

- от прохождения пика весеннего паводка до начала полевых работ;
- от прохождения пика весеннего паводка до начала вегетации трав (для пастбищ и сенокосов);
- в период выпадения летне-осенних дождей и уборки урожая.

По принципу действия регулирующая сеть, в этом случае, может быть подразделена на: закрытые дрены и открытые осушители, понижающие УПВ в требуемые сроки; закрытые и открытые собиратели, отводящие в расчетное время избыточные поверхностные воды.

Магистральные каналы, транспортирующие собиратели, открытые коллекторы, входящие в состав проводящей осушительной сети, предназначенной для приема воды из регулирующей и оградительной сетей и отвода ее в водоприемник, подвергаются гидравлическому расчету при расходах воды более $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, а также при меньших расходах, когда уклон канала превышает $0,0005$ - для песчаных, $0,003$ - для суглинистых и $0,005$ - для глинистых грунтов, слагающих их ложе.

Расчет каналов проводящей сети и естественных водотоков, являющихся водоприемниками осушительных систем, осуществляется на расходы воды, принимаемые в зависимости от характера использования сельскохозяйственных земель.

При использовании под полевые севообороты, пастбища и сенокосы участков земель, площадью до 2 тыс. га, проводящая сеть рассчитывается на пропуск расходов воды 10%-ной обеспеченности, при использовании земель под овощные севообороты и многолетние насаждения - 5%-ной обеспеченности. В каждом конкретном случае, расчетная обеспеченность расходов воды принимается в ходе технико-экономического сравнения вариантов. При этом, расчетными периодами являются: при использовании осушаемых земель под полевые севообороты с озимыми и многолетние насаждения - весенний и летне-осенний паводок; под все виды сельскохозяйственного использования земель - меженный период. В случае, когда расчетным периодом является период весеннего паводка, расчет каналов выполняется, исходя из условия пропуска расчетных расходов воды без затопления осушаемых земель. Расчет каналов на расходы предпосевного периода и летне-осеннего паводка производится в увязке с работой регулирующей сети по созданию требуемого водно-воздушного режима почв, с учетом своевременного освобождения ее от подпора.

УДК 556.332.52:519

Калинин М.Ю., Снякевич Л.Н., Тимофеев А.В.

АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНЕГО ЕСТЕСТВЕННОГО РЕЖИМА УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В БАССЕЙНЕ р. НЕМАН И МИНСКОЙ ГОРОДСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ

Одной из важнейших проблем, связанных с изучением водных ресурсов, является оценка условий и процессов формирования гидродинамического режима подземных вод зоны активного водообмена под влиянием естественных (в первую очередь климатических) и антропогенных факторов. Под режимом подземных вод понимается процесс, характеризующийся изменением уровня, расхода, гидравлического уклона, скорости, температуры, вязкости, химического и газового

Изложенные выше требования к количеству и динамике почвенных влагозапасов по профилю, состоянию увлажнения поверхности сельскохозяйственного поля, особенностям гидрологического режима мелиорируемых сельскохозяйственных земель и, увязанного с ним, гидравлического режима элементов гидромелиоративных систем в своей совокупности определяют комплекс качественных и количественных параметров регулирования водного режима почв, зависящих, по сути, от гидролога - климатических, почвенно-мелиоративных и хозяйственно - экономических условий объекта мелиораций.

Комплексность подхода диктует необходимость использования единого метода оценки гидролога - климатических условий в границах водосборной площади, в целом, и земель, включенных в границу мелиораций, который давал бы возможность назначить в пакете основные регулирующие параметры. Отсюда следует, что управляющими параметрами при автоматизированном управлении режимом гидромелиораций будут выступать: УПВ; относительная влажность почвы средняя за расчетный (t) период (или за определенную фазу развития культуры) - V_{oi} ; верхний предел оптимальной влажности почвы - $W_{max.i}$; нижний предел оптимальной влажности почвы - $W_{min.i}$; уровни, при которых осуществляется пропуск воды в проводящей гидромелиоративной сети (H_i); допустимые отклонения от рекомендуемых управляющих параметров: $\pm \Delta УПВ_i$, $\pm \Delta V_{oi}$, $\pm \Delta W_{max.i}$, $\pm \Delta W_{min.i}$, $\pm \Delta H_i$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ивицкий А.И. О проектировании осушительно-увлажнительных систем на болотах Полесья. - Минск, 1974. - 130 с.
2. Моделирование процессов в природно-экономических системах // Под ред. В.И. Гурмана. - Новосибирск: Наука, 1982. - 176 с.
3. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края // Под ред. В.С. Мезенцева. - М.: Колос, 1974. - 240 с.
4. Афанасик Г.И. и др. Комплексное регулирование условий жизни растений на торфяных почвах. - Минск, Ураджай, 1980. - 136 с.
5. Шебко В.Ф. Гидрологический режим осушаемых территорий. - Минск: Ураджай, 1970. - 299 с.

