



УДК 556.047+556.332.52

А. Л. Шевченко¹, В. И. Осадчий², Д. В. Чарный³

¹д-р геол. наук, ст. науч. сотрудник, проф. каф. гидрогеологии и инженерной геологии
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко

²д-р геогр. наук, чл.-кор. НАН Украины,
директор Украинского гидрометеорологического института НАН Украины

³д-р техн. наук, ст. науч. сотрудник
Института водных проблем и мелиорации НАН Украины
e-mail: shevch62@gmail.com

ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА, БАЛАНСА И РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПОЛЕСЬЯ И ЛЕСОСТЕПИ УКРАИНЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

Изложены результаты расчетов многолетнего подземного стока в р. Южный Буг методом конечных разностей. Сопоставление, в т. ч. с помощью множественного корреляционного анализа, динамики подземного стока с метеорологическими данными за 37 лет позволило выявить более значимую зависимость стока от среднемесячной температуры приземного слоя воздуха, чем от суммы атмосферных осадков, два многолетних периода с различными трендами, а также тесную связь поворотного для тренда экстремума (1997–1998) с аномальными изменениями температурного режима. На первом этапе проявилось положительное влияние повышения температуры зимнего периода на сток и ресурсы грунтовых вод, на втором, особенно начиная с 2010 г., на фоне уменьшения питания происходит истощение емкостных запасов и ресурсов. Также выявлена закономерная цикличность подземного стока, равная 7–8 годам, отличная от цикличности уровня грунтовых вод, и учащение за последние 10 лет чередования пиков минимального годового стока.

Введение

Заметное снижение уровней грунтовых вод (УГВ) происходит в Украине с 2013–2014 гг. Аномально низкие уровни наблюдались в 2015 г., что связывают с уменьшением количества осадков. Действительно, маловодные циклы – это обычное явление, и в истории мониторинговых наблюдений за УГВ не было необратимых процессов, тем более что подземные воды, в отличие от твердых полезных ископаемых, относятся к возобновляемым ресурсам. Резко неустановившийся режим поверхностного стока в последние два десятилетия вместе со снижением тренда атмосферных осадков наблюдается на всей планете и в основном связывается с катастрофическим уменьшением площади лесного покрова, вызванным не столько вырубками, сколько масштабными пожарами.

Однако безусловное наличие такого пока еще необратимого явления, как увеличение среднегодовой и сезонных температур, заставляет взглянуть на причины изменения режима грунтовых вод более системно. Есть серьезные основания полагать, что в связи с глобальными изменениями климата происходят глубокие зональные изменения, влекущие за собой не только уже известные изменения соотношения осадков и испарения [1; 2], режима поверхностного стока [2], смену растительного покрова, миграцию животных с юга на север, постепенные почвенные трансформации, но и смену инфильтрационного типа режима грунтовых вод Полесья и лесостепи на испарительно-инфильтрационный и испарительный. Настораживает, что рост температуры происходит неравномерно во времени, наблюдается повышение его интенсивности за последние десятилетия: если в 2001–2011 гг. увеличение температуры составляло 0,3 °С / 10 лет, то сейчас можно говорить о фоновой интенсивности порядка 0,45–0,54 °С / 10 лет [3; 4] и ее возрастании в крупных городах Украины – до 0,857 °С / 10 лет (Полтава) и выше [5].



Таким образом, в работе мы поставили цель установить характер и степень влияния повышения температуры на питание, разгрузку, колебания уровня грунтовых вод, а главное, на изменения запасов грунтовых вод и их стока в реки.

Материалы и методы исследования

На Украине с начала 50-х гг. прошлого века проводятся наблюдения за уровнем подземных вод по государственной сети мониторинга, которая к нашему времени, к сожалению, существенно сократилась. Так, по данным ГНПП «Геоинформ Украины» на 2018 г., в зоне достаточного и избыточного увлажнения, включающей Полесье и Карпаты, оставалось 70 скважин для наблюдений за УГВ в ненарушенных и слабонарушенных условиях, из которых 48 приходилось на четвертичный водоносный горизонт [6]. При этом с регулярным рядом наблюдений длительностью более 30 лет можно выбрать всего около десятка. Однако даже таких непрерывных хронологических рядов УГВ недостаточно для анализа причин и глубины фиксируемых изменений в режиме грунтовых вод. Необходимо точное количественное определение подземного стока. Для этого практически всегда используют метод расчленения гидрографов, большие погрешности которого обусловлены субъективным фактором. Значительно более достоверные результаты можно получить выполнив расчеты численным методом по известным гидродинамическим уравнениям неустановившейся фильтрации грунтовых вод, выраженным в конечных разностях [7; 8]. Впрочем, этот метод также имеет определенные ограничения, поскольку в случае значительной неоднородности гидрогеологических условий характеризует подземный сток лишь на локальном уровне. Для региональной представительности этого метода желательно, чтобы условия в бассейне были однородными, в первую очередь по водообеспеченности (в пределах одной климатической зоны) и по интенсивности дренирования. Иначе приходится устраивать целый ряд створов для каждого типа условий.

Кроме этого, в ходе выбора объектов и фактических данных возникла еще одна проблема. Для определения многолетнего подземного стока в реки необходимы створы мониторинговых скважин, совмещенные с гидрометрическими постами. Оказалось, что таких на Украине практически не существует, за исключением нескольких внутриведомственных створов и балансовых полигонов. Также необходимым условием являлось наличие вблизи створа метеостанции. Более всего отвечали требованиям скважины в г. Хмельник Винницкой области. Путем «переноса» ближайшего (около 1 км от скважин) гидропоста на р. Южный Буг в с. Лелитка, с поправкой на уклон потока реки, мы совместили его со створом из трех скважин в г. Хмельник.

