насколько экономически обосновано получение дополнительной информации [1].

Оба показателя имеют различные области применения и размерности. Для решения оптимизационной задачи в таких случаях может использоваться геолого-экономическая целевая функция, соответствующая разности нормированной точности оценок показателей и нормированных затрат на достижение данной точности [3]. В качестве факторов, влияющих на точность оценок, как указывалось выше, могут выступать частота измерений уровней, продолжительность непрерывных измерений и плотность сети гидрогеологических скважин.

Оптимизация данных критериев зачастую проводится отдельно. Это связано с взаимозависимостью критериев, например, частота измерений напрямую влияет на экономические затраты на получение одного значения среднегодового УГВ. Поэтому для решения данной задачи предлагается использовать целевую функцию, определяемую как разность точности измерений и затрат на ее достижение [3]. Максимизация либо минимизация целевой функции часто применяется при решении транспортно-экономических задач. Решение гидрогеолого-экономической задачи включает три основных параметра (частота измерений, продолжительность наблюдений и густота наблюдательной сети), которые подлежат определению. Одновременно все три показателя оптимизировать затруднительно в силу взаимозависимости критериев.

Исходя из этого, оптимизацию программы наблюдений целесообразно проводить в следующей последовательности: 1. Оптимизация частоты измерений; 2. Оптимизация продолжительности наблюдений; 3. Оптимизация плотности распределения наблюдательных скважин. На каждом из этапов оптимизации ее результаты используются на последующих этапах, т.е. соблюдается институциональный принцип.

Для оценки точности при оптимизации частоты измерений использован критерий точности интерполяции при различном уровне дискретизации временного ряда:

$$E = 1 - \frac{\bar{S}}{\sigma}, \quad (9)$$

где E – точность интерполяции отсутствующих значений; σ – среднеквадратическое отклонение исходного (полный ряд наблюдений) временного ряда; \bar{S} – среднеквадратическая погрешность интерполяции, отражающая отклонение интерполированных значений при различном уровне дискретизации. Параметр \bar{S} аналогичен оценке качества прогнозной модели (отклонение модельного ряда от исходного (наблюденного) ряда) [7]

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - Z'_i)^2}{n-1}}, \quad (10)$$

где Z_i – фактическое значение уровня подземных вод (или УГВ); Z'_i – восстановленные значений уровня подземных вод посредством линейной интерполяции и линейной экстраполяции; n – число наблюдений.

Определение \bar{S} выполнялось по следующему алгоритму:

1. Расчет УГВ на основе интерполяционных и экстраполяционных формул.

2. Используя исходный и модифицированный ряд, вычисляется точность по формуле (9).

3. Возврат к операциям, выполняемым в пункте 1 с увеличением количества исключенных значений, вплоть до принятого заранее предельного их количества.

Для упрощения анализа и сопоставления результатов рационально использовать относительные показатели вместо абсолютных значений точности и затрат. Для нормирования величин возможно использовать различные подходы, т.е. нормировать на среднее значение либо на амплитуду. В нашем случае относительные показатели λ_E точности и λ_C затрат определялись по формулам:

$$\lambda_{E_i} = \frac{E_{\max} - E_i}{E_{\max} - E_{\min}}; \quad (11)$$

$$\lambda_{C_i} = \frac{C_{\max} - C_i}{C_{\max} - C_{\min}}, \quad (12)$$

где E_{\max} , E_{\min} , и E_i – соответственно максимальная, минимальная и i -тая точность; C_{\max} , C_{\min} , и C_i – соответственно максимальные, минимальные и i -тые затраты.

Целевая функция независимо от способа нормировки будет иметь вид $f|\lambda_E - \lambda_C|$.

