

CURRENT STATE OF WATER RESOURCES IN BYELORUSSIAN POLESSIE AND ECOLOGICAL RISKS

Summary

The article below covers problems associated with water resources in Byelorussian Polessie. Qualitative and quantitative evaluations of surface waters of the major streams in the region are proposed. Also, possible consequences of river run-offs due to climate changes are discussed. Immediate challenges facing those researchers who deal with water problems of Polessie are outlined.

Key words: *Byelorussian Polessie, problems with water resources, qualitative and quantitative evaluations, river run-offs, ecological risks, agricultural environment*

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ

Резюме

Настоящая статья посвящена проблемам водных ресурсов Белорусского Полесья. Дана количественная и качественная оценка поверхностных вод основных рек региона. Рассматриваются возможные последствия изменения речного стока в связи с изменением климата. Обозначены первоочередные задачи исследований по решению водных проблем Полесья.

Ключевые слова: *Белорусское Полесье, проблемы водных ресурсов, количественная и качественная оценка, изменения речного стока, экологические риски, сельскохозяйственная среда*

AKTUALNY STAN WODNYCH ZASOBÓW BIAŁORUSKIEGO POLESIA I RYZYKA EKOLOGICZNE

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę problemów związanych z wodnymi zasobami Białoruskiego Polesia. Przeprowadzono ilościową i jakościową ocenę wód powierzchniowych głównych rzek regionu. Rozpatrzono możliwe skutki zmian rzecznych spływów w wyniku zmiany klimatu i ich wpływ na środowisko rolnicze. Określono główne cele badań prowadzących do rozwiązania wodnych problemów Polesia.

Słowa kluczowe: *Białoruskie Polesie, problemy zasobów wodnych, ilościowa i jakościowa ocena, zmiany rzecznych spływów, ekologiczne ryzyka, środowisko rolnicze*

1. Общая характеристика речной сети

Речная сеть Белорусского Полесья относится к черноморскому и балтийскому бассейнам. Реки принадлежат к равнинному типу с преобладанием элементов снегового питания. Река Припять, главная река Полесья, является средней по Европейским масштабам рекой черноморского бассейна. Длина р. Припять – 761 км, площадь водосбора – 173,7 тыс. км². Общее направление течения реки широтное с запада на восток, что не характерно для рек Восточной Европы. Русло в истоке канализированное, на остальном протяжении извилистое, слабо меандрирующее, разветвленное, изобилует заливами и примыкающими староречьями. Большинство притоков полностью или частично канализованы. Наиболее крупными притоками р. Припять являются р.р. Ясельда, Лань, Случь, Птичь, Пина, Бобрик, Цна, Иппа, Стоход, Горынь, Ствига, Уборть. Трансграничная река Западный Буг является

левым притоком р. Нарев, и принадлежит бассейну Балтийского моря. Длина реки – 772 км при площади водосбора 39,4 тыс. км². Основные притоки – р.р. Копаявка, Мухавец, Лесная, Пульва. Правые притоки р. Западный Буг в результате широкомасштабных мелиораций практически все стали канализированными. Река Мухавец преобразована в один из участков Днепровско-Бугского канала. Режим рек бассейна Западного Буга обладает своими особенностями, обусловленными главным образом неустойчивыми погодными условиями зимы и весны, благодаря чему на реках в одни годы формируется режим половодья, в другие – типично паводочный [1, 3, 9, 25].

2. Ресурсы поверхностных вод

В распределения годового стока рек в Полесье наблюдается общее зональное понижение его в направлении с севера на юг и юго-запад, что увязывается

с распределением годовых осадков и запасов воды в снежном покрове. Годовой ход уровней характеризуется сравнительно невысоким и распластанным весенним половодьем, низкой летней меженью, нарушаемой почти ежегодно дождевыми паводками, и более повышенной осенней и зимней меженью за счет дождей и оттепелей, следствием которых являются зимние паводки, в отдельные годы, превышающие весеннее половодье.

Среднегодовой расход р. Припять в устье составляет 450 м³/с. Внутригодовое распределение стока характеризуется неравномерностью. Сток весеннего периода составляет в среднем около 61%, летне-осеннего – 23%, зимнего – 16% годового стока. Среднегодовой расход воды р. Западный Буг составляет 127 м³/с. На период весеннего половодья приходится 30-35%, летне-осенний – 40-50% годового стока, а подъем воды в сравнении с межennым уровнем составляет на 2 – 4,5 м. Количественная характеристика модулей стока рек Полесья различных обеспеченностей водами представлена в табл. 1. Расчеты выполнены по рядам наблюдений более чем за 120-летний период с использованием трехпараметрического гамма-распределения [6].

Ценнейшим компонентом поймы р. Припять являются старичные озера, играющие большую роль в формировании стока, в процессах накопления веществ и самоочищения вод. В долине р. Припять насчитывается более 1100 озер, которые являются местами произрастания водной и прибрежной растительности, аралами обитания водной и околородной фауны, в том числе местами кормления птиц [27].

Кроме естественных озер на территории Белорусского Полесья создано 363 пруда и 66 водохранилищ общей площадью водного зеркала в бассейне р. Припять 224,5 км² и р. Западный Буг 41,1 км² при общем объеме 650,7 и 66,4 млн. м³ соответственно.

3. Экологические риски

В настоящее время среди проблем, стоящих перед человечеством, все чаще на первое место выдвигается проблема дефицита воды, т. к. состояние и развитие биосферы и человеческого общества, находятся в тесной зависимости от состояния водных ресурсов. Водные проблемы возникают при: отсутствии или недостаточности воды; неудовлетворительном ее качестве; несоответствии водного режима оптимальному функционированию природных экосистем и хозяйственных объектов; избыточном увлажнении и при наводнениях. В глобальном аспекте первые три проблемы порождены прошлым XX веком, а четвертая сопутствует человечеству с древнейших времен. Все эти проблемы в той или иной степени присущи и Белорусскому Полесью.

4. Наводнения

По числу жертв и причиненному ущербу наводнения занимают первое место среди стихийных бедствий. Вместе с тем, как это ни парадоксально, до сего времени нет надежных долгосрочных прогнозов их появления, достоверных и общепринятых методик подсчета причиняемых ими ущербов и общепринятой концепции защиты.