Результаты исследований и их обсуждение

После расчетов подземного стока за 37 лет методом конечных разностей удалось построить и сопоставить хронологические графики изменений УГВ и подземного стока в реку (рисунок 1).

Если анализировать режим уровня грунтовых вод (рисунок 1а), то с 1989–1990 гг. прослеживается переход тренда в многоводную фазу, что характерно для большей части территории лесостепи и Полесья Украины. Хронологические графики более чем по 50 мониторинговым скважинам в разных климатических зонах и бассейнах отличаются по характеру кратковременных колебаний УГВ. Для выделения генеральных закономерностей и многолетних трендов построены разностные интегральные кривые, отражающие нарушения стационарности рядов данных, выражающиеся в многолетних



изменениях отношения отклонения модульного коэффициента ($K-1$) от среднего модульного коэффициента $K = 1$ к коэффициенту вариации C_v .

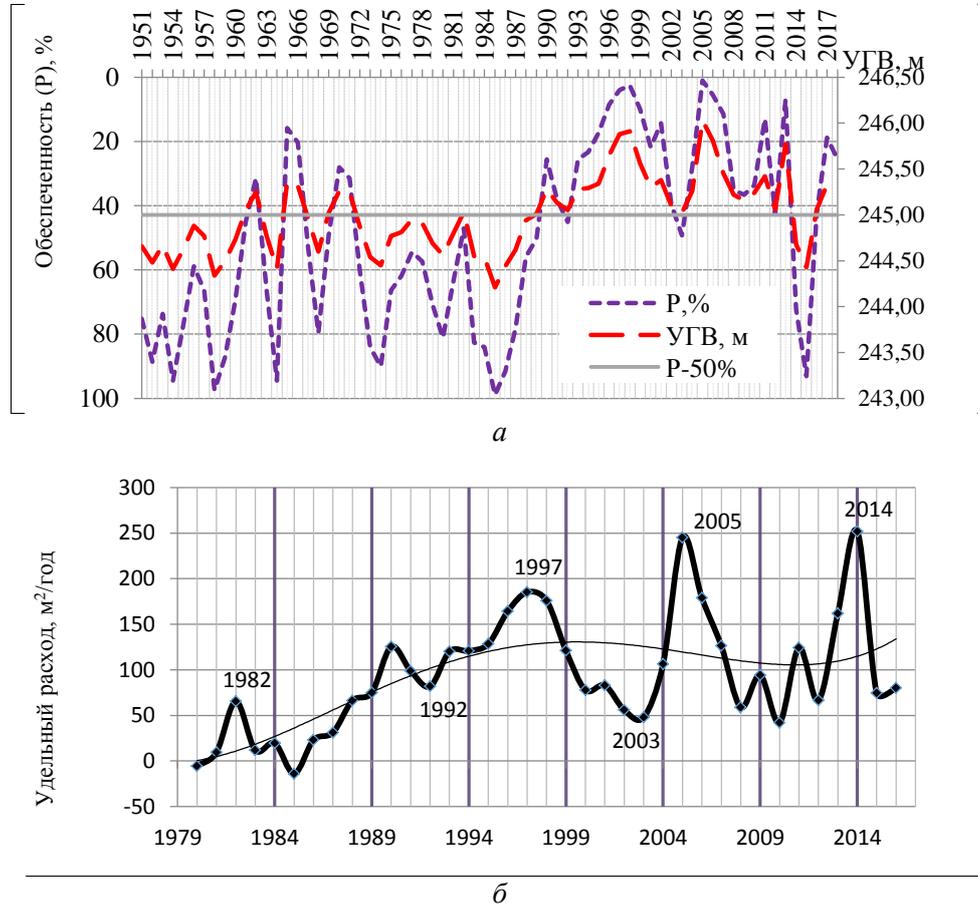


Рисунок 1. – Хронологические графики изменений УГВ по скважине № 5-5 (1951–2018) (а) и подземного стока в р. Южный Буг ($\text{м}^3/\text{год}$ на метр длины реки) (1980–2016) с полиномиальной аппроксимацией (б) в г. Хмельник Винницкой области

На графике (рисунок 2) хорошо выделяются два длительных этапа в режиме УГВ – снижение и подъем, а также начало новой фазы снижения после экстремума в 2013 г. Из анализа климатических изменений следует, что начало подъема кривой (1989–1990) совпадает с первым переходом среднегодовых температур февраля к положительным значениям [9]. После этого примерно до 1998–1999 гг. следует период интенсивного повышения зимних температур, чему сопутствует стремительный подъем интегральной кривой. С замедлением интенсивности роста температур зимнего периода и началом более интенсивного возрастания летних температур кривая заметно выполаживается, но в промежутке 2004–2007 гг. круто вздымается, что можно связать с повышенным количеством летних осадков: среднее значение за эти 4 года равно 342,7 мм при среднегодовых летних осадках 265,4 мм, зимних – 114,6 мм, при среднегодовых зимних – 107,6 мм.

