

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ
WATER RESOURCES
ВОДНЫЯ РЭСУРСЫ

УДК 504.4

В. Н. Корнеев¹, С. А. Дубенок², В. П. Музыкин¹, И. А. Булак¹

¹Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов, Минск, Беларусь, e-mail: kvn@cricuwr.by, mtm59minsk@gmail.com, i_bulak@tut.by

²Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: dsnega@list.ru

**ПРОГНОЗ РЕЧНОГО СТОКА И ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД
ДЛЯ ТЕРРИТОРИЙ БАСЕЙНА РЕКИ ПРИПЯТЬ С НАРУШЕННЫМ ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ
И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ**

Аннотация. Проведены исследования взаимодействия поверхностных и подземных вод в условиях изменяющегося климата для территорий с наиболее нарушенным гидрологическим режимом поверхностных вод и гидродинамическим режимом подземных вод в бассейне реки Припять. На основании проведенных экспериментальных исследований, гидрологических, гидрогеологических и статистических расчетов установлены закономерности взаимодействия поверхностных и подземных вод в местах интенсивного водоотбора для ключевых объектов исследований. Разработаны прогнозные карты речного стока и гидродинамического режима подземных вод для территорий с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом в бассейне Припяти.

Ключевые слова: поверхностные воды, подземные воды, изменение климата, гидрологический режим, гидродинамический режим, водопользование, мониторинг

V. N. Korneev¹, S. A. Dubianok², V. P. Muzykin¹, I. A. Bulak¹

¹Central Research Institute for Complex Use of Water Resources, Minsk, Belarus, e-mail: kvn@cricuwr.by, mtm59minsk@gmail.com, i_bulak@tut.by

²Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, e-mail: dsnega@list.ru

**FORECAST OF RIVER RUNOFF AND HYDRODYNAMIC REGIME OF GROUNDWATER FOR THE TERRITORIES
OF THE PRIPYAT RIVER BASIN WITH DISTURBED HYDROLOGICAL AND HYDRODYNAMIC REGIME**

Abstract. The research has been carried out to identify the interaction between surface water and groundwater in a changing climate for the territories with the most disturbed hydrological regime of surface water and hydrodynamic regime of groundwater in the Pripyat river basin. On the basis of experimental studies, hydrological, hydrogeological and statistical calculations the regularities of the interaction between surface water and groundwater in the places of intensive water withdrawal for the key objects of research have been established. Forecast maps of river flow and hydrodynamic regime of groundwater have been developed for the territories with the most disturbed hydrological and hydrodynamic regime in the Pripyat river basin.

Keywords: surface water, groundwater, climate change, hydrological regime, hydrodynamic regime, water use, monitoring

У. М. Карнееў¹, С. А. Дубянок², В. П. Музыкін¹, І. А. Булак¹

¹Цэнтральны навукова-даследчы інстытут комплекснага выкарыстання водных рэсурсаў, Мінск, Беларусь, e-mail: kvn@cricuwr.by, mtm59minsk@gmail.com, i_bulak@tut.by

²Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт, Мінск, Беларусь, e-mail: dsnega@list.ru

**ПРАГНОЗ РАЧНОГА СЦЁКУ І ГІДРАДЫНАМІЧНАГА РЭЖЫМУ ПАДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ТЭРЫТОРЫЙ
БАСЕЙНА РАКІ ПРЫПЯЦЬ З ПАРУШАНЫМ ГІДРАЛАГІЧНЫМ І ГІДРАДЫНАМІЧНЫМ РЭЖЫМАМ**

Анатацыя. Праведзены даследаванні ўзаемаўплыву паверхневых і падземных вод ва ўмовах зменлівага клімату для тэрыторый з найбольш парушаным гідралагічным рэжымам паверхневых вод і гідрадынамічным рэжымам падземных вод у басейне ракі Прыпяць. На падставе праведзеных эксперыментальных даследаванняў, гідралагічных, гідрагеалагічных і статыстычных разлікаў устаноўлены заканамернасці ўзаемаўплыву паверхневых і падземных вод у месцах інтэнсіўнага водаадбору для ключавых аб'ектаў даследаванняў. Распрацаваны прагнозныя карты рачнога сцёку і гідрадынамічнага рэжыму падземных вод для тэрыторый з найбольш парушаным гідралагічным і гідрадынамічным рэжымам у басейне Прыпяці.

Ключавыя словы: паверхневыя воды, падземныя воды, змяненне клімату, гідралагічны рэжым, гідрадынамічны рэжым, водакарыстанне, маніторынг

Введение. Поверхностные и подземные воды представляют собой единую природную систему, функционирование которой зависит от совокупности природных и антропогенных факторов. Актуальность исследований обусловлена необходимостью оценки изменения гидрологического режима поверхностных водных объектов за счет интенсивной добычи подземных вод на их водосборах, а также и решение обратной задачи, связанной с изменением гидрогеологического режима подземных вод за счет изменения гидрологического режима поверхностных вод, главным образом обусловленного изменением климата.

В связи с тем что процессы движения подземных вод протекают значительно медленнее, чем для поверхностных вод, они изучаются обычно отдельно. Вместе с тем особенно для малых водотоков очень важна оценка взаимного влияния поверхностных и подземных вод. Для детальной и достоверной оценки данного фактора необходимы детальные наблюдения за качественными и количественными характеристиками поверхностных и подземных вод в пределах всего водосборного бассейна за достаточно большой временной период. При их отсутствии наиболее приемлемым решением в данной ситуации является использование математических моделей взаимовлияния поверхностных и подземных вод, основанных на уравнениях математической физики движения воды в системах водотоков [1, 2] и подземной геофильтрации [3, 4], а также на полуэмпирических и расчетных зависимостях к ним.

При наличии данных режимных наблюдений для характеристики взаимовлияния поверхностных и подземных вод могут быть использованы статистические методы обработки результатов наблюдений. Тем самым оценка сокращения речного стока при отборе подземных вод и изменения гидрогеологического режима подземных вод (верхнего водоносного горизонта) при изменении речного стока могут выполняться с использованием численных методов решения систем уравнения математической физики и аналитических методов, основанных уже на использовании эмпирических, полуэмпирических и регрессионных зависимостей.

Использование единых моделей поверхностных и подземных вод, основанных на полученных статистических закономерностях их взаимовлияния, является одним из наиболее перспективных направлений при обосновании рационального использования водных ресурсов и повышения водообеспеченности водосборов.

Методическая часть. Объектом исследования взаимовлияния поверхностных и подземных вод в пределах основных речных бассейнов Республики Беларусь выбран бассейн реки Припять в связи с наличием территорий с интенсивным водоотбором подземных вод и существованием на этих территориях поверхностных водных объектов, на которые может быть оказано значимое влияние данного водоотбора.