Исходные данные. В рамках исследования использовались данные наблюдений за УГВ по 10 автономным измерительным постам и по одному датчику атмосферного давления. Измерения уровней производятся на основе непрерывной записи данных температуры воды, абсолютного давления (с учетом атмосферного давления). Измерения температуры в первую очередь нацелены на анализ репрезентативности наблюдаемых данных. Давление в сантиметрах водяного столба корректируется на величину атмосферного

давления в тот же момент времени. Таки образом УГВ (UGW) в данной точке определится по формуле

$$UGW = \Delta - \Delta_{\bar{A}} - (P_{\bar{A}} - P_{\text{doi}}) \quad (13)$$

где Δ – отметка поверхности земли, см; $\Delta_{\bar{A}}$ – отметка установки дайвера (датчик абсолютного давления в скважине), см; $P_{\bar{A}}$ – измеренное давление дайвером, см; $P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление измеренное бародайвером (датчик атмосферного давления), см.

Для полноценного представления о структуре и количестве наблюдательных постов за УГВ в табл. 1 и на рис. 1 приведены основные их характеристики.

Таблица 1 – Параметры наблюдательных постов

Имя (псевдоним)	Координаты местоположений, град (WGS 84)		Код	Глубина грунто-вых вод, см	Дата измерения
	X, град	Y, град			
Zubrica_1	23,7014	52,579767	H9552		
Dzikaje_1_D4919	24,208683	52,7425	D4919		
Kalonka_1_F1018	24,121	52,937317	F1018	0,0	04.03.2016
Dziki_Nikar_1	24,00375	52,6533	K2324	27,0	19.02.2016
Zubrica_2	23,68585	52,585383			
Salomienka	23,993067	52,591767			
Dziki_Nikar_2	24,00915	52,65375	F0911	15,0	19.02.2016
Barusycy	23,853217	52,5598	F1008	-2,2	05.02.2016
Dziki_Nikar_3	23,998517	52,668967	K2200	Длина кабеля	
Choreuskaje			F0832	4,0	26.08.2016
Бародайвер			F0277		
Dikoe			F1024	4	27.08.2016

В качестве источников климатических данных служили наблюдения, полученные на Каменюкском метеопосте, а также данные в открытом доступе по близлежащим аэропортам. Наблюдения на Каменюкском метеопосте включают данные по температуре приземного воздуха (°C), количество осадков (мм) и толщина снежного покрова.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обработка исходных данных для физико-математического моделирования. В результате считывания данных с дайверов сформирована база данных наблюдений за абсолютным давлением $P_{\bar{d}}$ в точках установки устройств. Непосредственно при считывании данных выполнялись натурные измерения УГВ (таблица 1), которые использовались для последующей

барометрической компенсации по формуле (13). Компенсация показаний дайверов позволяет вычислить высоту водяного столба непосредственно над датчиками.