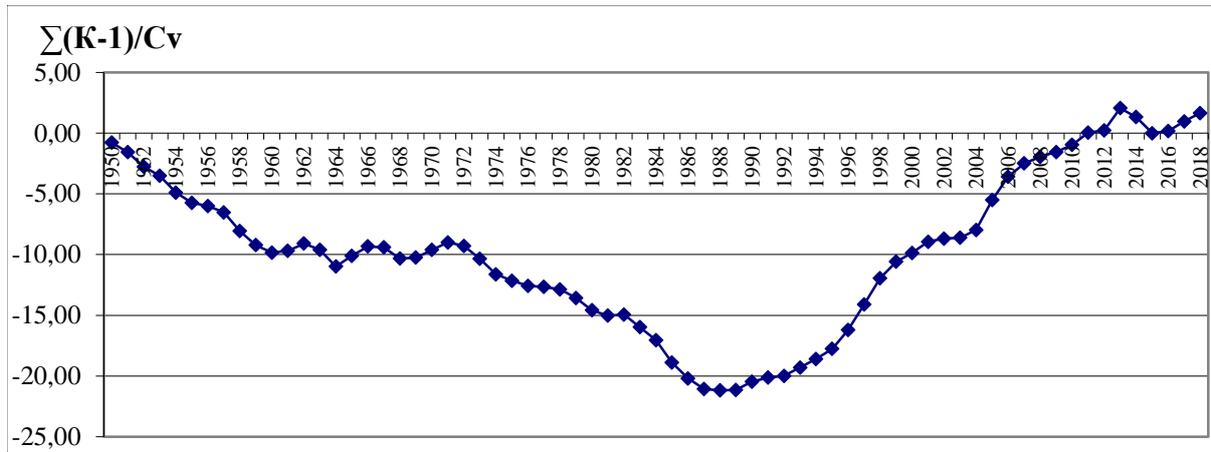


Рисунок 2. – Разностная интегральная кривая среднегодовых уровней грунтовых вод по скважине № 5-5 (г. Хмельник) в бассейне р. Юж. Буг

Очевидно, что повышение зимних температур привело к учащению оттепелей, уменьшению либо отсутствию постоянного в течение зимы слоя промерзания в зоне аэрации и, как следствие, к небывалому увеличению инфильтрационного питания грунтовых вод в зимний период. В теплый период, возможно в связи с некоторым уменьшением средней скорости ветра [2], не происходило увеличения испарения с поверхности почвы и воды. По разным оценкам, расчетное среднегодовое инфильтрационное питание на Украинском Полесье в период 2000–2012 гг. составляло около 47 % (295 мм) от среднегодового количества осадков (в Киевском Полесье это 631 мм), в то время как в 1956–1992 гг. оно не превышало 25 % [10]. Эти явления и процессы способствовали увеличению УГВ, ресурсов грунтовых вод и подземного стока в реки. Так, на рассматриваемом участке, в верхней части бассейна р. Южный Буг, средние зимние УГВ за период с 1990 по 2012 г. были на 67 см выше по сравнению со средними зимними уровнями 1950–1989 гг. В связи с этим произошли также изменения и в динамике поверхностного стока: до 2006–2007 гг. увеличился меженный сток рек [11; 12] при уменьшении паводкового стока [9], а годовой сток вырос на 10–15 % от средне-многолетнего [13].

В распределении подземного стока по сезонам проявилась некоторая асинхронность колебаний суммарных значений сезонного удельного стока (рисунок 3), особенно заметная в промежутке 1990–2004 гг. Зимний подземный сток отличается наименьшей амплитудой колебаний, а колебания летнего стока имеют наибольшую многолетнюю амплитуду. Заметна также конкуренция, т. е. разнонаправленные колебания между стоком зимнего и весеннего периодов, что может свидетельствовать о «перехвате» части талого весеннего поверхностного стока зимним подземным стоком во время оттепелей и более позднее (июль – октябрь) его поступление в реку.

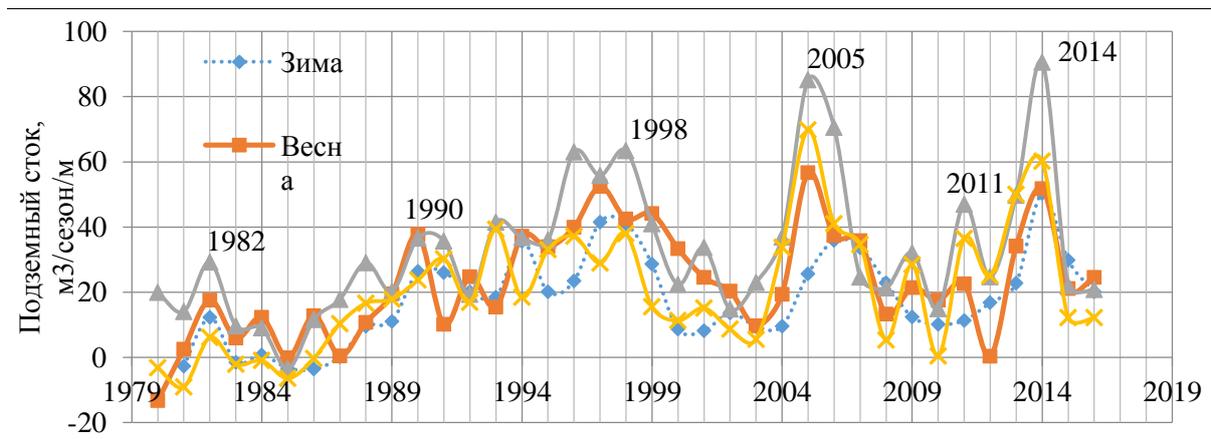


Рисунок 3. – Хронологические графики посезонного удельного подземного стока в р. Южный Буг в створе г. Хмельник

После 2007 г. количество осадков теплого периода начало постепенно уменьшаться, что отобразилось на выполаживании интегральной кривой УГВ (рисунок 2). С этим годом связывают также начало понижения стока летне-осенней межени по всем рекам бассейна Южного Буга [11]. Среднегодовые температуры продолжили еще более интенсивно повышаться, однако теперь уже преимущественно за счет температур теплого периода [2] и дневного времени. Увеличение продолжительности жарких бездождевых периодов, рост объемов испарения привели к уменьшению питания грунтовых вод и снижению их уровня, которое наиболее резко проявилось в 2013–2019 гг. (рисунки 1а, 2). Максимальные отклонения от среднемноголетних (нормативных) уровней (на 43–53 %) прослеживались в лесостепной зоне именно в жаркие месяцы – с мая по август. Режим грунтовых вод начал трансформироваться с инфильтрационно-испарительного в испарительный. В то же время средние зимние УГВ продолжают расти: за период 2013–2018 гг. они были на 14 см выше, чем за 1990–2012 гг.