Установление зависимостей взаимовлияния поверхностных и подземных вод в бассейне Припяти основано на оценке тенденций изменения речного стока и гидродинамического режима по данным мониторинга поверхностных и подземных вод за период 1989–2020 гг., а также экспериментальных исследований, проведенных в 2021 г.

Анализ статистической оценки изменения речного стока и уровней воды в поверхностных водных объектах показал устойчивую тенденцию уменьшения речного стока и снижения уровней воды в бассейне Припяти по большинству из рассматриваемых водных объектов во все периоды года, за исключением весеннего и начала лета.

В среднем по бассейну Припяти в среднеммесячном разрезе максимальное уменьшение речного стока в период летне-осенней межени (в августе) составляет 22 % со снижением уровней воды в среднем на 17 см. Наиболее уязвимыми поверхностными водными объектами в части изменения стока и уровней воды в данном бассейне являются: сама р. Припять, а также реки Уборть, Горынь, Бобрик, Ясельда, Птичь, Оресса. Уменьшение речного стока рек Припять, Уборть, Горынь обусловлено в том числе снижением объема стока, поступающего с территории Украины.

Исходя из целевой направленности изучения гидродинамического режима подземных вод в бассейне Припяти и оценки взаимовлияния поверхностных и подземных вод, в качестве ключевых объектов исследований приняты следующие.

1. Для исследований условий взаимовлияния поверхностных и подземных вод, относящихся к гидродинамическому типу интенсивно дренированных территорий, – участок расположения группового водозабора подземных вод «Лучежевичи» в Мозырском районе (рис. 1). В зоне влияния рассматриваемого участка расположены следующие поверхностные водные объекты: реки Тур, Припять, Нетечь и мелиоративный канал.

2. Для исследований условий взаимовлияния поверхностных и подземных вод, относящихся к гидродинамическому типу умеренно дренированных территорий, – участок расположения карьера на месторождении «Микашевичи» в Лунинецком районе (рис. 2). В зоне влияния рассматриваемого участка расположены следующие поверхностные водные объекты: реки Лань, Припять, Глухая Лань, Волхва, каналы Ситницкий, Микашевичский, Пангалосовский, Главный.

Расчетные гидрологические характеристики минимального и годового стока в створах ключевых объектов исследований поверхностных вод в бассейне Припяти, определенные с использованием ТКП 45-3.04-168-2009 [5], приведены в таблице.

Закономерности взаимовлияния поверхностных и подземных вод для ключевых объектов исследований в бассейне Припяти определены с использованием корреляционного анализа и метода построения разностных кривых [6]. При этом для характеристики этих закономерностей рассчитаны кривые линейной регрессии при выполнении условий высокой корреляции и при величине достоверности аппроксимации $R^2 > 0,5$.

На основе полученных данных осуществлено построение прогнозных карт изменения речного стока и гидродинамического режима подземных вод в бассейне Припяти в пределах территорий с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом. Прогнозные расчеты проведены с использованием результатов прогноза изменения климата и речного стока для бассейна Припяти, выполненного в 2016–2017 гг. и представленного в монографии [7]. Прогноз изменения климата (в части изменения температуры воздуха и осадков) и речного стока до 2035 г. представлен в 2013 г. в рамках пятого доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) в мультимодельном ансамбле из четырех сценариев (RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5, RCP2.6) [8], а также карт-схем, разработанных МГЭИК с использованием глобальных климатических моделей и представленных в приложении к указанному докладу, – в атласе глобальных и региональных климатических прогнозов [9].

В 2021 г. выполнено уточнение прогноза речного стока в бассейне Припяти с использованием мультимодельного ансамбля уже из пяти сценариев (SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5), представленных в опубликованном в 2021 г. проекте шестого доклада МГЭИК по изменению климата [10]. По информации шестого доклада, температура воздуха до 2040 г. для наиболее неблагоприятного сценария SSP5-8.5 может увеличиться еще на 0,5 °С. При этом на территории Беларуси годовое количество осадков может измениться незначительно: суммарно за год может уменьшиться на 5 % (в отличие 2 %, согласно пятому докладу).

Общая характеристика закономерностей взаимовлияния поверхностных и подземных вод и степени влияния эксплуатации водозабора на речной сток. По результатам проведенных исследований выявлены следующие статистически значимые закономерности в местах интенсивного водоотбора в бассейне Припяти: для водозабора подземных вод «Лучежевичи» по уровням подземных вод, наблюдаемых в скважине № 149, с уровнями воды в р. Припяти на гидрологическом посту в г. Мозыре (рис. 3); для участка расположения карьера на месторождении «Микашевичи» – по уровням подземных вод, наблюдаемых в скважине № 103 Синкевичского гидрогеологического поста и уровнями в р. Лань у н. п. Мокрово (рис. 4).

Анализ корреляционных зависимостей между уровнями подземных вод на участке расположения карьера на месторождении «Микашевичи» по данным локального мониторинга в четырех скважинах и уровнями воды в р. Лань у н. п. Мокрово показал слабые корреляционные зависимости ввиду нарушенного гидрогеологического режима подземных вод в этих скважинах. Слабая корреляционная зависимость также наблюдается между уровнями подземных вод и уровнями воды в р. Свиновод у н. п. Симоници (фоновый ключевой объект) в связи со значительной удаленностью наблюдательной скважины гидрогеологического поста от гидрологического поста на р. Свиновод.