На реках Полесья половодье обычно начинается в первой половине марта, но в отдельные годы может смещаться на февраль или апрель. Среднеголетняя продолжительность затопления поймы р. Припять составляет 80 – 110 дней, а иногда – до 150 – 180 дней. Ширина весеннего разлива изменяется от 5 до 15 км, наибольшая же в районе г. Пинска достигает 30 км. Глубина затопления преимущественно 0,3 – 0,8 м, местами 2 – 2,5 м [1]. Затопление в пойме р. Припять от половодий различной обеспеченности показано на рис. 1 [2, 22].

Таблица 1. Модули стока воды (μ, л/(с·км²)) рек Полесья различной обеспеченности

Table 1. Specific Rates of Water Discharge (μ, l/(s·km²)) for Polesie Streams with Different Flood Probability Indices

Вид стока	Коэффициенты изменчивости	μ _{ср}	μ _{p=1%}	μ _{p=5%}	μ _{p=95%}	μ _{p=99%}
Годовой	0,32	3,85	7,17	5,97	2,22	1,77
Максимальный весеннего половодья	0,89	18,12	73,4	44,3	5,06	3,40
Минимальный летне-осенний	0,51	1,53	4,23	2,98	0,68	0,52
Минимальный зимний	0,76	1,48	5,37	3,31	0,52	0,39

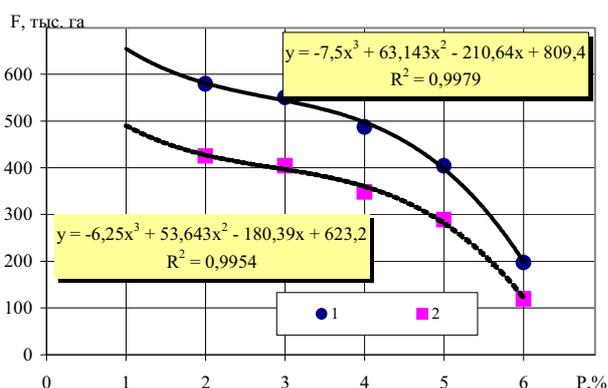


Рис. 1. Площади затопления поймы р. Припять в зависимости от обеспеченности уровня воды: 1 – всего по пойме; 2 – в пределах Беларуси

Fig. 1. The River Pripjat' floodplain area: the dependence of water-covered area on flood level water probability. 1 – the entire floodplain; 2 – within the territory of Belarus

Таблица 2. Максимальные расходы воды (Q) весеннего половодья и обеспеченность (P) р. Припять – г. Мозырь
 Table 2. Maximum Intensity of Flow (Q) during Spring Floods and Their Water Probability Indices (P): River Pripjat' – Town Mozyr' section

Годы	1845	1877	1895	1888	1889	1940	1979	1932	1970	1958
Q, м ³ /с	11000	7500	5670	5100	4700	4520	4310	4220	4140	4010
P, %	0,8	1,6	2,3	3,1	3,9	4,7	5,4	6,2	7,0	7,6

Максимальное половодье на р. Припять отмечено в 1845 г. и было столь катастрофическим, что его, вероятно, можно отнести к группе предельно возможных в нашу климатическую эпоху. Оно является уникальным гидрологическим явлением весьма редкой повторяемости. Максимальный уровень превышал нуль графика современного гидрологического поста у г. Мозырь на 675 см, а расход воды оценивается в 11000 м³/с [26] и приблизительно можно считать повторяющимся не чаще чем один раз в 800 лет. Последнее значительное половодье было в 1999 г. В табл. 2 приведены расходы воды 10 наиболее значительных половодий на р. Припять и их обеспеченности [13, 15].

Паводочные подъемы уровней, в отличие от половодий, возникают нерегулярно и по величине максимального расхода и величине стока паводки, как правило, существенно меньше максимумов половодья. Однако дождевые паводки 1952, 1960, 1974, 1993, 1998 гг. на многих водотоках и створах самой р. Припять превысили половодье и нанесли значительный ущерб экономике. Даже локальные паводки на притоках способны вызвать значительные подъемы уровня в нижнем течении р. Припять, обусловленные продвижением вниз паводочной волны. Высота паводков в среднем и нижнем течении реки достигает 2 – 3,5 м над предповерхностным уровнем.

5. Маловодия

Половодье сменяется летне-осенней меженью, характеризующейся значительной изменчивостью. Летняя межень обычно ниже зимней и почти ежегодно прерывается дождевыми паводками. Зимняя межень нередко прерывается оттепелями, следствием которых являются зимние паводки, в отдельные годы, превышающие половодье.

Условия формирования меженного стока рек в целом можно считать благоприятными, т. к. территория Полесья находится в зоне избыточного увлажнения, а отток подземных вод в речную сеть более или менее длителен и постоянен. Минимальные уровни и сток воды в летний период наблюдаются при высоких среднесуточных температурах воздуха и при продолжительных периодах отсутствия осадков; в зимний период – при низких температурах. В Полесье в засушливые годы (1939, 1951, 1952 гг. и др.) наблюдалось пересыхание водотоков с площадями водосборов свыше 1000 км². Промерзание наблюдается лишь на малых реках и на непродолжительное время.

Наиболее маловодный период летне-осенней межени в основном наблюдается в июле – августе, реже – в сентябре. Продолжительность его для малых и средних водотоков составляет до 130 дней, для р. Припять – 85-90 дней.

Зимняя межень, как правило, устанавливается в конце декабря. Наиболее ранние даты наступления межени приходится на конец октября – начало ноября, а наиболее поздние – на январь, окончание – с началом весеннего половодья.

В пределах Полесья нулевой сток отмечен на 17 водотоках с площадями водосборов 11–1280 км². Средняя продолжительность одного случая нулевого стока может достигать летом 195 суток, зимой – 75–100 суток.

Величины наименьших средних месячных летних расходов закономерно снижаются по территории Полесья с северо-запада и севера на юг и юго-восток, подчиняясь на больших и средних реках географической зональности. Однако на малых реках обнаруживается внутризональный характер изменений, зависящий от местных гидрогеологических особенностей – наличия и мощности горизонтов подземных вод, характера вскрытия их речными долинами и условий их разгрузки.