2014–2015 гг. отличались аномально низкой суммой годовых осадков (524,6 и 398,0 мм). Тем не менее, согласно расчетам, в 2014 г. происходил максимальный за все годы подземный сток – в значительной степени за счет летнего стока, когда перепад уровней грунтовых и поверхностных вод был максимальным. Это привело к истощению емкостных запасов грунтовых вод, поскольку сопровождалось значительным падением УГВ в том же и следующем за ним 2015 г. (рисунок 1а) – соответственно до 72,3 и 93 % обеспеченности, что в итоге привело к значительному уменьшению расходов грунтовых вод в 2015–2016 гг. (рисунок 1б). Таким образом, рост подземного стока в маловодные периоды можно объяснить созданием значительных градиентов напора между уровнями на водоразделе, резкое снижение которых сдерживается фильтрационным сопротивлением, и «просевшими» УГВ в зоне разгрузки при быстром и существенном снижении уровня воды в реке.

В последние годы (2014–2019) УГВ снижаются даже при увеличении суммы годовых осадков [6]. Если снижение уровней грунтовых и подземных вод в отдельных районах лесостепи и Полесья еще можно связывать с техногенным влиянием, как то: мощные городские водозаборы, водопонижение в Хотиславском карьере (активная фаза с 2009 г.) или спуск пруда-охладителя в зоне Чернобыльской АЭС (с 2014 г.), то снижение уровней в напорных эксплуатационных водоносных горизонтах при существен-



ном (на порядок) уменьшении водоотбора (рисунок 4), можно объяснить только значительным уменьшением их естественного питания за счет грунтовых вод.

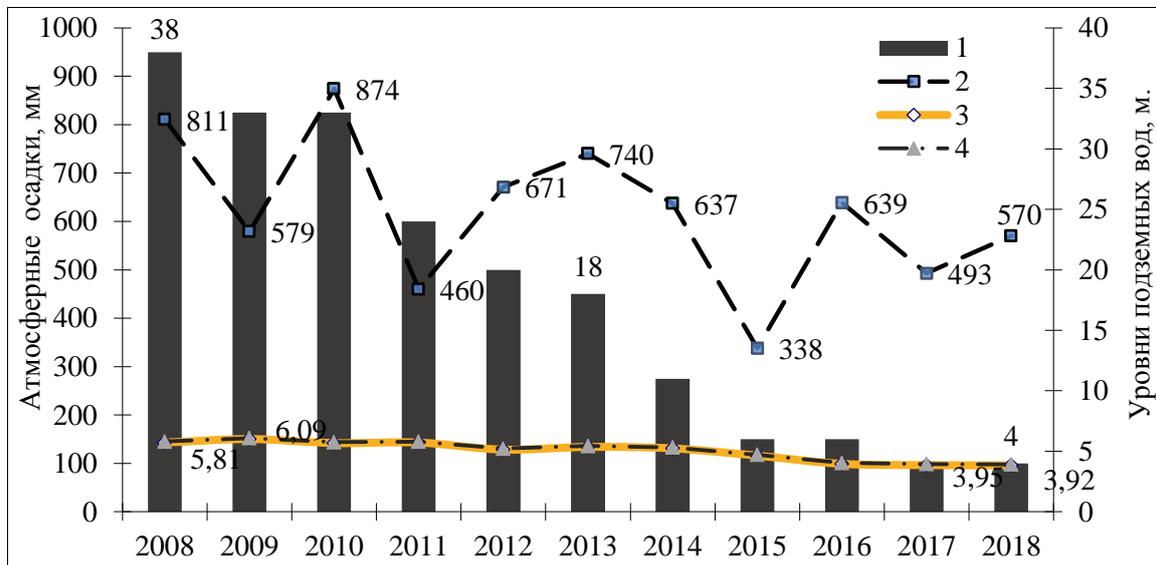


Рисунок 4. – Динамика уровня напорных межпластовых вод в условиях уменьшения водоотбора и суммы годовых осадков на Збручанском месторождении подземных минеральных вод

Для Волынского Полесья проведены расчеты величины испарения по известным методам Пенмана – Монтейта и М. М. Иванова [14], из которых следует, что в последние годы происходит увеличение величины испарения, особенно в 2014–2015 гг. (рисунок 5), что, безусловно, должно отразиться на водном балансе и ресурсах данного региона.