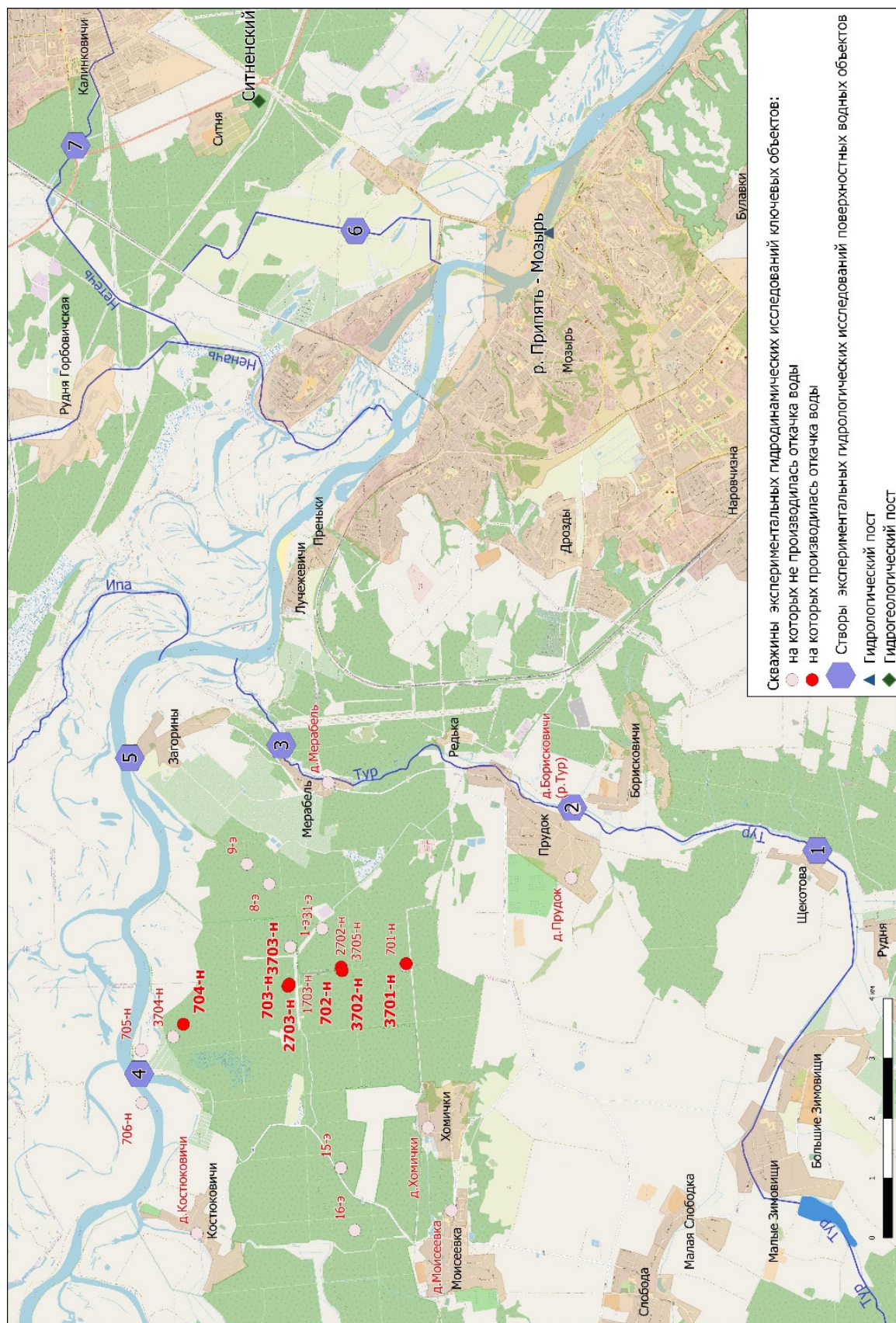


Рис. 1. Схема расположения створов экспериментальных исследований поверхностных водных и подземных водных объектов в районе группового водозабора подземных вод «Лучезевичи» (1–5) и «Ситня» (6, 7)

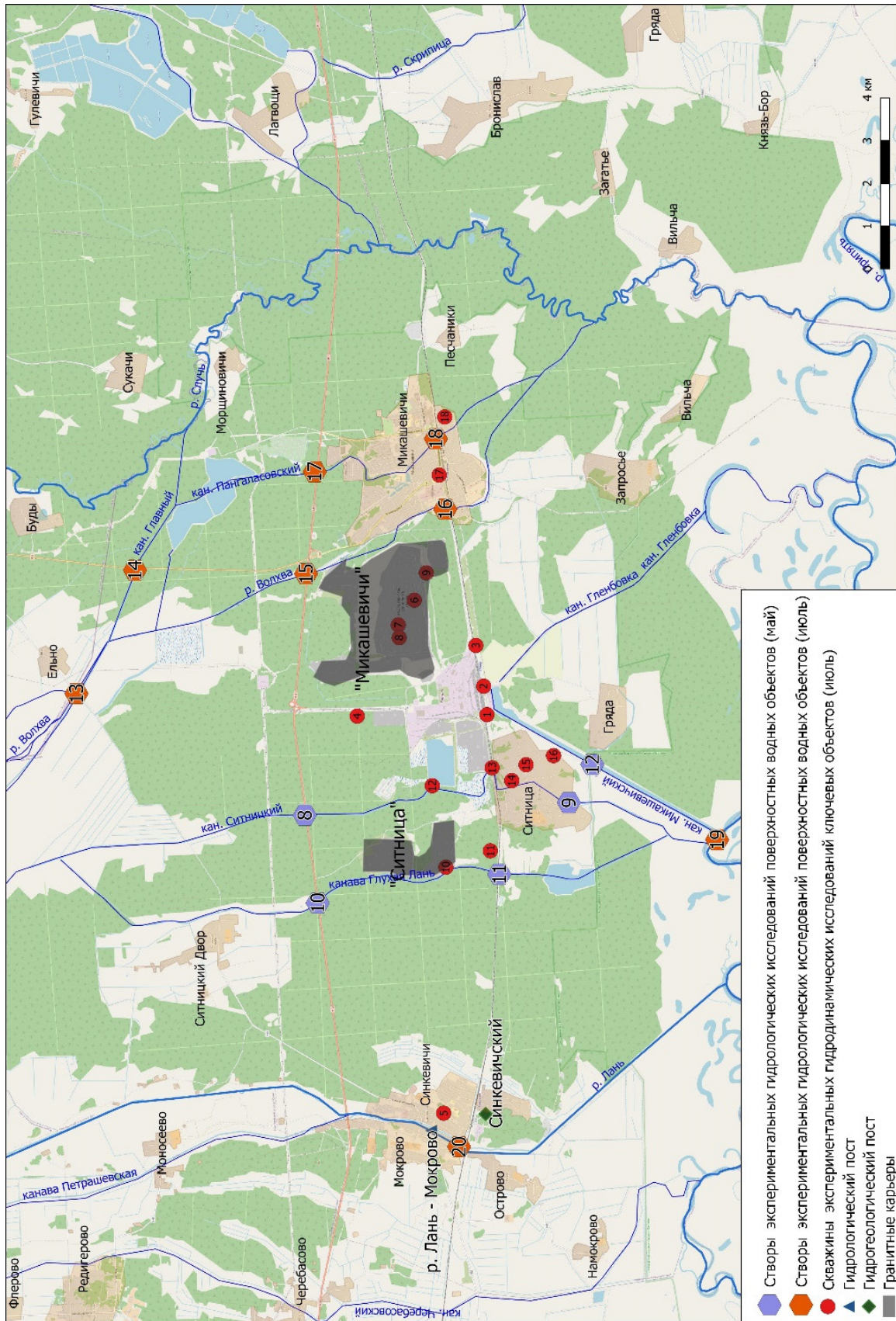


Рис. 2. Схема размещения створов экспериментальных исследований поверхностных и подземных водных объектов в районе расположения карьера на месторождении «Микашевичи»