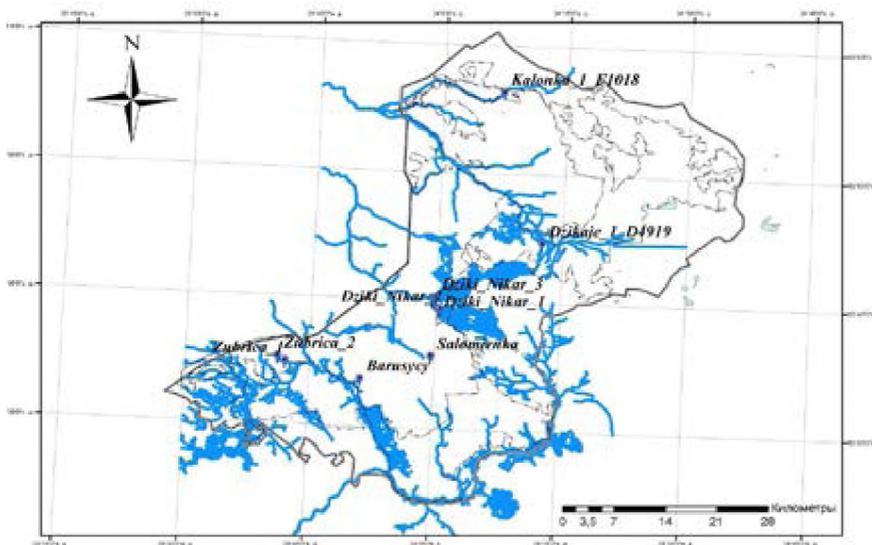


Рисунок 1 – Схема расположения наблюдательных скважин

Период наблюдений по бародайверу составил с 22.08.2013 г. по 20.09.2016 г., однако начиная с 04.03.2016 г. в данных измерений атмосферного давления появилась систематическая постоянная ошибка, по нашему мнению, связанная с изменением места установки бародайвера. При этом температура окружающей среды, измеренная бародайвером, увеличилась с 4,19 °С до 14,71 °С, кроме того с данной даты появились значительные колебания наружной температуры. Это, возможно, связано с установкой устройства на открытом воздухе при доступе прямых солнечных лучей. В этот же период измеряемое давление резко снизилось с 11,25 м водяного столба до 10,10 м водяного столба. Расхождение соответствует изменению положения устройства по высоте, по этой причине в базу данных вносились изменения (удаление ненадежных результатов, корректировка и т.д.).

Таким образом, барометрическая компенсация выполнена для данных наблюдений по следующим устройствам:

1. Barusycy (F1008) – в базе данных имеется интервал 24.09.2014 г.– 16.10.2014 г., в пределах которого присутствуют значительные изменения в

уровенном режиме грунтовых вод, а также резкое повышение температур окружающей среды (рис. 2, А);

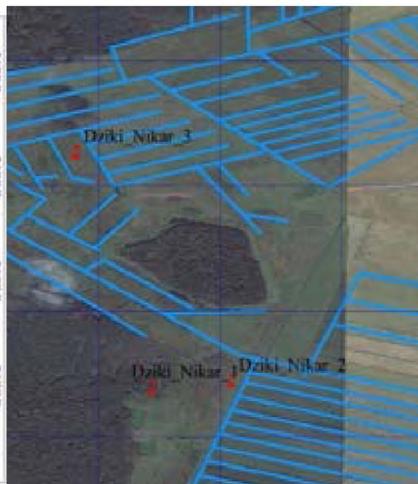
2. Dziki_Nikar_1 (K2324) – замечаний нет; Dziki_Nikar_2 (F0911) – замечаний нет; Dziki_Nikar_3 (K2200) – в пределах 26–27 декабря 2015 г. произошли изменения уровня режима, УГВ резко упал на 48,5 см, что не может произойти по естественным причинам (как указывал Н. Черкас, трубка поднята примерно на 50 см), кроме того, уровень в первый день измерений представляет собой грубую погрешность (138 см на фоне среднего УГВ 65 см). Таким образом, данные по скважине K2200 начиная с 27.12.2015 г. скорректированы на величину 48,5 см;

3. Kalonka_1_F1018 (F1018) – замечаний нет (рис. 2, В);

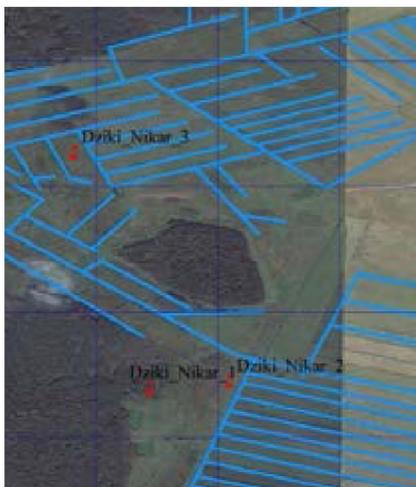
4. Choreuskaje (F0832) – по данным измерений замечаний нет.



А



Б



В

Рисунок 2 – Карта-схема расположения наблюдательных скважин гидрогеологических постов (А – Борущичи, Б – Дикий Никор, В – Колонка)

Для определения среднегодового и среднемесячного УГВ по наблюдательным скважинам использовались периоды с полным календарным годом или близкими к нему (табл. 2).