Наиболее водообильными являются водоносные горизонты в трещиноватых и закарстованных карбонатно-сульфатных породах верхнего мела и неогена. Выходы меловых вод наблюдаются в пределах Полесской низменности в виде восходящих источников с дебитом до 200 м³/ч. Эти воды питают ряд озер, многочисленные болотные массивы и частично правобережные притоки р. Припять – реки Турья, Стоход, Горынь, Стырь и др. Модуль минимального среднесуточного стока этих рек 97% обеспеченности изменяется от 0,07 – 0,18 л/(с·км²). Те реки, питание которых происходит из водоносных горизонтов аллювиальных и флювиогляциальных отложений, имеют низкие модули минимального стока, и в засушливые годы сток их полностью прекращается на период от 15 до 120 дней. Прекращение стока на этих реках возможно также и во время холодных, безоттепельных зим [3, 20, 23].

6. Качество поверхностных вод

С середины XX века повышенное внимание стало уделяться ухудшению качества природных вод в связи с увеличением точечного и площадного загрязнения, вызванного промышленностью и сельским хозяйством. Это связано с недостаточной обеспеченностью очистными сооружениями, повсеместным отсутствием очистки ливневых вод, нерегулируемым использованием минеральных и органических удобрений, а также загрязнением территории радионуклидами после аварии на Чернобыльской атомной электростанции.

Формирование состава речных вод Полесья происходит при сложном взаимодействии ряда естественных и антропогенных факторов. К основным

естественным факторам, обуславливающим химическое качество поверхностных вод и характерные черты их гидрохимического режима, относятся климатические условия, геоморфологическое и геологическое строение территории, характер почв и растительного покрова. Доминирующим фактором являются климатические условия, которые определяют основные черты водного режима рек Полесья и направленность почвообразовательного процесса. Почвенная толща дерново-подзолистых почв повсеместно хорошо отмыта от легко растворимых неорганических соединений (сульфатов и хлоридов), что способствует формированию здесь вод гидрокарбонатного характера, преимущественно малой и средней минерализации. Влияние торфяно-болотных почв сказывается двояко. Общеизвестным является то, что наиболее распространенные на территории неосушенные низинные и верховые болота обогащают воды большим количеством органических соединений, вследствие чего в заболоченных водосборах формируются воды с пониженной и малой минерализацией, высокой окисляемостью и цветностью. Кроме того, низинные торфяные болота, находящиеся в естественном состоянии, играют в формировании химического состава поверхностных вод роль своеобразного буфера. Так, жесткие грунтовые воды, питающие низинные болота, снижают жесткость с 5 – 7 до 3 – 4 мг·экв/дм³, а маломинерализованные паводочные воды, поступаая на торфяники, повышают свою жесткость до 2 – 4 мг·экв/дм³ [25]. Смена фаз водного режима в течение года, а также различия в водности отдельных лет обуславливают сезонные и многолетние изменения минерализации и химического состава поверхностных вод. Наличие лесов сказывается на общей минерализации воды и некоторых других гидрохимических характеристиках, в частности, потому, что в лесах подзолообразовательный процесс протекает наиболее интенсивно. В залесенных водосборах поверхностно-склоновые воды в период половодья и высоких летних паводков стекают по поверхности, хорошо промытой лесной почвы и их минерализация остается близкой к минерализации снеговых вод. В то же время они выщелачивают из лесной подстилки и верхнего горизонта почвы продукты разложения растительных и животных

остатков и обогащаются органическими веществами гумусового происхождения, в частности органическими кислотами. Это проявляется в увеличении цветности воды, снижении величины *pH* и ослаблении степени выраженности гидрокарбонатного характера воды, которое связано с относительным увеличением содержания ионов SO₄²⁺. В межливневый период влияние залесенности заметно ослабляется [18].

В табл. 3 приведен химический состав речных вод Белорусского Полесья в летнюю межень до проявления значительного антропогенного воздействия, который, с некоторыми допущениями, можно принять за естественный гидрохимический фон воды рек Полесья [25].

В настоящее время большинство рек Белорусского Полесья относится к категории «чистых и умеренно загрязненных». На гидрохимический режим рек огромное влияние оказывает большая заболоченность бассейнов, а также промышленные предприятия и жилищно-коммунальные хозяйства городов. Наибольшую нагрузку от сброса сточных вод в 2005 г. испытывали: р. Случь ниже г. Солигорск, р. Западный Буг ниже г. Брест, р. Припять ниже г. Мозырь, р. Ясельда ниже г. Береза. Наиболее характерными загрязняющими веществами воды в реках Полесья являются нефтепродукты, азот аммонийный, азот нитритный и соединения железа.

Еще в 80-х годах прошедшего столетия основным загрязнителем воды рек Полесья являлись нефтепродукты. Так в 1985 г. содержание нефтепродуктов в воде было очень высоким и изменялось от 11 до 76 предельной допустимой концентрации (ПДК). ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения по нефтепродуктам составляет 0,3 мг/дм³; а для водных объектов рыбохозяйственного назначения составляет 0,053 мг/дм³. В последние годы в связи с сокращением грузоперевозок речным транспортом антропогенный пресс заметно снизился, что, в свою очередь, привело к снижению нагрузки на речные воды по нефтепродуктам. В настоящее время их концентрация не превышает ПДК, так в 2005 г. среднегодовая концентрация загрязнения нефтепродуктами в р. Мухавец составила 0,03 мг/дм³, а в воде р. Припять – 0,03-0,04 мг/дм³.

Таблица 3. Фоновый химический состав речных вод Беларуси, (мг/дм³)
Table 3. Background Chemical Composition of River Waters in Belarus, (mg/dm³)

Реки	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Fe _{общ}	Общая минерализация
Щара – с. Великая Воля	50,1	7,8	1,0	186,0	5,9	0,3	0,08	0,006	0,71	251,2
Гривда – г. Ивацевичи	53,5	7,4	2,2	190,4	8,5	2,4	0,05	0	0,5	264,4
Ведрич – с. Демехи	63,8	10,1	1,5	226,3	4,4	3,2	2,00	0,058	1,12	311,4
Рыта – с. Малые Радвичи	40,5	2,3	–	115,9	4,0	1,9	0,35	0,006	1,62	165,0
Лесная – с. Замосты	53,0	4,6	–	171,4	3,4	0,8	0	0,002	0,71	233,2
Припять – с. Коробы	73,7	3,0	0,5	233,7	3,7	1,4	0,07	0,001	0,48	316,1
Ясельда – г. Береза	44,5	5,7	–	139,1	2,1	0,9	0	0,005	2,12	192,3
Горынь – п. Горынь	70	9,9	5	243,4	15,7	6,5	0	0,002	0,38	350,5
Оресса – с. Андреевка	42,7	7,4	2,2	148,2	10,7	6,0	0,50	0,105	3,50	217,8