**Гидрологические характеристики минимального и годового стока
в створах ключевых объектов исследований поверхностных вод в бассейне Припяти**

Река, створ	Расчетные расходы воды			Измеренный в меженный период 2021 г. расход воды, м³/с
	$Q_{min} - 75\% \text{ ВП}, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{min} - 95\% \text{ ВП}, \text{ м}^3/\text{с}$	$Q_{г} - 50\% \text{ ВП}, \text{ м}^3/\text{с}$	
01_река Тур – Щекотова	0,180	0,097	0,513	0,471
02_река Тур – Борисковичи	0,243	0,132	0,695	0,197
03_река Тур – Мерабель	0,278	0,151	0,795	0,145
04_река Припять – Дубрава (дачи)	139,1	86,0	375,8	122,2
05_река Припять – Загораны	139,1	86,1	376,0	122,1
06_канал Мелиоративный – Пхов	0,0036	0,0015	0,0227	с.р.
07_река Нетечь – М10	0,092	0,050	0,264	0,082
08_канал Ситницкий – М10	0,0169	0,0076	0,102	0,046
09_канал Ситницкий – Ситница	0,0317	0,0146	0,187	0,232
10_река Глухая Лань – М10	0,042	0,023	0,121	0,076
11_река Глухая Лань – Ситница	0,070	0,038	0,199	0,005
12_канал Микашевичский – Ситница	0,0029	0,0011	0,0163	с.р.
канал Главный – Ельно	0,264	0,141	1,263	0,145
канал Главный – Р23	0,27	0,144	1,29	0,044
река Волхва – М10	0,0225	0,0112	0,119	с.р.
река Волхва – Микашевичи	0,0266	0,0134	0,14	с.р.
канал Панголосовский – М10	0,0047	0,0023	0,0265	с.р.
канал Панголосовский – Микашевичи	0,008	0,0039	0,0438	с.р.
река Припять – канал Микашевичский	94,9	58,7	256,5	67,3
река Лань – Мокрово	2,2	1,03	8,68	0,683

П р и м е ч а н и е. ВП – вероятность превышения. * с.р. – сухое русло.

Оценка степени влияния эксплуатации водозабора на речной сток выполнена с использованием коэффициента потери меженного речного стока при отборе подземных вод, которые определяются по следующей формуле [11]:

$$K_{\text{пмрс}} = \frac{\Delta Q_{\text{спс}}}{Q_{\text{min см. 95\%ВП}}}, \quad (1)$$

где $\Delta Q_{\text{спс}}$ – сокращение стока при добыче подземных вод (за минусом возможного сокращения речного стока, обусловленного изменением климата), м³/с; $Q_{\text{min см. 95\%ВП}}$ – минимальный средне-месячный расход воды 95 %-ной вероятности превышения (обеспеченности) в поверхностном водном объекте в районе добычи подземных вод, определяемый с использованием ТКП 45-3.04-168-2009 [5].

Потери (сокращение) речного стока при добыче подземных вод определены по разнице указанных гидрологических характеристик расходов воды за период летне-осенней межени с 1989

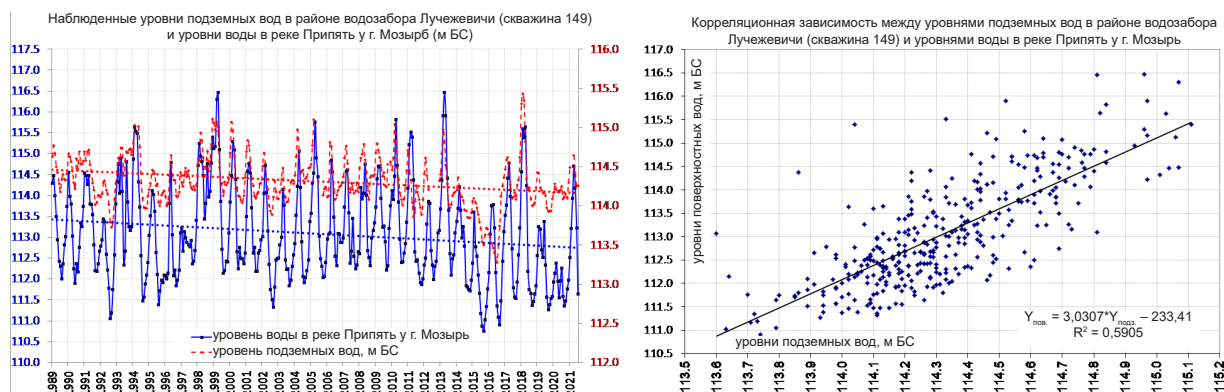


Рис. 3. Наблюдаемые уровни подземных вод по скважине № 149 Ситненского гидрогеологического поста и уровни воды в р. Припяти у г. Мозыря с корреляционными зависимостями между ними

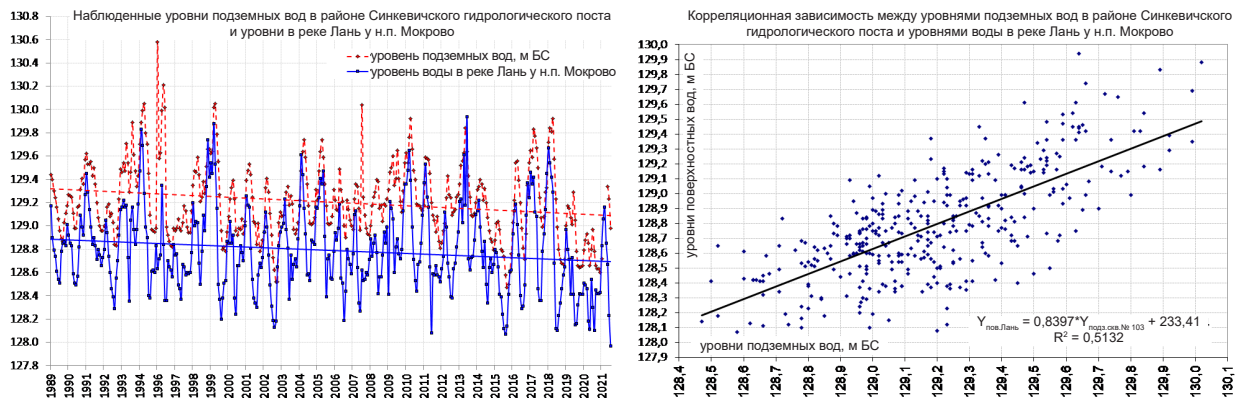


Рис. 4. Наблюдаемые уровни подземных вод в скважине № 103 Синкевичского гидрогеологического поста и уровни воды в р. Лань у н. п. Мокрово с корреляционной зависимостью между ними

по 2004 г. с аналогичным значением за период с 2005 по 2020 г., соответствующий периоду добычи подземных вод на участке расположения карьера на месторождении «Микашевичи» (рис. 5). При этом вычитается доля изменения стока, определяемая изменением климата, по среднему значению указанной величины, которая найдена для гидрологических постов в бассейне рек, расположенных на территории, с отсутствием интенсивной добычи подземных вод. Указанная доля (в %) определялась как соотношение относительного изменения речного стока к относительному изменению количества осадков.