состава подземных вод во времени и пространстве. В результате изучения режима и баланса подземных вод можно определить ряд гидрогеологических параметров: коэффициент фильтрации, коэффициент водоотдачи, питание водоносных горизонтов, экстремальные уровни, температуру и химический состав, годовые и многолетние амплитуды колебаний уровня поверхностных водотоков и подземный сток. Получаемая в результате этих исследований информация использу-

Калинин Михаил Юрьевич. Д.т.н., зам. директора по научной работе Института проблем использования природных ресурсов и экологии (ИПИПРЭ) НАН Б.

Снякевич Любовь Николаевна. Аспирант Института проблем использования природных ресурсов и экологии (ИПИПРЭ) НАН Б.

Тимофеев Антон Викторович. Младший научный сотрудник Института проблем использования природных ресурсов и экологии (ИПИПРЭ) НАН Б.

Беларусь, 220114 г. Минск, Староборисовский тракт, 10.

ется для составления прогнозов общего пользования (для различных потребителей), для расчетов при проектировании строительства (автодорожного, железнодорожного, гражданского и промышленного, при обосновании судоходства на реках, при подсчете гидроэнергетических ресурсов и др.).

Изучение режима подземных вод в естественных и нарушенных условиях является одним из традиционных направлений гидрогеологических исследований. Этому направлению посвящены работы М.Е. Альтовского, Г.В. Богомоллова, Н.Н. Биндемана, В.И. Бучурина, И.К. Гавич, С.П. Гудака, М.Ю. Калинина, Г.Н. Каменского, Д.М. Каца, П.А. Киселева, В.С. Ковалевского, М.В. Козлова, А.А. Коноплянцева, В.А. Коробейникова, А.В. Кудельского, А.П. Лаврова, А.В. Лебедева, Н.В. Роговской, Г.И. Сачка, С.М. Семенова, Р.А. Станкевича, Я.М. Шилинской, В.И. Фоменко и многих других ученых. Значительный вклад в исследование режима подземных вод внесли российские ученые из ГГИ, ИВП РАН, ИГ РАН и белорусские ученые из ПО "Белгеология", БелНИГРИ, ЦНИИКИВР, ИПИПРЭ НАНБ, ИГН НАНБ и других организаций.

К настоящему времени накоплен значительный объем гидрогеологических, геологических, геоморфологических, климатических данных, на основании которых возможно изучение пространственно-временных закономерностей в формировании режима подземных вод на территории Беларуси.

Малоизученными в республике остаются вопросы выявления пространственно-временных закономерностей гидродинамического режима подземных вод в годовом и многолетнем разрезе на водосборах крупных рек и урбанизированных территориях.

В связи с этим актуальной проблемой является оценка условий и процессов формирования гидродинамического режима подземных вод зоны активного водообмена на современном этапе и установление пространственно-временных закономерностей его изменения под воздействием естественных и антропогенных факторов, уделив особое внимание влиянию климата.

Ниже излагаются результаты анализа многолетних данных наблюдений Белорусской гидрогеологической экспедиции за естественным режимом подземных вод на территории бассейна р. Неман (Белорусская часть) и Минской городской агломерации.

Бассейн Немана расположен в пределах Белорусского гидрогеологического массива, состоящий из кристаллических и осадочных водовмещающих горных пород. Водовмещающие четвертичные отложения отличаются пестротой и разнообразием литологического состава, фрагментарностью площадного распространения, чередованием не выдержанных по площади водоупорных и водовмещающих пород.

Безнапорные грунтовые воды содержатся в разновозрастных покровных отложениях. Это главным образом флювиогляциальные отложения поозерского и сожского оледенений, верхнечетвертичные и современные аллювиальные, озерно-аллювиальные и озерно-болотные образования. Мощность горизонтов грунтовых вод в среднем составляет 5-15 м.