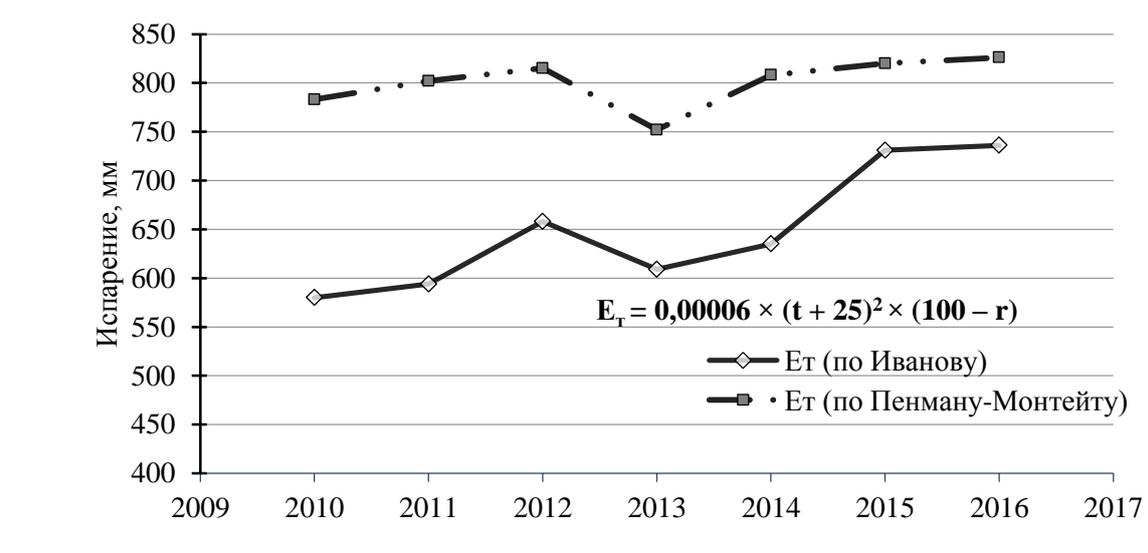


Рисунок 5. – Расчетная динамика испарения на Волынском Полесье за период с 2010 по 2016 г. (по данным А. А. Дятла, 2019)

Для расходов подземного стока проявилась довольно четкая 7–8 летняя цикличность (рисунок 1 б). При помощи спектрального анализа методом скоростных преобра-



зований Фурье мы получили три вариации периодичности многолетних колебаний, в месяцах: 12, 49,3 (4 года) и 88,8 (7,4 года). Вейвлет-анализ выделил цикличность, равную 45,8 месяца и 7,8 года. Это отличает режим стока от режима УГВ, для которого более характерна 10–11-летняя и 24–25-летняя цикличность. В целом с 1980 по 2013 г. графики УГВ и подземного стока довольно схожи (рисунок 1): в обоих случаях просматриваются два продолжительных этапа, однако их временные границы несколько отличаются: для УГВ фаза высоких уровней (< 50% обеспеченности) длилась с 1989 по 2013 г., а для подземного стока – с 1988 по 2014 г., при этом период с 1999 по 2016 г. отличается замедлением интенсивности роста стока и резкими его колебаниями. Поэтому для дальнейшего анализа мы выделили два периода: 1980–1998 гг. – монотонное увеличение подземного стока (особенно в период 1985–1997 гг.), что можно увязать с увеличением инфильтрационного питания, и 1999–2016 гг., – с невыраженной общей тенденцией, однако наличием двух максимальных за весь период наблюдений годовых расходов (2005, 2014 гг.). На втором этапе также прослеживается уменьшение временных интервалов наступления минимумов стока с 6 до 2–3 лет.

Тренды многолетних изменений УГВ, подземного стока, расходов реки, осадков и температуры (рисунок 6) выявили наиболее высокую близость между направлениями изменений УГВ, подземного стока в реку и температурой.

Далее мы разделили тренды согласно выделенным этапам. Благодаря этому удалось увидеть слабый рост осадков до 1998 г. и более заметное уменьшение их количества на втором этапе (рисунок 7), незначительное снижение расхода реки на первом этапе и более ошутимое (примерно на 11 м³/с) на современном, интенсивное увеличение подземного стока до 1998 г. и очень слабое после (рисунок 7). И все это на фоне достаточно стабильного (без изменения интенсивности) повышения температуры (на 2 °С за 37 лет).

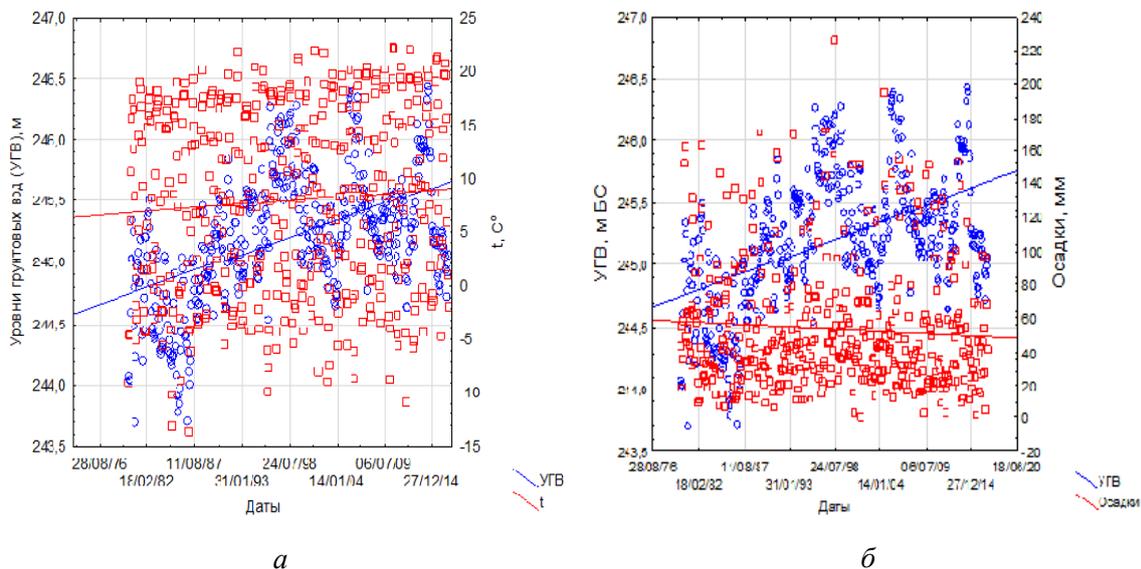


Рисунок 6. – Многолетние тренды изменения среднемесячного уровня грунтовых вод (УГВ) по скважине № 5-5 на фоне изменения среднемесячных температур (а) и месячной суммы осадков (б) по метеостанции Хмельник