По величине значения коэффициента потери меженного речного стока при добыче подземных вод $K_{п.м.р.с}$ можно судить о степени влияния на меженный сток и выявлять участки рек, подверженные влиянию: если этот коэффициент меньше 0,25 – потери незначительные, больше 0,25 и меньше 1 – потери значительные, больше 1 – потери стока полные [11,12].

Коэффициент потери меженного речного стока при добыче подземных вод на участке расположения карьера на месторождении «Микашевичи» составил 0,214. Это показывает, что потери речного стока в р. Лань к створу у н. п. Мокрово (река относится к средним рекам) могут быть близкими к границе диапазона, соответствующей значительным потерям, особенно с учетом снижения речного стока в связи с изменением климата. Аналогичный коэффициент для Припяти в районе добычи подземных вод в районе водозабора «Лучежевичи» за период с 1989 по 2020 г. с использованием трендов (водозабор функционирует весь указанный период) оценивается в 0,026, что характеризует как незначительное влияние добычи подземных вод на речной сток.

Предварительно можно сделать заключение, что для водотоков, у которых минимальный среднемесячный расход воды 95 %-ной вероятности превышения (обеспеченности) больше, чем среднегодовой расход воды при добыче подземных вод – потери речного стока, обусловленные указанным водоотбором, будут незначительными или не очень значительными. При этом объем годового речного стока при очень низкой водности (95 %-ной ВП) должен быть, как минимум, в четыре раза больше, чем годовой объем водоотбора подземных вод, что в основном характеризует средние и большие реки.

Однако для малых рек влияние водоотбора подземных вод на речной сток может быть значительным и очень значительным (р. Глухая Лань по материалам экспериментальных гидрологических исследований). Данный вывод подтвердили экспериментальные исследования, проведенные в наиболее репрезентативный для оценки взаимовлияния поверхностных и подземных вод меженный период 2021 г. В ходе гидрологических исследований водных объектов, представляющих собой малые реки и каналы, в зоне влияния водоотбора подземных вод речной сток зафиксирован существенно ниже расчетного показателя, характерного для данных гидрологических условий сезона, а в некоторых водных объектах (р. Волхва, каналы Микашевичский и Панголасовский) наблюдалось полное отсутствие (потеря) стока.

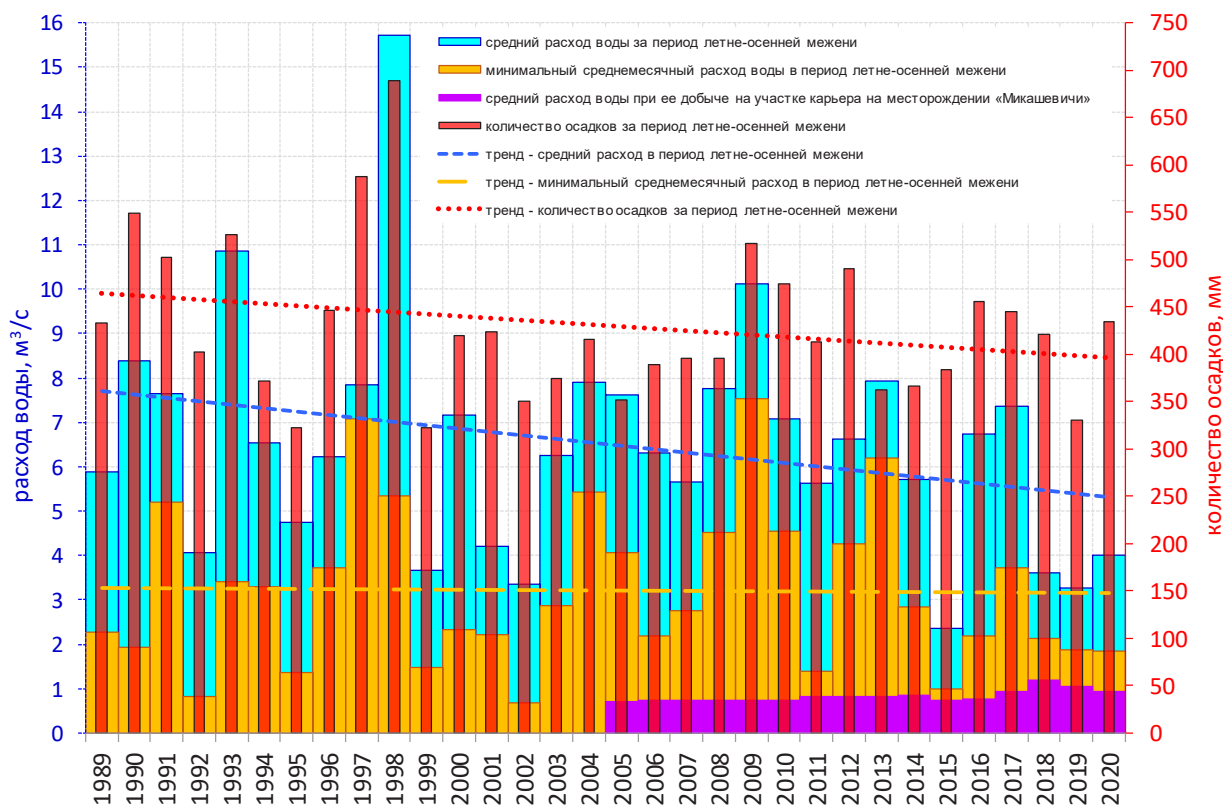


Рис. 5. Средние и минимальные среднемесячные расходы воды за период летне-осенней межени в. Лань у н. п. Мокрово, количество осадков за данный период по ближайшей метеорологической станции у г. Житковичи и средние расходы воды при ее добыче на участке расположения карьера на месторождении «Микашевичи»

Результаты прогноза речного стока и гидродинамического режима подземных вод для территорий с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом в бассейне Припяти с учетом взаимовлияния поверхностных и подземных вод. Результаты прогноза речного стока, выполненного с использованием базовых данных, представленных в монографии [7], с учетом уточнения по зависимостям «осадки–сток» для гидрологических постов, расположенных в районе территорий с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом в бассейне Припяти, приведены на рис. 6.