Напорные подземные воды содержатся в сожско-поозерском, днепровско-сожском водоносных комплексах. Сожско-поозерский водоносный комплекс распространен в северной части бассейна. Его южная граница проходит примерно по границе поозерского оледенения. Глубина залегания кровли комплекса колеблется от нескольких до 90 м, а мощность водовмещающих отложений составляет в среднем 10 - 20 м. Южная граница днепровско-сожского водоносного комплекса близка к границе сожского оледенения. Глубина залегания кровли колеблется от 2 - 40 м в долинах рек до 100 - 195 м на водоразделах. Мощность водовмещающих отложений в среднем находится в пределах от 15 до 30 м.

Мощность морен, разделяющих водоносные комплексы, составляет в среднем 10 - 30 м. Отложения представлены в основном суглинками и супесями, часто с валунами, линзами и прослоями песков.

Для анализа изменения колебания уровня грунтовых вод (УГВ) выбирались данные скважин, расположенных в разных частях бассейна Немана с наиболее полным и продолжительным рядом наблюдений, оборудованных на надморенные и межморенные водоносные горизонты.

Анализ рядов наблюдений показал, что годовые изменения УГВ бассейна имеют определенную закономерность. На территории всего водосбора первый (весенний) максимум наблюдается с конца марта по май, в период установления положительных температур и активного таяния снега. Дальнейшее постепенное снижение УГВ (летний минимум) связан с высокими положительными летними температурами и интенсивным испарением. В период с октября - ноября по январь наблюдается незначительный подъем УГВ (0,1 - 0,2 м) - осенний максимум, а с марта УГВ снижается (зимний минимум). Это связано с промерзанием верхних слоев почвы и прекращением атмосферного питания подземных вод. Начало активного промерзания зоны аэрации совпадает с датой устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C в область отрицательных значений. Наиболее резкое изменение УГВ, как правило, происходит в период активного снеготаяния: вслед за предвесенним минимумом наступает весенний максимум (рис. 1). В течение месяца УГВ может повыситься до 1 м. Наиболее значительные колебания УГВ на протяжении года отмечаются на Гольнском посту (в среднем до 1,5 м), наименьшие - на Молчадском (0,4 м скв. 8).

В целом по бассейну в период с 1978 г. по 1982 г. происходил относительный подъем УГВ, наблюдаемый на разных постах. До 1978 г. и после 1982 г. отмечался общий спад уровней. Это связано с общим изменением климатических условий в пределах водосбора реки, в первую очередь осадков. На некоторых постах отмечены отклонения на 2 - 3 года от общего изменения УГВ, что, по всей вероятности, связано с местными метеорологическими и гидрогеологическими условиями.

Корреляционный анализ показал, что существует значимая корреляционная зависимость между осадками и УГВ на Андреевском (скв. 74, 75, 76, 78) ($r = -0,33 \div 0,11$), Нарочском (скв. 327 - 329, 331, 332) ($r = 0,09 \div 0,25$), Своротовском (скв. 82 и 91) ($r = 0,22$), Вилейском (скв. 1046, 1048) ($r = 0,15$ и 0,2), Дзержинском (скв. 56, 57, 58) ($r = 0,13$; -0,12; 0,12), Молчадском (скв. 7, 8) ($r = -0,12$; -0,14), Гольнском (скв. 1, 2, 3) ($r = 0,15$; 0,29; -0,23) постах. На всех остальных постах УГВ определяют другие факторы (гидрогеологические и гидрологические). УГВ в скв. 330 Нарочского поста преимущественно зависит от искусственных факторов: с 1970 г. здесь наблюдается значительное отклонение от естественного режима, хотя до середины 1970 г. колебания УГВ синхронны на всех скважинах поста.

Анализ закона распределения рядов данных показал, что все они распределены по нормальному или лонгнормальному закону. Асимметрия изменяется в пределах от -0,3 до 0,7, эксцесс - от -1,1 до 1,5. Вследствие существенной асимметрии годовых величин атмосферных осадков при взаимосвязи подземных вод с дневной поверхностью распределение их уровней также асимметрично. Как правило, наблюдаются асимметричные распределения уровней грунтовых вод залегающих близко к поверхности. Для неглубоко залегающих подземных вод наиболее характерна левая асимметрия.