Максимальное загрязнение р. Припять аммонийным азотом было в 1987 г., затем наметилась тенденция к его уменьшению и в 2005 г. и максимальная его концентрация наблюдалась в: р. Припять ниже г. Пинска – 1,32 мг/дм³; р. Горынь ниже г. Речица – 0,64 мг/дм³; р. Ясельда ниже г. Береза – 0,60 мг/дм³; р. Припять ниже г. Мозырь – 0,38 мг/дм³; р. Мухавец в черте г. Бреста – 0,38 мг/дм³ (ПДК_{х.-п.} = 1,0; ПДК_{рыб.} = 0,39 мг/дм³). Таким образом, хотя и существует тенденция к снижению этого показателя, но в отдельных случаях все еще наблюдается превышение ПДК.

Для рек региона типично загрязнение, связанное с присутствием в водах повышенного количества нитритного азота. Максимальное загрязнение р. Мухавец наблюдалось в 1994 г. – 2,5 ПДК (ПДК_{х.-п.} = 0,99; ПДК_{рыб.} = 0,02 мг/дм³). В 2005 г. максимальная концентрация в р. Припять ниже г. Пинск достигала 0,051 мг/дм³, ниже г. Мозырь составила 0,009 мг/дм³; р. Ясельда ниже г. Береза, р. Мухавец ниже г. Кобрин и в черте г. Брест – 0,018 мг/дм³; р. Сож ниже г. Гомель, р. Горынь ниже г. Речица – 0,024 мг/дм³.

Традиционно в поверхностных природных водах Полесья наблюдается повышенное содержание железа. В 2005 г. максимальные концентрации железа в воде наблюдалась на р. Припять ниже г. Пинск – 1,08 мг/дм³, ниже г. Мозырь – 0,79 мг/дм³; на р. Горынь ниже г. Речица – 0,82 мг/дм³ (ПДК_{х.-п.} = 0,3 мг/дм³; ПДК_{рыб.} = 0,5 мг/дм³) [24].

В доаварийный период концентрации ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs в воде р. Припять составляли соответственно 0,0033 – 0,00185 и 0,00185–0,0066 Бк/дм³. В первые дни после аварии суммарная бета-активность воды р. Припять в районе Чернобыльской атомной электростанции превышала 3000 Бк/ дм³ и только к концу мая 1986 г. снизилась до 150 – 200 Бк/ дм³. Максимальные концентрации плутония-239 в воде р. Припять составили 0,37 Бк/ дм³. В настоящее время наиболее высокое содержание стронция-90 (от 1,59 до 2,70 Бк/ дм³) наблюдается в водах рек Брагинка, Желонь, Ротовка, Несвич, дренирующих территорий с высокой плотностью радиоактивного загрязнения, а также в старицах р. Припять на территории зоны отселения. Концентрации ¹³⁷Cs в воде значительно ниже допустимых концентраций по нормам радиационной безопасности и не превышает республиканский допустимый уровень по его содержанию в питьевой воде. Но он все еще выше доаварийных значений.

Таким образом, хотя по р. Припять имеются неблагоприятные в экологическом отношении участки, она остается по Европейским меркам в настоящее время довольно чистой рекой.

7. Трансформация гидрохимического режима воды рек

Под воздействием антропогенных факторов абиотические и биотические компоненты водных систем претерпели значительные изменения. Первые значимые изменения в гидрологическом и гидрохимическом режимах водных экосистем датируются концом 1960-х – началом 1970-х годов. В воде рек и озер практически повсеместно установлен рост концентраций ряда компонентов, достоверно превышающий их фоновые значения: хлоридов (в 2 – 9 раз), сульфатов (в 1,5 – 2 раза) и щелочных металлов (в 1,3 – 3 раза).

На рис. 2 приведены градиенты изменения среднегодовых концентраций приоритетных веществ в воде некоторых рек Белорусского Полесья за последние 15 лет.

В целом можно сказать, что сегодня наметились тенденции к уменьшению загрязнения рек Полесья, однако, несмотря на это, по-прежнему качество поверхностных вод на отдельных участках рр. Ясельда, Березина, Западный Буг не удовлетворительно.

Процесс загрязнения водных объектов приостановился, и наметились позитивные тенденции к улучшению экологического состояния отдельных речных бассейнов. Однако, несмотря на снижение сброса загрязненных сточных вод, существенного улучшения качества поверхностных вод в настоящее время еще не наблюдается.

Магистральным направлением улучшения качества природных вод остается снижение антропогенной нагрузки и восстановление экологического благополучия водных объектов, а именно интенсификация работы коммунальных очистных сооружений, строительство локальных очистных сооружений на предприятиях АПК, очистка дождевого стока и т. д.

8. Антропогенные воздействия на речной сток

Начиная с 50-х годов прошлого столетия, развернулась дискуссия о влиянии мелиорации на речной сток. Основное воздействие на водный режим р. Припять было оказано в период широкомасштабных гидротехнических мелиораций Полесской низменности. При этом водные ресурсы Полесья сильнее других регионов подверглись антропогенным трансформациям. Было осушено 23% его территории, общая протяженность открытой мелиоративной сети превысила 65 тыс. км, существенно преобразовалась гидрографическая сеть, особенно, если учесть спрямление и углубление самой р. Припять и крупных ее притоков. Кроме того, обвалование отдельных участков Припяти и строительство польдерных мелиоративных систем, которые исключают затопление обвалованных участков поймы, привело к тому, что грунтовые воды понизились на 1,0 – 1,5 м, вслед за ними снизились уровни воды в реках, в некоторых – вплоть до пересыхания. Все это выразилось в изменении гидрологического режима рек. Анализ изменения стока р. Припять показал рост ее среднегодового стока в период активных мелиораций во все месяцы года, кроме апреля и мая. Рост среднегодового стока р. Припять составляет 12% по сравнению с предыдущими годами, а по сравнению с предыдущим двадцатилетием – уже около 30% [19].