Таблица 2 – Среднемесячные УГВ, см

Месяц, год	Номер скважины					
	F1008	K2324	F0911	K2200	F1018	F0832
авг. 2013		79,2	81,1		45,1	1098,9
сен. 2013		42,1	34,9		16,8	1116,9
окт. 2013		31,6	17,8		16,4	1141,5
ноя. 2013		23,1	4,6		16,0	1137,7
дек. 2013		23,0	2,6		21,7	1142,3
январь 2014		21,5	5,2		27,2	1138,8
фев. 2014		19,0	10,8		29,5	1132,7
мар. 2014		21,4	4,9		31,1	1135,0
апр. 2014	16,3	26,6	23,5		40,3	1122,4
май. 2014	21,2	24,7	17,9		39,8	1121,5
июн. 2014	37,1	35,6	24,0		44,5	1126,4
июль 2014	22,5	38,7	24,6		39,4	1124,3
авг. 2014	55,8	57,8	48,0		36,5	1099,9
сен. 2014	77,0	54,8	56,5		23,8	1099,3
окт. 2014	93,2	42,9	52,8	67,6	29,0	1096,4

ноя. 2014	52,8	34,7	37,4	45,8	30,5	1115,7
дек. 2014	24,5	24,8	18,4	33,3	21,4	1120,4
январь. 2015	6,1	19,6	0,8	28,1	16,4	1126,3
февр. 2015	15,1	25,1	10,9	32,5	30,7	1127,8
мар. 2015	15,5	25,8	9,4	33,0	33,4	1128,6
апр. 2015	17,5	26,0	19,6	36,6	35,7	1121,7
май. 2015	24,6	31,5	36,9	45,1	41,7	1118,7
июн. 2015	53,6	58,1	62,5	77,2	51,0	
июль. 2015	80,7	86,5	72,9	95,7	43,3	
авг. 2015	102,2	101,6	90,2	118,1	39,3	
сентябрь. 2015	102,4	84,3	82,2	111,9	19,0	
окт. 2015	76,2	47,0	45,4	63,3	15,7	
ноя. 2015	44,4	32,7	26,0	46,7	5,6	
дек. 2015	28,3	30,2	18,6	51,8	3,1	
январь. 2016	22,7	32,4	24,3	96,4	14,7	
февр. 2016	-3,8	23,4	12,4	68,1	-6,8	
мар. 2016					4,0	

Как видно из рис. 3, в годовом ходе УГВ наблюдается характерная цикличность минимальных УГВ в период февраль-июль, и максимальных УГВ октябрь-декабрь. Однако для поста Kalonka_1_F1018 данная цикличность прослеживается слабо, что, возможно, связано с близким расположением скважины к водоему. В данном случае в маловодные периоды идет питание грунтовых вод с прилегающих территорий за счет проводящей мелиоративной сети. В многоводные периоды атмосферные осадки как элемент водного баланса отводятся той же сетью.

Расчет климатического стока. Настройка модели осуществляется по данным наблюдений за поверхностным стоком и фильтрационными потоками, которая учитывает конкретные рельефные и почвенные условия. В случае отсутствия измеренной гидрологической информации настройка модели осуществляется по рекам-аналогам. Рельефные и почвенные условия в модели учитываются коэффициентами r и n . В качестве начальных условий работы модели приняты следующие значения: $r=2,5$ и $n=2,2$.

Изложенная выше водно-балансовая модель реализована в виде компьютерной программы в оболочке Wolfram Mathematica 7. Для оценки величины стока (расходная составляющая) использовались карты модулей стока. В результате настройки модели на основе описанных исходных данных получены уточненные параметры (r и n) для каждого участка.