Минская городская агломерация (МГА) расположена на юго-восточном склоне Минской возвышенности. Колебания высот в черте МГА составляют почти 100 м (от 184,1 до 280,4 м). Рельефообразующим элементом является пологовогнутая долина р. Свислочь с двумя надпойменными террасами, рас-

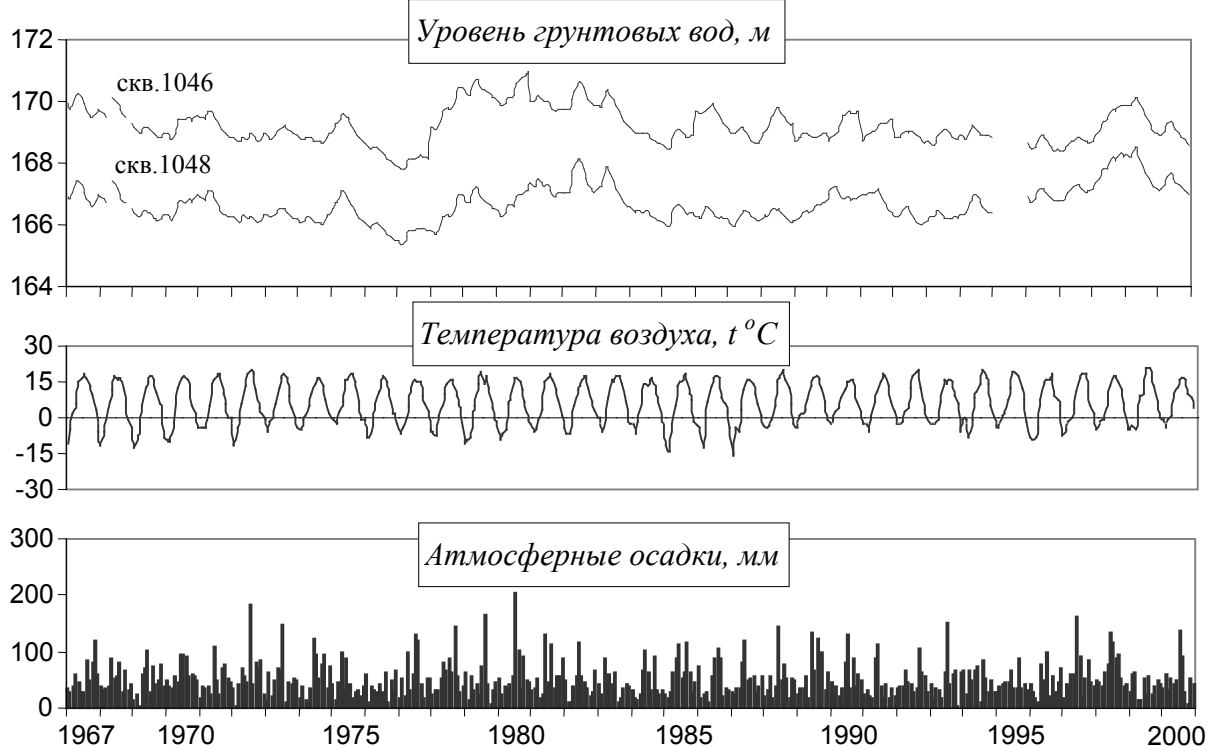


Рисунок 1 – Графики колебаний уровня грунтовых вод и изменения метеорологических факторов на территории Вилейского поста (бассейн Немана) в 1967-2000 гг.