Максимальные потери от безвозвратного водопотребления и при регулировании речного стока за последние 5 лет в бассейне р. Припять в пределах Белорусского Полесья составили 190 млн м³/год, в бассейне р. Западный Буг – 27 млн м³/год. Пока степень влияния этих потерь невелика и находится в пределах ошибки измерения [24].

Анализ динамики стока воды рек Полесья показал, что, начиная с середины 60-х годов прошлого столетия, среднегодовые, минимальные летние и зимние расходы имеют устойчивую тенденцию к увеличению, в тоже время, сток весеннего половодья уменьшается (рис. 3).

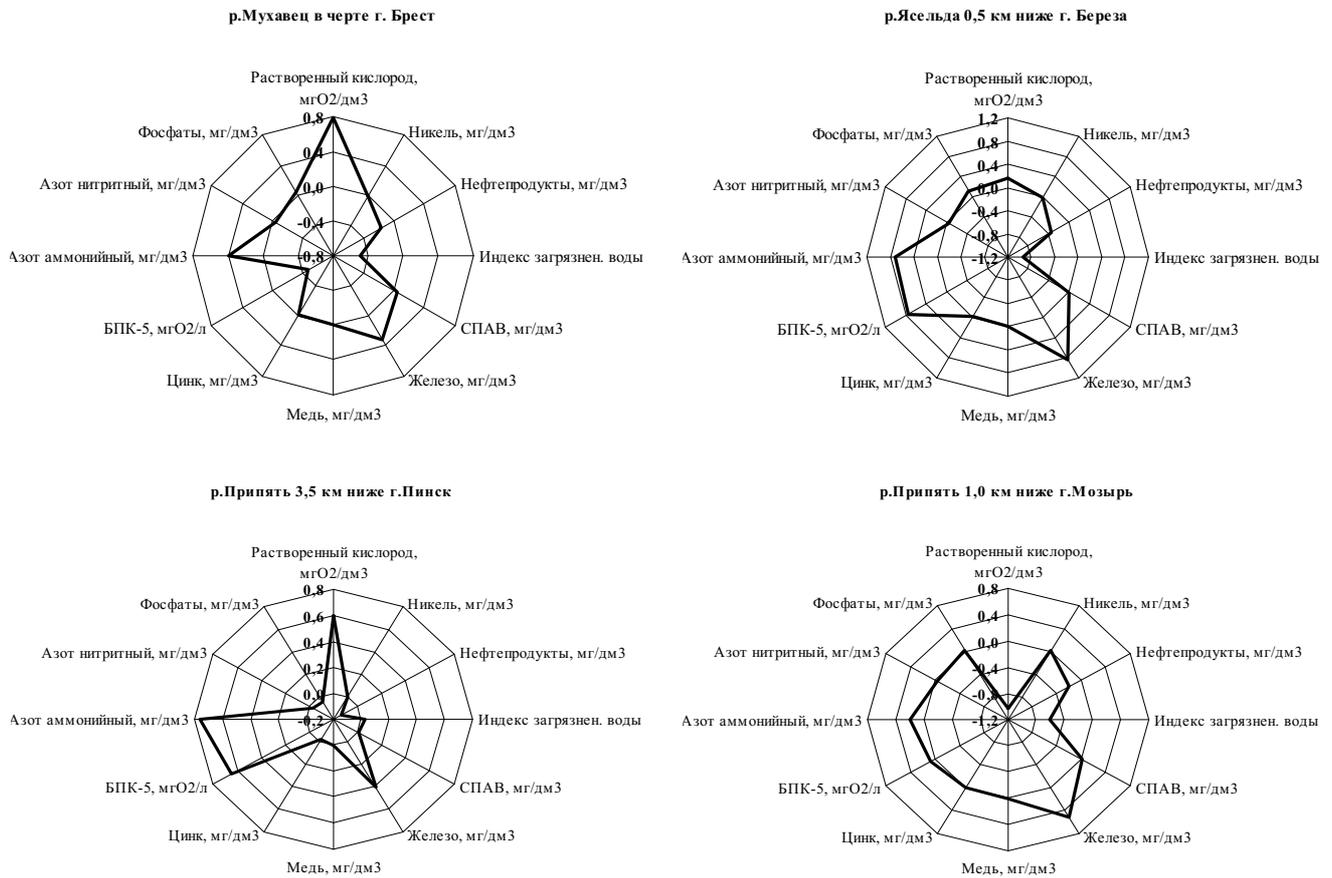


Рис. 2. Градиенты изменения среднегодовых концентраций приоритетных веществ в воде рек Полесья

Fig. 2. Gradients of Annual Average Concentrations of Priority Substances in the Rivers of Polesie

Remarks: In the pictures—River Mukhavets within the limits of Brest Riva Yasel'da 0.5 km below tn. Beryoza, River Pripyat 3.5 km below tn. Pinsk R Pripyat 1.0 km below tn. Mozyr mg/dm³

Растворен.к ислород Dissolved oxygen, O₂ (Oxygen) mgO₂/dm³; Никель: Ni (Nickel); Нефтепродукты: Petroleum products; Индекс загрязнения: Water pollutant index СПАВ – Persistent surface active substances; железо: Fe (Iron); Медь: Cu (Copper); Цинк: Zn (Zink); БПК-5: Biochemical oxygen demand, BOD-5, азот аммонийный: N_{amm} (Ammonium nitrogen) зот нитритный: N_{nit} (Nitrite nitrogen), фосфаты: Phosphates