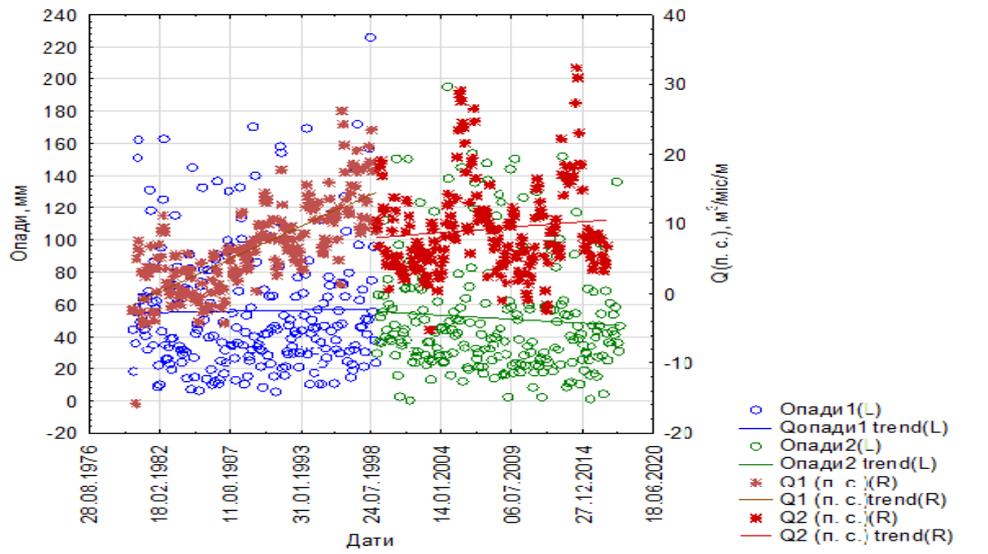


Рисунок 7. – Линейные тренды изменений месячной суммы осадков (нижняя линия) и суммарного месячного удельного подземного стока (верхние тренды), выделенные для двух этапов различного влияния глобального потепления на подземный сток 1980–1998 и 1999–2016 гг.

После сопоставления линейных трендов многолетних изменений годового подземного стока, среднемесячных УГВ и суммарных месячных осадков за многолетний период (рисунки 6, 7) был сделан вывод, что увеличение расходов подземного стока не компенсируется питанием за счет атмосферных осадков, количество которых уменьшается. Если тенденция уменьшения суммы осадков (рисунок 7) будет сохраняться в дальнейшем, это неминуемо приведет к снижению объемов подземного стока в реку. Длительное сохранение данной тенденции несет реальную угрозу постепенного количественного истощения природных ресурсов грунтовых, а за ними и нижележащих межпластовых вод, а также речного стока (рисунок 8).

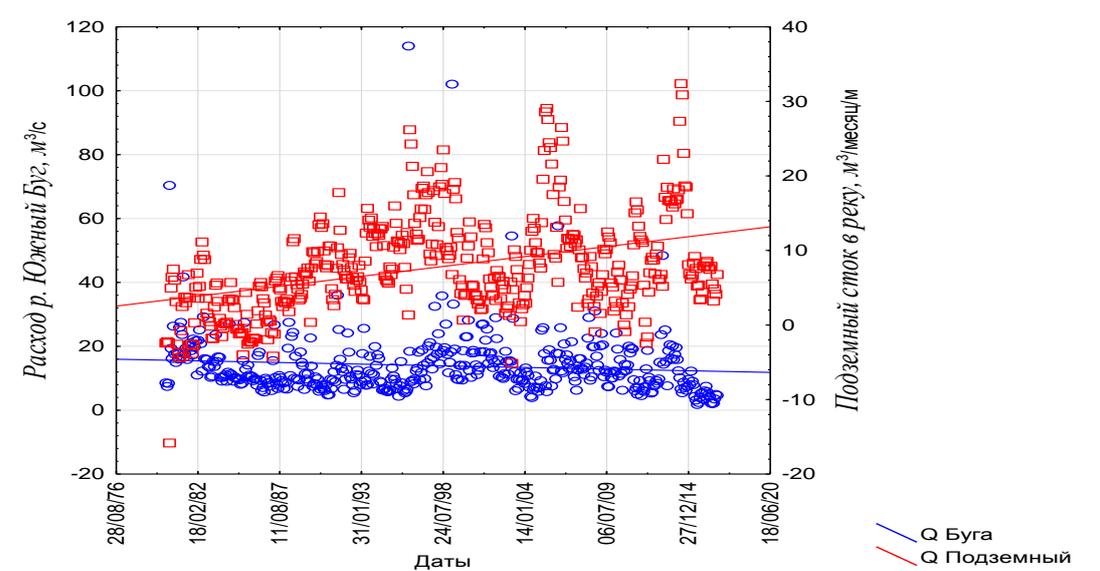


Рисунок 8. – Линейные тренды по многолетним данным расходов подземного стока в р. Южный Буг (восходящий тренд) и поверхностного речного стока (нижний тренд)



Для всего расчетного периода (1980–2016) и для двух выделенных этапов был также выполнен множественный корреляционный анализ – последовательно между УГВ и подземным стоком с одной стороны и расходом реки, осадками и температурой – с другой. Причем мы сознательно поместили вместе с независимыми предикторами зависимый от подземного стока показатель – расход речного стока, поскольку вначале, до анализа трендов, предполагали, что его близость к подземному стоку и УГВ будет максимальной и продемонстрирует классическую (по Г. М. Каменскому) принадлежность режима грунтовых вод по ближайшей к реке скважине к прибрежному типу. Однако результаты оказались несколько неожиданными (рисунок 9). Как и положено для данного типа режима, расход реки, как и ее уровни, доминирует над осадками, однако на первое место вышла температура воздуха. Неожиданно, что именно температура, а не снижение количества осадков явилась определяющим фактором для подземного стока на втором этапе. Вероятно, отрицательное ее влияние (рисунок 7) объясняется ростом испарения осадков теплого периода, которые не поступают в грунтовые воды, а также увеличением критической глубины, с которой начинается испарение с зеркала грунтовых вод.