При этом согласно проведенным расчетам, максимальное сезонное снижение речного стока в летний период на участках гидрологических постов на период до 2035 г. по отношению к периоду с 1989 по 2020 г. может составить (%): р. Припять, н. п. Черничи (г. Туров) – на 22,4; р. Припять, г. Мозырь – на 20,2; р. Цна, н. п. Дятловичи – на 26,2; р. Лань, н. п. Мокрово – на 24,3; р. Случь, н. п. Ленин – на 14,3; р. Птичь, н. п. Лучицы – на 23,2; р. Уборть, н. п. Краснобережье – на 24,6.

Максимальное прогнозируемое снижение поверхностного стока на двух ключевых объектах (участок расположения группового водозабора подземных вод «Лучежевичи» в Мозырском районе и участок расположения карьера на месторождении «Микашевичи» в Лунинецком районе) может составить 22 %.

Прогноз изменения режима уровней грунтовых (УГВ) и напорных (УНВ) вод на исследуемой территории на период до 2035 г. выполнен с использованием коэффициента относительного положения уровней УГВ (УНВ), который определяется по следующей формуле [13]:

$$K_{от} = \frac{H_i - H_{ср.мн}}{H_{max} - H_{min}}, \quad (2)$$

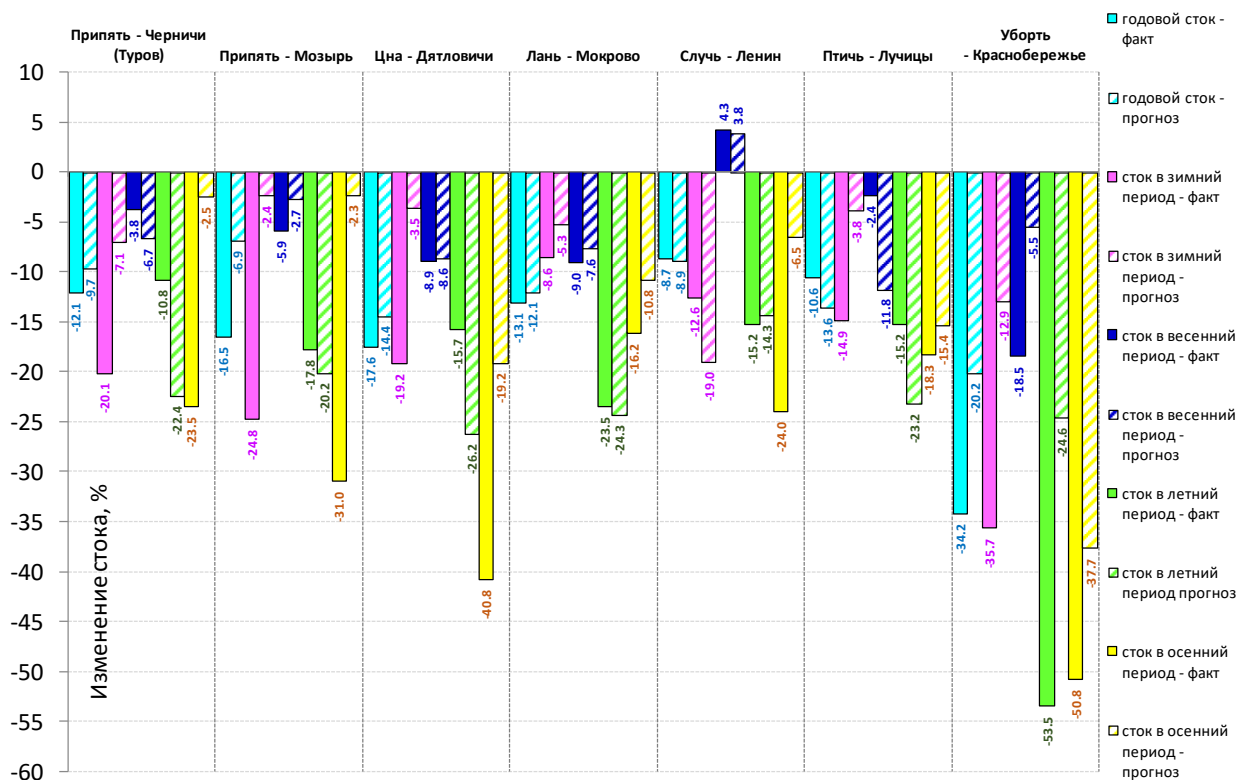


Рис. 6. Результаты фактического изменения речного стока за период с 1989 по 2020 г. и прогноза речного стока до 2035 г. для гидрологических постов, релевантных к территориям с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом в бассейне Припяти

где H_i – средняя глубина залегания УГВ (УНВ) за период прослеживаемых изменений (весна, лето) на участке, м; $H_{\text{ср.мн}}$ – среднемноголетняя норма глубины залегания УГВ (УНВ) за период наблюдений 1989–2020 гг., м; $H_{\text{min}}, H_{\text{max}}$ – минимальная и максимальная глубина залегания УГВ (УНВ) за период весна или лето, м.

Расчеты указанного коэффициента выполнены для участков гидрогеологических постов в весенний (февраль–апрель) и летний (июнь–август) периоды на протяжении времени наблюдений за 2013–2020 гг. Данный коэффициент показывает, какую часть общих колебаний УГВ (УНВ) составляет в этот период превышение над среднемноголетней нормой УГВ (УНВ).

При $K_{\text{от}} = 0$ глубина залегания УГВ (УНВ) в период наблюдений 2013–2020 гг. находилась на отметке среднемноголетней нормы, если $K_{\text{от}} > 0$, то соответственно данная расчетная часть общих колебаний УГВ (УНВ) в этот период была больше среднемноголетней нормы, при $K_{\text{от}} < 0$, наоборот, меньше среднемноголетней нормы.

Прогнозирование изменения гидродинамического режима грунтовых и напорных вод на исследуемой территории осуществлено в следующем порядке.

1. Для прогноза использованы временные ряды наблюдений Синкевичского, Ситненского, Симоничско-Рудненского и других гидрогеологических постов, расположенных в данной части бассейна Припяти. Статистическая обработка данных наблюдений показала, что в хронологических графиках изменений уровней грунтовых (УГВ) и напорных (УНВ) вод существуют многолетние ритмы спадов и подъемов средней продолжительностью 14 лет. Подобные хронологические ритмы спадов и подъемов уровней воды установлены и для р. Припяти. В настоящее время на участках гидрогеологических постов и р. Припяти в данной части ее бассейна осуществляется общий спад среднемесячных уровней воды, начавшийся в 2013 г.