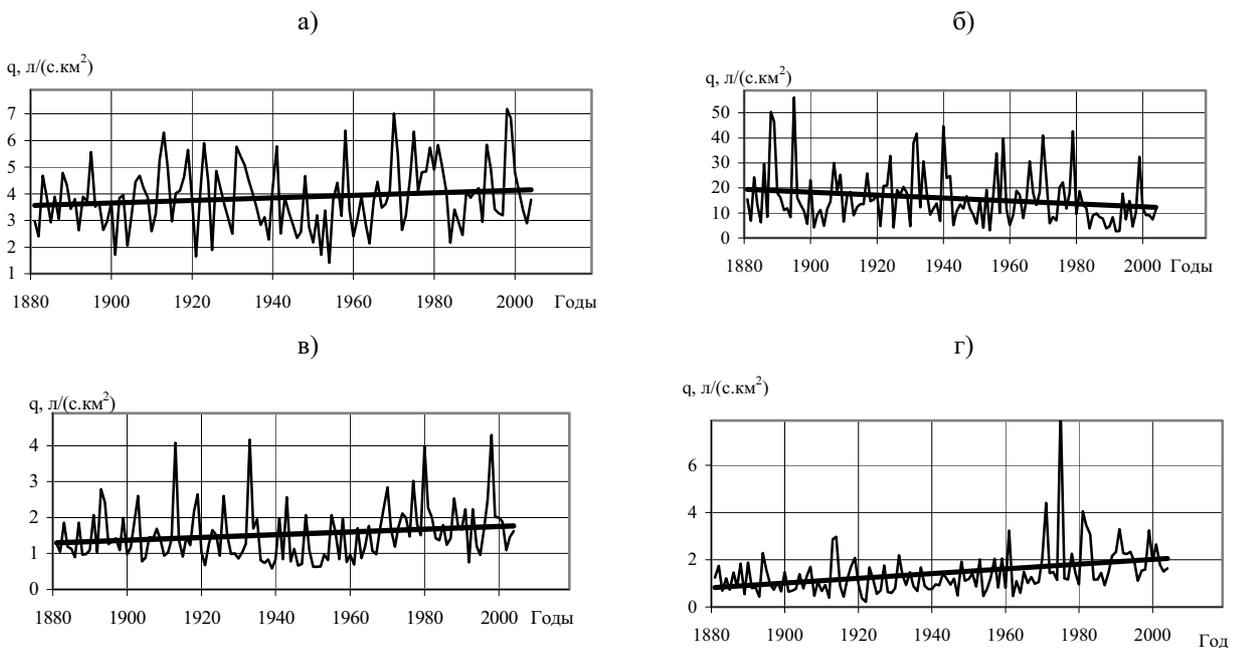


Рис. 3. Динамика модулей стока воды рек Полесья: а) – годовых; б) – максимальных весеннего половодья; в) – минимальных летне-осенних; г) – минимальных зимних

Fig. 3. The Dynamics of water discharges in streams of Polesie: a) – annual; b) – spring floods; c) – minimum summer-autumn; d) – minimum winter discharge

9. Оценка изменений водного режима малых рек при различных сценариях климата будущего

Рост количества осадков при потеплении климата по модельным оценкам должен наблюдаться в высоких широтах, а падение в низких. Граница раздела проходит по 50–55° северной широты, что позволяет прогнозировать небольшие изменения осадков на территории Беларуси при потеплении климата. В целом для зоны северного полушария, соответствующей расположению речных бассейнов Беларуси, ожидается увеличение температуры воздуха на 2–4°C, а изменение атмосферных осадков $\pm 0 - 15\%$ от современного уровня [16].

Используя гидролого-климатическую гипотезу В.С. Мезенцева [21], в основе которой лежит стандартное уравнение водного баланса участка суши с независимой оценкой основных элементов баланса (атмосферные осадки, суммарное испарение и климатический сток), нами смоделированы возможные изменения водного режима рек Белорусского Полесья при прогнозируемом ходе изменения климата и антропогенных воздействий на водосборы рек для месячных интервалов осреднения [4, 5, 14].

Основываясь на анализе существующих в настоящее время оценок возможного изменения климата, численный эксперимент проведен по 8 вариантам (табл. 4). Наиболее неблагоприятным прогнозом развития изменения речного стока для рек Белорусского Полесья является седьмой вариант – гипотеза, при которой прогнозируется уменьшение стока до 45%, что равносильно изменению обеспеченности (с 50 до 85%), а коэффициента вариации с 0,47 до 0,54. При наложении воздействий на сток антропогенной составляющей уменьшение среднего годового стока может достигнуть 50–70%.

В последнее время произошли изменения внутригодового хода атмосферных осадков. В Полесье [24]. Количество осадков уменьшилось в апреле-мае и особенно сильно в августе. В связи с этим проведен

численный эксперимент по влиянию трансформации годового хода атмосферных осадков на речной сток. Моделировалось перераспределение осадков с периода май–июнь на июль–август, т. е. уменьшить осадки на 20% в мае-июне и увеличить их на 20% в июле-августе. Полученные изменения значений речного стока приведены в табл. 5. Значения модулей речного стока, рассчитанные при перераспределении атмосферных осадков на 20% с мая – июня на июль – август отличаются от рассчитанных при использовании средних значений атмосферных осадков за 1990 – 2000 гг. в среднем на 1,7% за год. Внутри же года равномерность распределения значительно нарушена по сравнению с исходной. Можно констатировать тот факт, что в мае-июне наблюдается уменьшение значений речного стока (на 11 и 25% соответственно), а в августе-сентябре увеличение (21 и 9%). Это вызвано некоторой инертностью речного стока.

Прогнозируемое потепление климата вызовет существенные изменения водного режима рек, что потребует адаптации водного хозяйства к изменениям условий формирования местных водных ресурсов.

10. Основные направления в исследовании водных проблем Полесья

Главной задачей в исследовании водных ресурсов Полесья на нынешнем этапе является их комплексная оценка современного состояния с учетом пространственно-временных колебаний и изменений основных составляющих водного баланса речных водосборов. При этом необходимо учитывать влияния на них различных природных и антропогенных факторов, прогноз изменения водных ресурсов при различных сценариях развития климата. На основе полученных научных результатов разработать мероприятия по минимизации возможных негативных последствий в случае изменения режима водных ресурсов.

Таблица 4. Результаты численного эксперимента по изменению стока рек Полесья

Table 4. Results of Numerical Experiment Based on Discharge Variation Data for Polessie Rivers

Изменение годовых величин от современного уровня	Номер варианта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Атмосферные осадки, %	0	0	10	10	10	-10	-10	-10
Температура воздуха, °C	+2	-2	0	2	-2	0	+2	-2
Речной сток, %	-11	18	22	6	42	-21	30	-6
Суммарное испарение, %	5	-9	4	12	-6	-5	0	-12
Влагозапасы, %	0	0	10	10	10	-10	-10	-10

Примечание. Знак «+» – увеличение, «-» – уменьшение.