Отсюда становится понятным, почему подземный и речной сток изменяются в противоположных направлениях (рисунок 8). Очевидно, что доминирующее влияние на них оказывают разные режимобразующие факторы. На подземный сток имеет большее влияние температура (рисунок 9): с ее ростом происходит увеличение зимнего питания и общего годового стока грунтовых вод; замедление роста зимних температур и увеличение интенсивности роста температуры летнего периода, сопровождающееся уменьшением суммы годовых осадков, ведет к снижению питания и, соответственно, уровней и стока грунтовых вод в реки. Речной сток, при том что доля поверхностного стока в его балансе выше, чем подземного (примерно 60 и 40 %), имеет более тесную зависимость от атмосферных осадков (рисунки 7, 8).

Кроме того, на уменьшении поверхностного стока сказывается конкуренция между ним и стоком грунтовых вод за осадки зимнего периода: подземный сток растет за счет перехвата во время зимних оттепелей части талого весеннего поверхностного стока. При этом часть влаги, перетекая в нижележащие водоносные горизонты, залегающие ниже базиса эрозии, не поступает в реки.

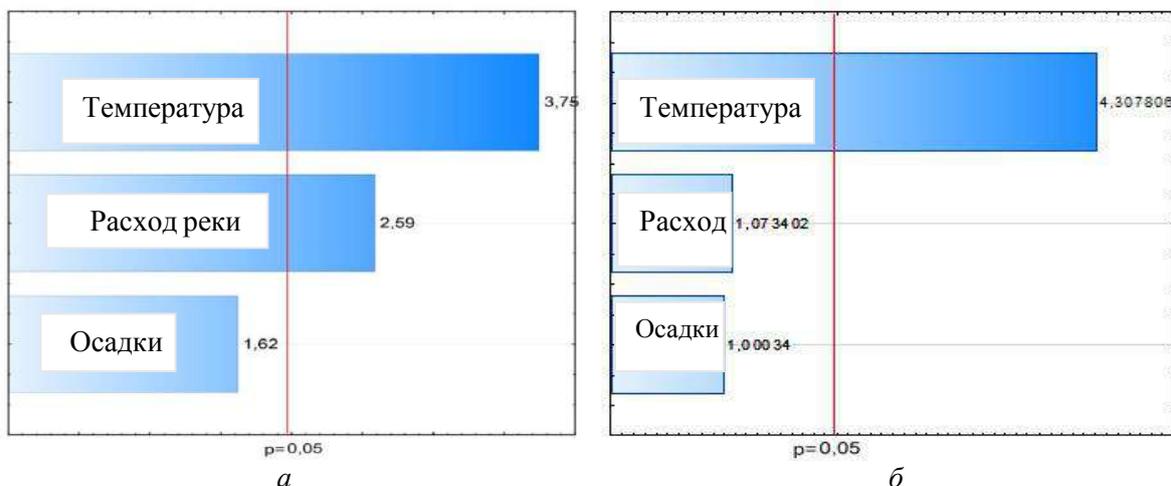


Рисунок 9. – Диаграммы значений стандартизованных коэффициентов переменных, демонстрирующие связь между подземным стоком и осадками, температурой, расходом р. Южный Буг: а – за период 1980–1998 гг.; б – за период 1999–2016 гг.



Если сравнивать характер изменений баланса грунтовых вод в условиях повышения среднегодовой температуры до 1,9–2,0 °С, при возрастании темпов потепления с изменениями во время осушительных мелиораций, то снижение УГВ в первом случае не сопровождается увеличением инфильтрационного питания. С 2013 г. в балансе грунтовых вод происходит стремительное увеличение расходных составляющих, которые не компенсируются достаточным питанием, поэтому общий баланс отрицательный.

Величина потерь на испарение с УГВ со временем стабилизируется, что связано со снижением УГВ ниже критического уровня. Значительно более существенная зависимость УГВ от осадков в периоды их отсутствия, чем в периоды выпадения, как и тенденция к увеличению глубины влияния испарения в полесской и лесостепной зонах, свидетельствует об изменении инфильтрационного типа режима на инфильтрационно-испарительный и испарительный.

Заклучение

Таким образом, выполненное нами комплексирование данных (за 37 лет) гидрометрических и гидрогеологических мониторинговых наблюдений впервые позволило получить количественные более точные, чем при расчленении гидрографов или применении гидрометрических методов, значения подземного стока в реку (р. Южный Буг).

Из трех выявленных вариаций цикличности подземного стока наиболее выдержанная близка 8 годам. На снижение темпов роста подземного стока в реку решающее влияние оказало уменьшение интенсивности роста зимних температур с 1997–1998 гг. В связи с этим в динамике подземного стока выделены два периода, демонстрирующие положительное и отрицательное влияние температуры. Во время первого (1980–1998) сток грунтовых вод в реку неуклонно возрастал благодаря увеличению инфильтрационного питания холодных сезонов. В течение второго периода (1999–2019) значимость температуры выросла, что выражается в заметном падении УГВ и подземного стока в реки в связи с увеличением интенсивности роста температур теплого периода, величины испарения и критической глубины залегания зеркала грунтовых вод. Снижается также питание глубоких водоносных горизонтов, что проявляется в падении их уровней.