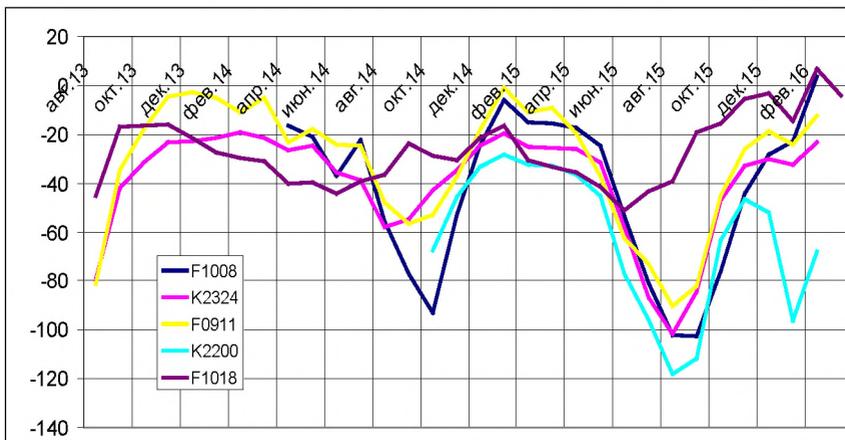


Рисунок 3 – Хронологический ход среднемесячных УГВ (примечание: для удобства визуального анализа исходные данные умножены на -1), см

Результаты моделирования водного режима территории приведены в табл. 3. Для упрощения анализа результатов моделирования, скважины одного гидрогеологического поста выделены в таблице двойной границей. Как видно из таблицы, для всех скважин характерно наличие значительного объема притока с прилегающих территорий, который составляет от 10 % до 30 % от общей суммы приходной составляющей баланса. Испарение является главным элементом расходной части водного баланса (60–70 %), а подземный и поверхностный сток – 25–30 %. Учитывая структуру уравнения элементов водного баланса, имеем возможность прогнозировать эффективность регулирования отдельных составляющих баланса.

Обоснование расширения наблюдательной сети. Оптимальными с точки зрения точности наблюдений и затрат на достижение данной точности значения частоты (дискретности) наблюдений, составляют 12–18 суток, продолжительности наблюдений – 14 лет и расстояния между скважинами – 4500 м [8]. Для Национального парка «Беловежская пушча» при расчете затрат учитывались только переменные издержки, а постоянные издержки принимались равными нулю, так как они не связаны ни с количеством устраиваемых скважин, ни с частотой измерения УГВ на них. Учет постоянных издержек привел бы к незначительному смещению максимума целевой функции, что компенсировалось бы осреднением результатов по нескольким временным рядам. Полученные выше оптимальные значения могут быть использованы при модернизации существующей или проектировании новой наблюдательной сети.

Таблица 3 – Элементы водного баланса по наблюдательным скважинам, мм

Показатель	Номера скважин					
	F1008	K2324	F0911	K2200	F1018	F0832
2014 год						
Абсолютная величина:						
сток		182,5	183,8		194,7	198,9
осадки		542,7	542,7		542,7	542,7
испарение		412,1	412,1		412,1	412,1
приток		51,9	53,2		64,1	68,3
Относительная величина						
приходная часть		1,00	1,00		1,00	1,00
осадки		0,91	0,91		0,89	0,89
приток		0,09	0,09		0,11	0,11
расходная часть		1,00	1,00		1,00	1,00
испарение		0,69	0,69		0,68	0,67
сток		0,31	0,31		0,32	0,33
2015 год						
Абсолютная величина:						
сток	100,5	139,8	135,9	197,1	157,1	
осадки	364,5	364,5	364,5	364,5	364,5	
испарение	290	296,6	296,6	290	296,6	
приток	26	71,9	68	122,6	89,2	
Относительная величина						
приходная часть	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
осадки	0,93	0,84	0,84	0,75	0,80	
приток	0,07	0,16	0,16	0,25	0,20	
расходная часть	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
испарение	0,74	0,68	0,69	0,60	0,65	
сток	0,26	0,32	0,31	0,40	0,35	