Таблица 5. Модули речного стока р. Ясельда – г. Береза при различных вариантах формирования осадков (л/с·км²)
Table 5. Moduli of River Discharge at the River Yasel'da–tn. Beryoza Gauge Site for Various Scenarios of Sediments Formation, (l/s·km²)

Параметры	Месяцы								Год
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	ΣIV-X	
Измеренные	12,7	4,98	2,64	2,41	2,46	3,75	4,25	4,75	4,79
Рассчитанные	12,4	5,45	3,11	2,21	2,19	2,85	3,4	4,48	4,49
Рассчитанный сток при режиме осадков за 1990–2000 гг.	12,2	5,23	2,85	1,98	1,86	1,88	2,9	4,13	4,08
Рассчитанный сток при перераспределении осадков	12,3	4,68	2,15	1,90	2,25	2,04	3,05	4,06	4,15

Дальнейшие исследования целесообразно сосредоточить на следующих основных направлениях [7, 8, 10, 11, 12, 17]:

- предотвращение и уменьшение негативных последствий от наводнений;
- улучшение качества поверхностных и подземных вод;
- охрана водных источников при разработке месторождений полезных ископаемых;
- управление режимом поверхностных и подземных вод, обеспечивающим биосферное функционирование природных экосистем;
- создание бассейновой схемы управления водными ресурсами Беларуси.

В области изучения и борьбы с наводнениями первоочередными задачами являются:

- выполнение районирования и картирования пойм с нанесением границ наводнений различной водообеспеченности, с учетом вида хозяйственного использования территории;
- разработка математической модели и создание соответствующих баз данных для прогнозирования наводнений;
- разработка противопаводковых мероприятий в долинах рек с учетом всего водосбора;
- определение видов хозяйственной деятельности, которым при затоплении будет нанесен минимальный ущерб;
- создание надежных инженерных сооружений по защите сельскохозяйственных земель и хозяйственных объектов с минимальными нарушениями природных биогеоценозов;
- оптимизированное сочетание инженерных методов защиты населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий с неинженерными (экономическими и юридическими). Создание гибкой программы по страхованию от наводнений, сочетающую как обязательные, так и добровольные формы;
- разработка системы оповещения населения о времени наступления наводнения, о максимально возможных отметках его уровня и продолжительности;
- разработка единой методики учета последствий от наводнений и подсчета причиняемого ими ущерба, а также учета ущерба, наносимого здоровью людей в период наводнений и после них.

Первоочередными задачами в области улучшения качества поверхностных и подземных вод являются:

- оценка современного состояния загрязнения поверхностных, подземных вод и прогноз на ближайшую перспективу;
- оценка составляющих трансграничного переноса основных загрязняющих веществ для рек Припять и Западный Буг. Оптимизация сети наблюдений за качеством поверхностных вод;
- разработка эффективных методов и способов улучшения природных и очистки сточных вод;
- разработка мероприятий по снижению загрязнения поверхностных и подземных вод при разработке месторождений полезных ископаемых (гранита – г. Микашевичи, калийных солей – г. Солигорск, нефти и газа – Речицкий и Светлогорский районы и др.);
- разработка мероприятий по улучшению качества подземных вод на групповых водозаборах основных населенных пунктов БП;

- разработка мероприятий по регулированию стока, подаче воды из вне, повторному использованию дренажных вод, а также исследование возможности применения нетрадиционных способов, методов и источников покрытия дефицитов влажности почвы сельскохозяйственных полей;
- разработка методики оценки ущерба от загрязнения вод с учетом экологической безопасности для человека и природной среды.

На бассейновом уровне необходимо решить следующие задачи:

- дать оценку современного состояния и на перспективу водных ресурсов с учетом пространственно-временных колебаний и изменений основных элементов водного баланса речных водосборов, влияния на них различных природных и антропогенных факторов;
- разработать бассейновую схему управления водными ресурсами рек Припять и Западный Буг;
- разработать модель функционирования бассейна малых рек и на ее основе оптимизировать комплексное использование водных ресурсов этих бассейнов;
- разработать методы эксплуатации работы бесплотинных водозаборов, водного транспорта, рекреационных мест и т.д. в условиях уменьшения стока;
- дать экономическое обоснование расчетной обеспеченности водохозяйственных объектов, использующих поверхностные воды в связи с уменьшением водных ресурсов.

Первоочередными задачами по регулированию режима поверхностных и подземных вод являются:

- оценка последствий трансформации гидро-биологического режима рек, вызванные изменением уровня и скоростного режимов рек, повышением температуры воздуха, ухудшением кислородного режима, снижением интенсивности процессов самоочищения;
- обоснование перспектив регулирования поверхностного стока в подземных емкостях с целью обеспечения устойчивого водоснабжения населенных пунктов водой хозяйственно-питьевого качества и орошения сельскохозяйственных угодий в маловодные годы.

11. Литература

- [1] Blakitnaya kniga Belarusi: Encykl./ Belarus. Encykl.; Redkal.: N. A. Dzisko i insh. – Mn.: BelEn, 1994. 415 p.
- [2] Vasilchenko, G.V. Opyt borby s navodneniyami v SSSR i zadachi inzhenernoj zashchity ot zatopenij selkhozugodij v pojme r. Pripyati / Vasilchenko G.V., Grinevich L.A. // Problemy Polessya. Vyp. 9. – Mn.: Nauka i tehnika, 1984. p. 20–27.
- [3] Vodnye resursy / Vasenko A.G., Volchek A.A., Greben' V.V., Gurskij D.S., Kalinin M.Yu., Nepapyshev A.A., Obodovskiy A.G., Osadchaya N.N., Stankevich A.P., Tishchikov G.M., Tishchikov I.G. // Upravlenie transgranichnym bassejnom Dnepra: Subbassejn reki Pripyati: monografiya / pod red. Obodovskogo A.G., Stankevicha A.P., Afanaseva S.A. – K.: Kafedra, 2012. p. 46–89.
- [4] Vozmozhnye izmeneniya rechnogo stoka v zavisimosti ot prognoziruемого izmeneniya klimata / Volchek A.A., Dashkevich D.N., Valuev V.E., Meshik O.P. // Ekologicheskij vestnik, 2011, nr. 3(17). p. 5–13.
- [5] Volchek, A.A. Ocenka antropogennogo vozdejstviya na vodnye resursy rek Belorusskogo Polessya / Volchek A.A., Luksha V.V. // Pryrodnae asyaro dze Palessya: suchasny