Амплитуда между минимальным и максимальным годовым подземным стоком за последние 20 лет существенно выросла, поэтому этап после 1998 г. можно назвать периодом возрастающей неравномерности подземного стока, во время которого среднесуточное количество осадков снижается, увеличение расходов подземного стока не компенсируется инфильтрационным питанием и происходит истощение ресурсов подземных вод. На фоне увеличивающегося влияния подземного стока на поверхностный такая неравномерность приводит к неравномерности и постепенному снижению речного стока.

Влияние температуры на подземный сток более значимо, чем осадков и гидрологического фактора (расхода реки). Согласно статистическому анализу, на втором этапе температура воздуха остается единственным определяющим фактором (роль двух остальных упала ниже предела значимости). Это может свидетельствовать о глубоких зональных изменениях в режиме УГВ и его классификационной трансформации – от инфильтрационного и речного типа к испарительному.



СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report [2007] UNEP/WMO, 250.
2. Динаміка температури повітря в Україні за період інструментальних метеорологічних спостережень / В. І. Осадчий [та ін.]. – Київ : Ніка-Центр, 2013. – 306 с.
3. Оценка изменений климата и их влияние на природную среду и хозяйственную деятельность на территории Украинского Полесья / В. И. Лялько [и др.] // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья : сб. докл. Междунар. науч. конф., Минск 14–17 сент. 2016 г. : в 2 т. – Минск, 2016. – Т. 1. – С. 390–393.
4. Shevchenko, O. Global challenges to the system of state hydrogeological monitoring [Electronic resource] / O. Shevchenko, V. Bubljas' // Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: 12-th International Scient. Conf., Kyiv 13–16 November 2018. – (CD-ROM) Extended Abstracts. Materials\Monitoring and modelling of natural hazards. Monitoring. – 2018_eng.pdf. EAGE.
5. Шевченко, А. Л. Режим, водообмен и ресурсы подземных вод Полесья и Лесостепи в контексте глобальных изменений климата / А. Л. Шевченко, В. А. Нестеровский, В. И. Осадчий // Актуальные проблемы наук о Земле. Исследования трансграничных регионов : сб. материалов IV междунар. науч.-практ. конф., Брест 12–14 сент. 2019 г. – Брест, 2019. – Ч. 1. – С. 33–37.
6. Стан підземних вод України : щорічник. – Київ : ДНВП ГЕОІНФОРМ України, 2018. – 122 с.
7. Гидродинамические основы изучения режима грунтовых вод и его изменение под влиянием искусственных факторов (метод конечных разностей) / Г. Н. Каменский [и др.] // Тр. Лаб. гидрогеол. проблем АН СССР. – М. : Изд-во АН СССР, 1960. – Т. 26. – 190 с.
8. Куделин, Б. И. Гидрогеологический анализ и методы определения подземного питания рек / Б. И. Куделин // Тр. Лаб. гидрогеол. проблем им. Ф. П. Саваренского АН СССР. – 1949. Т. 5. – С. 179.
9. Шакирзанова, Ж. Р. Гідрометеорологічні чинники і характеристики весняних водопіль в басейні р. Південний Буг в сучасних кліматичних умовах / Ж. Р. Шакирзанова, А. О. Казакова // Вісн. Одес. держ. екол. ун-ту. – 2015. – № 19. – С. 100–105.
10. Ситников, А. Б. Гидрогеологическая станция «Феофания»: многолетние исследования и результаты / А. Б. Ситников, Ю. Г. Головченко, К. Д. Ткаченко. – Київ : Ин-т геол. наук НАН Украины, 2003. – 200 с.
11. Жовнір, В. В. Багаторічні коливання характеристик стоку води річок басейну Південного Бугу в період літньо-осінньої межені / В. В. Жовнір // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2019. – № 3 (54). – С. 44–46.
12. Гідролого-генетичний аналіз часових рядів мінімального стоку річок в зоні недостатньої водності України за сучасних кліматичних умов / Л. В. Кущенко [та ін.] // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2019. – № 3 (54). – С. 51–53.
13. Изменения режима и подземного стока рек европейской территории России под влиянием нестационарного климата / Р. Г. Джамалов [и др.] // Ресурсы подземных вод. Современные проблемы изучения и использования : материалы междунар. науч. конф., Москва, 13–14 мая 2010. – М. : МГУ им. Ломоносова : МАКС Пресс, 2010. – С. 83–93.



14. Дятел, О. О. Формування водообміну та його прогнозування в умовах техногенезу на меліорованих територіях Волинського Полісся : автореф. ... дис. канд. техн. наук : 06.01.02 / О. О. Дятел. – Київ, 2019. – 22 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 22.10.2019

Shevchenko A. L., Osadchy V. I., Charny D. V. Changes of the Regime, Balance and Resources of Underground Waters of Polesye and Forest-Steppe of Ukraine under the Influence of Global Warming

The paper presents the results of calculations of long-term underground flow into the river South Bug using the finite difference method. Comparison, incl. using multiple correlation analysis, the dynamics of the underground runoff with meteorological data for 37 years revealed a more significant dependence of the runoff on the average monthly temperature of the surface air layer than on the sum of atmospheric precipitation, two longterm periods with different trends, as well as the close connection of the extremum turning for the trend (1997–1998) with abnormal changes in the temperature regime. At the first stage, a positive effect of increasing winter temperature on the runoff and ground water resources was manifested, at the second, especially since 2010, amid the decrease in nutrition, capacitive reserves and resources are depleted. The regular cycle of underground runoff equal to 7–8 years, different from the cyclical level of groundwater, and the increase in the last 10 years of alternating peaks of the minimum annual flow were also revealed.