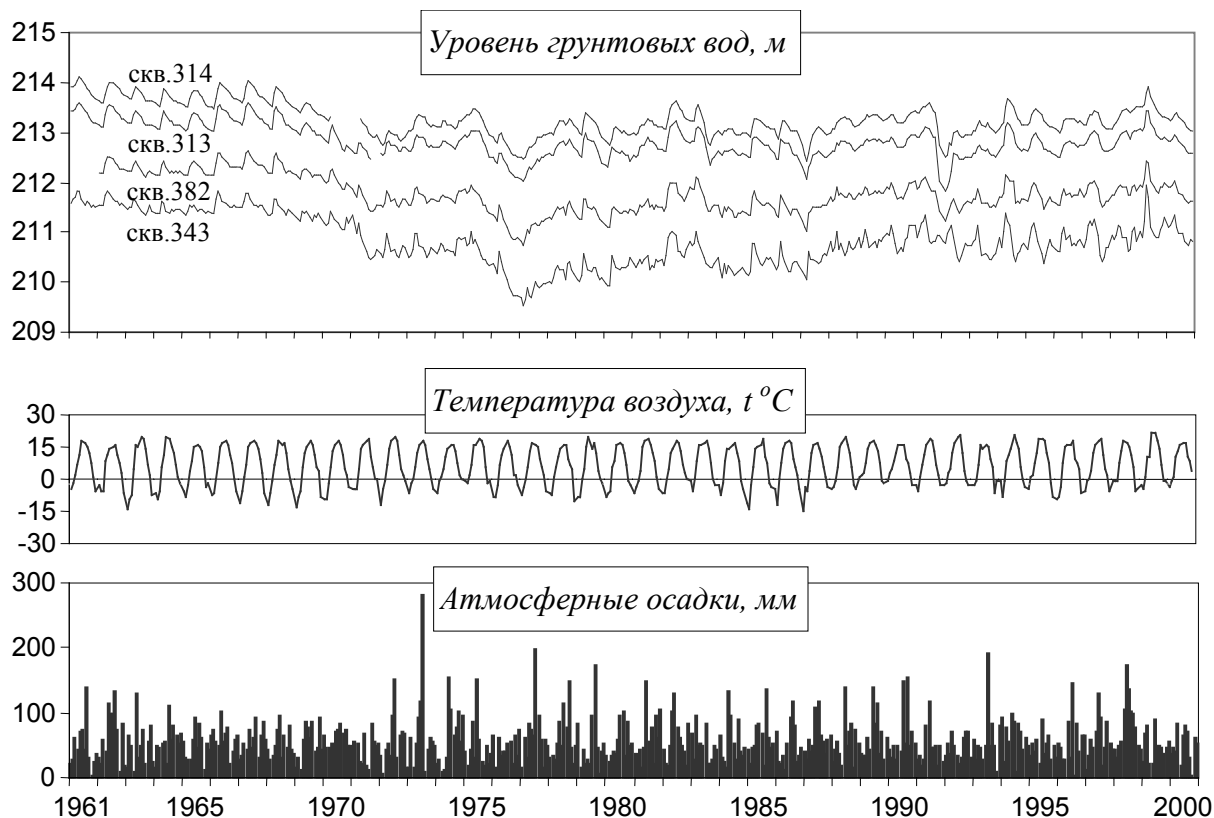


Рисунок 2 – Графики колебаний уровня грунтовых вод и изменения метеорологических факторов на территории Минского поста в 1961-2000 гг.

положенными на высоте 10 - 20 м над межнным уровнем реки. Юго-восточная окраина города выдвигается в сторону Центральноберезинской равнины, характеризующей сгла-

женными формами рельефа, значительной заболоченностью, слабой расчлененностью и небольшими уклонами. С юго-запада к Минску примыкает невысокая пологоволнистая

Столбцовская равнина. На северо-западе примыкает Заславское водохранилище (Минское море) с абсолютными отметками 210 м над уровнем моря. Гидрогеологические условия района определяются геологическим строением платформенной области с мощным чехлом осадочных отложений и климатическими особенностями умеренно континентальной зоны со значительным влиянием атлантического морского воздуха. В среднем за год (за исследуемый период 1961 - 2000 гг.) выпадает 638,37 мм. Основное их количество связано с циклонической деятельностью. Из них примерно 1/3 приходится на холодный, 2/3 – на теплый период.

Для выявления закономерностей изменения многолетнего режима УГВ были проанализированы данные скважин по двум створам. Первый расположен на территории Центрального ботанического сада (ЦБС) НАН Беларуси, второй в 4 км на северо-запад от Минска (пос. Ратомка). Скважины первого створа (313, 314, 343-345, 382) оборудованы на сожский надморенный флювиогляциальный водоносный горизонт (fIIsz^s). Водовмещающие породы представлены разнозернистыми, преимущественно мелкозернистыми песками с гравием, галькой и единичными валунами. Скважины второго створа (459 и 510) оборудованы также на сожский надморенный флювиогляциальный горизонт (fIIsz^s) и сожский моренный горизонт (gIIsz^s). Водовмещающие породы представлены разнозернистыми, преимущественно мелкозернистыми песками с гравием, галькой, с линзами и прослоями песчано-гравийного материала с глубиной сменяется мелкозернистыми песками с включением крупно обломочных пород и моренные отложениями.

Анализом множественной корреляции значений УГВ установлено, что характер их изменения напрямую связан с генезисом водоносных горизонтов. Так, для fIIsz^s горизонта $r = 0,79 \div 0,96$ (Ратомка) и $r = 0,58$ (ЦБС), для gIIsz^s горизонта $r = 0,45 \div 0,98$. В тоже время между разными горизонтами, расположенными в сходных литологических условиях в одном и том же створе, корреляция значительно выше, чем между разными створами ($r = 0,82 \div 0,93$ и $r = 0,22 \div 0,44$, соответственно).