2. УГВ и УНВ в 2013–2020 гг. на участках характеризовались режимом преимущественно на уровне и ниже среднемноголетних норм, что соответствует фазе водного режима, близкой к ма-

ловодной. Расчетные коэффициенты относительного положения уровней УГВ (УНВ) в пределах территории составили в весенний (февраль–апрель) 4–19 %, реже 20–30 %, а в летний (июнь–август) от 5 до –31 % периоды. Коэффициент относительного положения уровней УГВ (УНВ) показывает, какая часть среднемесячных колебаний УГВ (или УНВ в %) в конкретный период наблюдений на участке превышает среднемноголетнюю норму.

3. Пользуясь графиками связи минимального уровня подземных вод в летний период ($H_{лет.мин}$) с максимальным уровнем подземных вод в весенний период ($H_{вес.маx}$) для периода спада УГВ и УНВ, начавшегося в 2013 г., осуществлено удлинение рядов наблюдений для гидрогеологических постов с использованием методов, рекомендуемых в работах [13–15]. Удлинение проведено на шесть лет, до 2026 г. включительно – ориентировочного окончания 14-летнего ритма спада УГВ и УНВ, начавшегося в 2013 г.

4. С использованием вычисленных коэффициентов относительного положения уровней на участках гидрогеологических постов осуществлено распределение удлинённых рядов наблюдений за 2013–2026 гг. в обратном порядке. В полученные выборки внесены дополнительные поправки в размере коэффициентов прогнозного максимального сезонного изменения стока

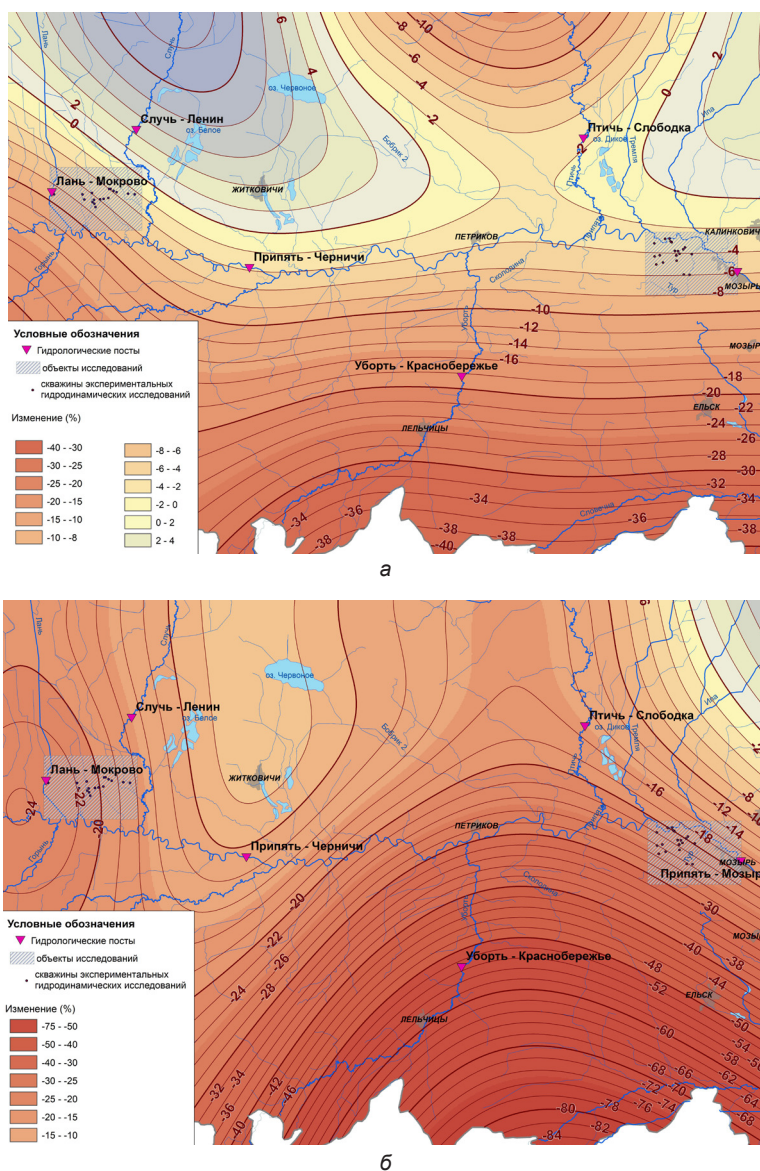


Рис. 7. Прогнозные карты до 2035 г. речного стока в весенний период (а) и в летний период (б) для территорий с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом в бассейне Припяти

рек в летне-осенний период (представленные выше по тексту настоящей статьи). Полученные ряды значений выборок приняты в качестве прогнозных временных рядов (предикторов) на 2027–2035 гг.

5. Правомерность внесения дополнительных поправок для УГВ и УНВ на основе коэффициентов прогнозного максимального сезонного изменения стока рек определяется наличием прямой пропорциональной связи расхода подземного стока с изменением уровней подземных вод, поскольку расход является функцией от изменения УГВ (УНВ): $Q_i = f(\Delta H_i)$.

6. С использованием прогнозных временных рядов осуществлено построение прогнозных графиков связи $H_{\text{лет.min}}$ с $H_{\text{вес.max}}$ на период 2027–2035 гг. и коэффициентов относительного положения уровней УГВ (УНВ), возможных на расчетных участках гидрогеологических рядов в весенний и летний периоды.

На основании проведенных экспериментальных исследований, гидрологических, гидрогеологических и статистических расчетов разработаны прогнозные карты речного стока и гидродинамического режима подземных вод для территорий с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом в данной части бассейна Припяти (рис. 7 и 8).