С позиции комплексного мониторинга природных процессов пункты наблюдения и отслеживаемые параметры должны позволять оценить все балансовые элементы системы. В данном случае наблюдательные скважины кроме фиксации УГВ в отдельно взятой точке должны представлять собой гидрогеологические створы. В идеальном случае – два. Один створ должен располагаться вдоль преобладающего пути подземной фильтрации. В этом случае чаще всего направление поземной фильтрации совпадает с направлением поверхностных водотоков. Однако для точного установления направления движения грунтовых вод необходимо бурение пробных (пионерных) скважин, по уровням воды в которых можно установить уклон УГВ и его

направление. Период эксплуатации пробных скважин может быть ограничен несколькими днями (неделями). Также в пределах предварительных изысканий необходимо построение геологических разрезов. Это позволит выбрать оптимальное расположение наблюдательных пунктов. Второй створ гидрогеологических скважин должен располагаться перпендикулярно основному и обязательно захватывать прилегающие лесные массивы. Это позволит оценить приток со смежных участков. Таким образом, минимально достаточный состав скважин: *основная* (в эталонной части болотного массива с позиции сохранения биоразнообразия); *дополнительная первая* (в прилегающем лесном массиве); *дополнительная вторая* (на выходе из болотного массива). Данный минимальный набор скважин приемлем лишь для однородных локализованных болотных массивов (например, Борушчи). Для крупных болотных массивов (Дикий Никор) сеть может быть расширена в зависимости от локальных их особенностей.

Кроме фиксации уровневого режима грунтовых вод также необходимо вести наблюдения за поверхностным стоком. Как указывалось выше, это позволит выполнить настройку модели значительно эффективнее. На базе настроенной балансовой модели есть возможность моделировать различные сценарии изменения водного режима в зависимости от конкретных инженерных мероприятий.

Учитывая выше описанные подходы, предложены схемы расстановки наблюдательных скважин по рассматриваемым болотным массивам (рис. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования подготовлена и выверена база данных наблюдений за УГВ с применением бародайверов. Произведена корректировка измеренных уровней воды по атмосферному давлению. Выделены репрезентативные наблюдательные скважины, которые имеют период наблюдений более одного календарного года. К таким скважинам относятся: F1008, K2324, F0911, K2200, F1018, F0832.

На основе статистической обработки определены среднемесячные УГВ (табл. 2), сопоставляя которые возможно отслеживать изменения в уровненом режиме грунтовых вод в будущем.

С применением метода гидролого-климатических расчетов разработана водно-балансовая модель заболоченных участков. На основе данной модели определены основные составляющие водного баланса и их соотношения. Установлено, что для всех исследуемых болотных массивов характерно наличие внешнего водного питания (до 30 %).