Колебания УГВ для большинства скважин имеют синхронный характер. В многолетнем ходе колебаний УГВ в пределах поймы и первой надпойменной террасы можно выделить сезонные фазы и годовые циклы, связанные с закономерными сезонными и годовыми изменениями климатических показателей. Для большинства скважин характерны синхронные колебания УГВ, которые нарушаются после 1971 г. Возможными причинами изменения для скважин расположенных в районе Заславского вдхр. являются: строительство Вилейско-Минской водной системы, изменившей гидрогеологический режим прилегающих территорий и бурение новых водозаборных скважин в прилегающем поселке. На территории ЦБС синхронность колебания УГВ сохраняется в целом весь период наблюдения.

Весенние подъемы уровней грунтовых вод начинаются с наступлением положительных температур воздуха и разрушением устойчивого снегового покрова, обычно в период с конца марта и до середины апреля. После достижения максимальных значений, обычно в мае, наступает падение УГВ, продолжающие до осени. Осенние подъемы уровня напрямую зависят от количества выпавших осадков во второй половине года, это можно видеть на примере 1986 г. Однако, если

большинство осадков приходится на летние месяцы, то весенний подъем уровня сохраняется до конца осени (например, 1987 г.). Осенние подъемы уровня могут отсутствовать при незначительном выпадении осадков (например, 1976 г.). Высокое количество осадков в летний период, как правило, не является единственным фактором, определяющим повышение уровня, вторым по значимости является фактор температуры воздуха определяющий режим инфильтрации атмосферных осадков. Поэтому в годы с высоким количеством осадков можно наблюдать падение уровня в конце лета – начале осени (1972, 1973, 1993, 1996, 1998 гг.). С наступлением отрицательных температур воздуха питание подземных вод за счет атмосферных осадков практически прекращается и по всем скважинам наблюдается падение уровня (рис. 2).

Корреляционный анализ между климатическими факторами (атмосферные осадки и температура воздуха) и УГВ показал, что атмосферные осадки определяют УГВ только для одной скважины ($r = 0,17$), а температура воздуха в 5 скважинах ($r = 0,16 \div 0,29$). Однако, полученные коэффициенты корреляции не могут адекватно отражать взаимозависимость между данными климатическими факторами и УГВ, так как для территории наблюдений характерен довольно длительный холодный период при котором образуется устойчивый снеговой покров и количество выпадающих осадков не влияет напрямую на УГВ. Для этого был проведен сезонный (помесечный) корреляционный анализ.

Положительная корреляция между помесечными значениями УГВ и количеством осадков отмечается в феврале-марте, мае, августе и ноябре; отрицательная – в январе, апреле, июле, сентябре - октябре и декабре. В июне линейная корреляция показателей отсутствует, или, возможно, имеет место нелинейная корреляция. Положительная корреляция в декабре-январе связана с ростом атмосферных осадков и снижением УГВ, в апреле ростом УГВ и незначительным количеством осадков по сравнению со снегом, который интенсивно тает и легко инфильтрируется в водоносные горизонты. В июле – с тем, что количество осадков достигает максимальных значений (среднемесячное количество за период наблюдения 86,06 мм), а УГВ в большинстве скважин понижается, к тому же температура воздуха достигает максимальных годовых значений (среднемесячное значение +17,53°C). В сентябре и октябре – с довольно высокими температурами воздуха, которые не позволяют происходить значительной инфильтрации атмосферных осадков.

Зависимость между помесечными значениями УГВ и температурой воздуха имеют большие различия в разных скважинах в одном и том же месяце. В целом отмечается следующая тенденция. Положительная корреляция наблюдается в марте-апреле, июне-июле, сентябре-ноябре. Максимальными коэффициентами корреляции характеризуются апрель и октябрь ($r = 0,07 \div 0,27$ и $r = 0,32 \div 0,42$, соответственно). Отрицательная корреляция отмечается в – мае, августе и декабре. Минимальными коэффициентами корреляции характеризуется декабрь ($r = -0,15 \div -0,34$).

Полученные результаты анализа являются предварительными, но, не смотря на это, уже дают возможность оценить характер влияния естественных и антропогенных факторов на формирование режима уровня подземных вод в бассейне р. Неман и МГА.