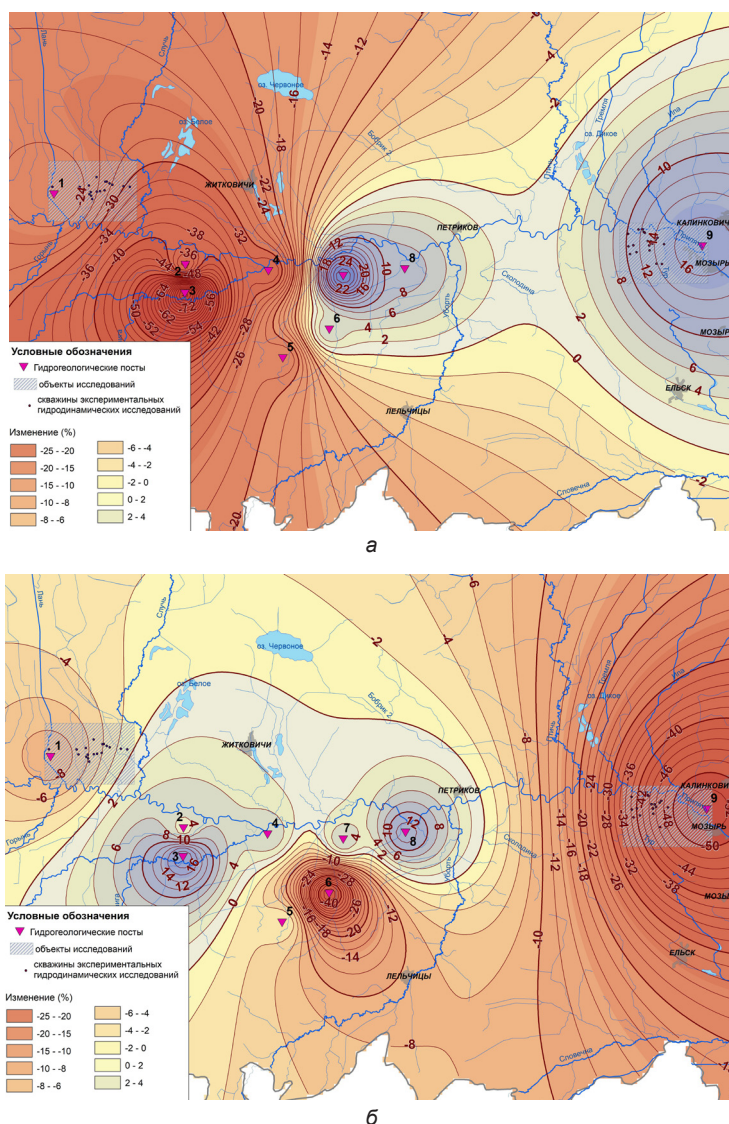


Рис. 8. Прогнозные карты на период до 2035 г. гидродинамического режима подземных вод по отклонению прогнозных коэффициентов относительного положения их максимальных уровней в весенний период (а) и минимальных уровней в летний период (б) подземных вод для территорий с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом в бассейне Припяти

На картах рис. 8 отражено распределение прогнозных расчетных данных об изменении гидродинамического режима УГВ и УНВ на участках гидравлической связи с поверхностными водами в весенний (февраль–апрель) и летний (июнь–август) периоды до 2035 г. по отклонению прогнозных коэффициентов относительного положения максимальных уровней подземных вод. Величины прогнозных коэффициентов относительного положения уровней подземных вод определены как разность коэффициентов прогнозного и современного относительного положения уровней подземных вод. Использование коэффициента относительного положения уровней на карте дает представление о направленности режима подземных вод, т.е. о тенденциях в изменении их уровней, а также общее представление об условиях водности года в исследуемом периоде.

Закключение. Результаты прогноза речного стока и гидродинамического режима подземных вод с учетом их взаимовлияния поверхностных и подземных вод позволили для территорий с наиболее нарушенным гидрологическим и гидродинамическим режимом в бассейне реки Припять разработать рекомендации по рациональному использованию и охране поверхностных и подземных вод, а также сформулировать научно-обоснованные предложения по оптимизации систем мониторинга поверхностных и подземных вод по количественным параметрам в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь.

В качестве основного рекомендуемого мероприятия по поддержанию стока поверхностных водных объектов в зоне влияния месторождений строительного камня Микашевичи и Ситницкое предложено размещение резервного водохранилища в районе слияния канала Главный и р. Волхвы с его наполнением водами карьерного водоотлива на месторождении Микашевичи и Ситницкое. Дополнительное обводнение р. Волхвы и канала Панголосовского может осуществляться путем организации попусков из резервного водохранилища в маловодные и в очень маловодные периоды.

Оптимизация сети мониторинга поверхностных и подземных вод основана на предложениях по оборудованию нового гидрогеологического поста на р. Припяти непосредственно ниже выпуска в реку канала Микашевичский для изучения режима грунтовых вод и взаимовлияния с поверхностными водами р. Припяти в районе воздействия карьеров РУПП «Гранит».

Благодарности. Результаты исследований получены в 2021 г. в рамках выполнения задания «Исследование взаимовлияния поверхностных и подземных вод в условиях изменяющегося климата» Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда», 2021–2025 гг.

Список использованных источников

1. Система физико-математических моделей гидрологических процессов и опыт ее применения к задачам формирования речного стока / Л. С. Кучмент [и др.] // Водные ресурсы. – 1988. – № 5. – С. 24–26.
2. *Рогонович, В. П.* Автоматизация математического моделирования движения воды и примесей в системах водотоков / В. П. Рогонович. – Л.: Гидрометеоздат, 1989. – 263 с.
3. *Лукнер, Л.* Моделирование геофильтрации / Л. Лукнер, В. М. Шестаков. – М., 1976. – 407 с.
4. *Климентов, П. П.* Динамика подземных вод / П. П. Климентов, В. М. Кононов. – М., 1973. – 440 с.
5. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения: ТКП 45-3.04-168-2009. – Введ. 01.07.2010. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. – 55 с.
6. *Рождественский, А. В.* Статистические методы в гидрологии / А. В. Рождественский, А. И. Чеботарев. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 424 с.
7. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / под общ. ред. А. А. Волчека, В. Н. Корнеева. – Брест: Альтернатива, 2017. – 228 с.
8. Изменение климата, 2013 г. Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Резюме для политиков. – Женева: МГЭИК, 2013. – 28 с. // Материалы МГЭИК. Электронный ресурс. – Режим доступа: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf. – Дата доступа: 04.02.2022.
9. Climate Change 2021. The Physical Science Basis. (на английском языке). – Женева: МГЭИК, 2021. – 3949 с. // Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Электронный ресурс. – Режим доступа: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>. – Дата доступа: 04.02.2022.
10. Climate Change 2021. The Physical Science Basis. (на английском языке). – Женева: МГЭИК, 2021. – 3949 с. // Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Электронный ресурс. – Режим доступа: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>. – Дата доступа: 04.02.2022.

11. *Черепанский, М. М.* Теоретические основы гидрогеологических прогнозов влияния подземных вод на речной сток / М. М. Черепанский. – М.: НИИ–Природа, 2005. – 260 с.
12. *Черепанский, М. М.* Региональные оценки сокращения речного стока при отборе подземных вод / М. М. Черепанский. – М.: НИИ–Природа, 2006. – 156 с.
13. *Ковалевский, В. С.* Условия формирования и прогнозы естественного режима подземных вод / В. С. Ковалевский. – М.: Недра, 1973. – 152 с.
14. Применение методов математической статистики для анализа и прогноза режима уровня подземных вод (методические указания). – М.: ВСЕГИНГЕО, 1967. – 107 с.
15. *Зальцберг, Э. А.* Статистические методы прогноза естественного режима уровня грунтовых вод / Э. А. Зальцберг. – М.: Недра, 1976. – 100 с.

Поступила 07.02.2022