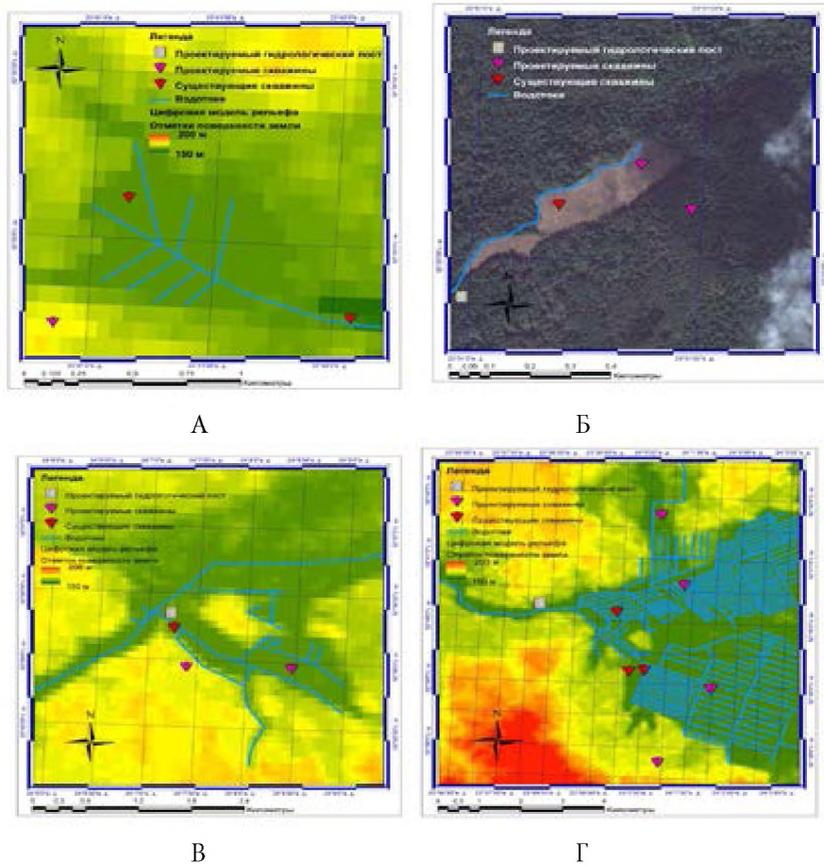


Рисунок 4 – Карты возможного размещения наблюдательных скважин сети стущения (А – Зубрица, Б – Борущичи, В – Колонка, Г – Дикий Никор)

С учетом комплексного подхода мониторинга природных процессов предложены схемы развития наблюдательной сети отдельных болотных массивов, которые позволят получить неоценимые статистические данные в будущем.

Полученные и апробированные результаты для данной территории могут быть реализованы для иных природных территорий Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водные ресурсы / А. Г. Васенко, А. А. Волчек, В. В. Гребень, Д. С. Гурский, М. Ю. Калинин, А. А. Непапшышев, А. Г. Ободовский, Н. Н. Осадчая, А. П. Станкевич, Г. М. Тищенко, И. Г. Тищенко // Управление трансграничным бас-

сейном Днепра: Суббассейн реки Припяти : монография / под ред. А. Г. Ободовского, А. П. Станкевича, С. А. Афанасьева. – К.: Кафедра, 2012. – С.46-89.

2. Волчек, А. А. Мониторинг, оценка и прогноз чрезвычайных ситуаций и их последствий / А. А. Волчек, П. С. Пойта, П. В. Шведовский // Брест: Альтернатива, 2012. – 423 с.

3. Гидрологические расчеты в мелиоративных целях. Ч. I / В. С. Мезенцев, Г. В. Белоненко, И. В. Карнацевич, В. В. Лоскутов – Омск, 1980 – 80 с.

4. Ефременко, А. В. К оценке оптимального комплекса наблюдений за режимом подземных вод / А. В. Ефременко, В. С. Ковалевский, С. М. Семенов // Водные ресурсы. – 1998. – том 25, № 5 – С. 529-533.

5. Мезенцев, В. С. Гидролого-климатическая гипотеза и примеры ее использования / В. С. Мезенцев // Водные ресурсы, 1995. – Том 22, №3. – С. 299-301.

6. Мезенцев, В. С. Увлажненность Западно-Сибирской равнины / В. С. Мезенцев, И.В. Карнацевич. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 168 с.

7. Коноплянцев, А. А. Изучение, прогноз и картирование режима подземных вод / А. А. Коноплянцев, С. М. Семенов – М. : Недра, 1979. – 182 с.

8. Логинов, В. Ф. Оптимизация системы наблюдений режима подземных вод природно-территориального комплекса «Беловежская пушча» / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Н. Н. Шешко // Природопользование. – Минск, 2010. – № 18. – С. 31-35.

9. Усиков, Т. Ю. Достоверность геологоразведочной информации / Т. Ю. Усиков – М. : Недра, 1988. – 120 с.

10. Environmental flow assessment for the Yaselda River in its Selets reservoir section / A. Volchak, I. Kirviel, N. Sheshko // Ecohydrology & Hydrobiology, No. 19 (2019): 109-118 <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2018.06.001>

11. Rouhani, S. Variance reduction analysis / S. Rouhani // Water Resour. Res. – 1985. – V. 21, № 6. – P. 837-846.