- stan i jago zmeny. Materyyaly Mizhnarodnaj navukovaj konferencyi (Brest, 20 – 21 chervinya 2002 g.) u 2-h chastkah. Chastka I. – Brest, 2002. p. 177–182.
- [6] Volchek, A.A. Vodnyye resursy Belarusi: sovremennoye sostoyaniye i prognoz/ A.A. Volchek, V.V. Luksha, S.I. Parfomuk // Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 177 p.
- [7] Volchek, A.A. Vodnyye resursy Respubliki Belarus' na sovremennom etape / A.A. Volchek, S.I. Parfomuk // Vestnik BrGTU. Vodokhozyaystvennoye stroitel'stvo, teploenergetika i geoekologiya. – 2011. – №2(68). p. 2–5.
- [8] Volchek, A.A. Dinamika ispol'zovaniya vodnykh resursov Respubliki Belarus'/ A.A. Volchek, S.I. Parfomuk, O.V. Vlasyuk// Perspektivy innovatsionnogo razvitiya Respubliki Belarus': sb. nauch. statey II Mezhd. nauch. konf., Brest, 19-20 maya 2011 g. / Brestskiy gos. tekhn. un-t; redkol.: A.M. Omel'yanyuk (otv. red.) [i dr.] – Brest; Izdatel'stvo BrGTU, 2011. p. 147–149.
- [9] Volchek, A.A. Zakonomernosti formirovaniya vodnogo balansa rechnykh vodosborov Belarusi: Formirovaniye vodnogo balansa Belarusi/ A.A. Volchek// Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 387 p.
- [10] Volchek, A.A. Zakonomernosti formirovaniya opasnykh meteorologicheskikh yavleniy na territorii Belorussii// A.A. Volchek, I.N. Shpoka// Uchenyye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta № 17. Nauchno-teoreticheskiy zhurnal. - SPb.: izd. RGGMU. 2010. p.64–88.
- [11] Volchek, A.A. Monitoring, otsenka i prognoz chrezvychaynykh situatsiy i ikh posledstviy / A.A. Volchek, P.S. Poyta, P.V. Shvedovskiy // Brest: Al'ternativa, 2012. 423 p.
- [12] Volchek, A.A. Otsenka summarnogo ispareniya na territorii Belarusi: sovremennoye sostoyaniye i prognoz / A.A. Volchek, D.N. Dashkevich // Ekologicheskii vestnik, 2013, №1(23). p.16–25.
- [13] Volchek, A.A. Polovod'ya na rekakh Belarusi: zakonomernosti formirovaniya i prognoz / A.A. Volchek, An.A. Volchek // Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 216 p.
- [14] Volchek, A.A. Prognoznyye otsenki izmeneniya stoka rek Belarusi / A.A. Volchek // Problemy i priorityety okhrany okruzhayushchey sredy, ekologicheskogo obrazovaniya i vospitaniya v Soyuznom gosudarstve / Mater. postoyanno deystvuyushchego seminar pri Parlamenskom Sobranii Soyuz Belarusi i Rossii (Zasedaniye dvadtsat' pyatoye, g. Samara, 21 – 23 iyunya 2011 g.) / Pod red. S.G. Strel'chenko. – M: Sekretariat Parlamenskogo Sobraniya Soyuz Belarusi i Rossii, 2011. p. 204–214.
- [15] Volchek, A.A. Prostranstvenno-vremennyye kolebaniya dozhdevykh pavodkov na rekakh Belorussii / A.A. Volchek, T.A. Shelest // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya, 2012, №3, p. 76–83.
- [16] Izmeneniya klimata Belarusi i ikh posledstviya/ V. F. Loginov, G. I. Sachok, i dr./ Pod obshch. red. V. F. Loginova; In – t probl. ispol'zov. prirod. resursov i ekologii NAN Belarusi. – Minsk: ODO «Tonpik», 2003. 330 p.
- [17] Kalinin, M.YU. Vodnyye resursy Belorusskogo Poles'ya: ispol'zovaniye i okhrana / M.YU. Kalinin, A.A. Volchek // Prirodnyye resursy, 2001. – №4. p. 35–49.
- [18] Landshaftnyye vody v usloviyakh tekhnogeneza: monografiya / O. V. Koretskaya [i dr.]. – Minsk: Bel. nauka, 2005. 347.
- [19] Loginov, V.F. Antropogennoye vozdeystviye na vodnyye resursy Belarusi / V.F. Loginov, M.YU. Kalinin, V.F. Ikonnikov. – Mn.: PoliBig, 2000. 284.
- [20] Loginov, V.F. Sravneniye prostranstvenno-vremennykh osobennostey izmeneniy opasnykh meteorologicheskikh yavleniy v kharakternoye i ne kharakternoye dlya nikh vremya goda/ V.F. Loginov, A.A. Volchek, I.N. Shpoka // Prirodopol'zovaniye: sb. nauch. tr. Vyp. 19/ Nats. akad. nauk Belarusi, In-t prirodopol'zovaniya; redkol. A.K. Karabanov [i dr.]. – Minsk: IP, 2011. 5–21.
- [21] Mezentsev, V.S. Gidrologo-klimaticheskaya gipoteza i primery yeye ispol'zovaniya / V.S. Mezentsev // Vodnyye resursy, 1995. – Tom 22, №3. p. 299–301.
- [22] Modul' rascheta zatopeniya territorii dlya sistemy monitoringa i prognozirovaniya pavodka / A.A. Volchek, D.A. Kostyuk, D.O. Petrov, N.N. Sheshko // Vestnik BGTU. Fizika, matematika, informatika. – 2011. – №5(71). p. 43–45.
- [23] Monitoring, ispol'zovaniye i upravleniye vodnymi resursami basseyna r. Pripyat' / Pod obshch. red. M. YU. Kalinina i A. G. Obodovskogo. – Mn.: Belsens, 2003. – 269 s.
- [24] Prirodnaya sreda Belarusi / Pod red. V.F. Loginova. Minsk: OOO «BIP – S», 2002. 352 p.
- [25] Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. – L.: Gidrometeoizdat. – T. 5. – ch.1. – 1966. – 718 s.; – ch. II. – 1966. 621 p.
- [26] Shvets, G.I. Vydayushchiyesa gidrologicheskkiye yavleniya na yugo-zapade SSSR / G.I. Shvets. – L.: Gidrometeoizdat, 1972. 243 p.
- [27] Volchak, A Lake water level variations in Belarus / A. Volchak, I. Kirvel // Limnological Review (2013) 13, 2. p. 115-126.