

Рис. 8. Значения $\sigma_{\Delta\tau}$ автокорреляционных функций при различной дате разрезки на годовые интервалы

интервалы по отношению к самим ординатам АКФ может считаться несущественным. Представляется также важным, что при сравнительно большом значении $\sigma_{\Delta\tau}$ большой вклад в значение $\sigma_{\Delta\tau}$ вносят изменения ординат АКФ при $\tau=1$. При исключении этих ординат значения $\sigma_{\Delta\tau}$ значительно уменьшаются (для р. Ясельда – г. Береза с 0,102 до 0,046).

Заключение

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы.

1. Изменчивость исследуемых рядов сравнительно однородна и характерна для рек равнинного типа.
2. Пространственно-временные изменения стока рек Беларуси позволили констатировать факт незначительного влияния интенсивных мелиораций 1966-1985 гг. на годовой сток Припяти и значительного влияния на сток малых рек Белорусского Полесья.
3. Реки Горынь и Неслуха имеют отличный от остальных рек бассейна Припяти водный режим. Это объясняется для Горыни отличными от других рек бассейна Припяти

УДК [556.324+556.332.6] (476-25)

Тимофеев А.В., Калинин М.Ю.

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА МИНСКА И ПРИГОРОДНОЙ ЗОНЫ

Введение

Грунтовые воды – подземные воды первого от поверхности постоянно действующего водоносного горизонта, залега-

ющего на первом выдержанном по площади водоупорном пласте – один из важных составных элементов природной системы, на которую воздействуют урбанизированные терри-

Тимофеев Антон Викторович, научный сотрудник РУП "Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов".

Калинин Михаил Юрьевич, д.т.н., директор РУП "Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов".

Беларусь, Минск 220086, РУП "ЦНИИКИВР" ул. Славинского д.1, к.2.

- условиями формирования стока – она берет начало на Вольно-Подольской возвышенности, а для Неслухи – большой зарегулированностью стока в системе Днепровско-Бугского канала.
4. Колебания годовых расходов р. Припять – г. Мозырь сопоставлены с колебаниями годовых расходов других крупных рек Беларуси.
 5. Асинхронность стока р. Припять и других рек Беларуси определена различными условиями формирования стока (морфометрическими характеристиками и гидрогеологическими условиями).
 6. При исследовании изменений хода АКФ в зависимости от даты начала года выявлено, что наиболее существенно меняются ординаты АКФ по рядам среднего годового стока р. Ясельда – г. Береза и р. Бобрик – с. Парохонск. Это связано, в первую очередь, с изменением условий формирования стока через создание водохранилищ и крупных мелиоративных систем в бассейнах этих рек.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алехин М.Ю. Статистические прогнозы в геофизике. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1963. – 86 с.
2. Дрозд В.В., Ревера О.З. Река Припять. – Минск: Изд-во «Университетское», 1988. – 77 с.
3. Логинов В.Ф., Волчек А.А., Лукша В.В. Многолетние колебания речного стока Припяти / Природопользование. – 2004. – Вып.10. – ИПИПРЭ. – Мн.: ОДО «Тонлик». – С. 8-15.
4. Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 270 с.
5. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 424 с.
6. Шелутко В.А. Вторичные корреляционные и вторичные спектральные функции в применении к оценке структуры колебаний годового стока. – Межвузовский сборник, 1981. – Вып.74. – С. 117-127.

Статья поступила в редакцию 09.01.2007

тории. Масштабы проявления взаимодействия подземных вод и техносферы подчас столь велики, что влиянию негативных процессов подвергаются значительные урбанизированные пространства. Эти проявления нередко выражаются сложным комплексом негативных инженерно-геологических процессов. Все это требует изучения гидродинамического режима подземных вод, в первую очередь грунтовых вод, наиболее подверженных антропогенному воздействию.

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, Э.А. Зальцберга, И.С. Зекцера, 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, В.И. Фоменко, Я.М. Шилинской и многих других ученых [1-15]. Значительный вклад в исследование режима подземных вод внесли российские ученые из ГГИ, ИВП РАН, ИГ РАН и белорусские ученые из РУП "Белгеология", БелНИГРИ, РУП ЦНИИКИВР, ИПИПРЭ НАНБ, ИГН НАНБ и других организаций.

Авторами было проведено изучение условий и факторов формирования гидродинамического режима грунтовых вод на территории Минска [16-18], выполнен анализ отдельных элементов гидродинамического режима [19-20], предложен метод изучения гидродинамического режима на урбанизированных территориях с использованием ГИС-технологий [21].

В статье представлены результаты анализа разностно-интегральных кривых и характера изменения многолетних амплитуд уровней грунтовых вод на изучаемой территории по режимным скважинам РУП «Белгеология».

Методика

Наглядное представление о характере многолетних изменений элементов гидродинамического режима дают интегральные кривые отклонений годовых значений уровня от среднего его значения за весь период наблюдений. Подобное сопоставление или генерализация позволяют выявить территории, где факторы формирования режима грунтовых вод, отвечающие за временные изменения в уровнях подземных вод (периоды высокой и низкой водности) по своему совокупному воздействию на подземные воды ведут себя сходным образом (с заданной погрешностью).

Исследования синхронности режима грунтовых вод в общем виде имеют целью оценку схожести временных изменений в многолетнем ряду уровней.

Такой анализ дает возможность в естественных условиях осуществлять картирование режима по факторам его формирования, что является более удобным, чем привлечение самих факторов, так как совокупное их влияние на подземные воды имеет, как правило, другие пространственные границы.

В случае, когда необходимо выявить техногенные изменения в хронологической составляющей режима, то в пределах единого района по расхождениям в формах фоновых и исследуемых кривых судят о степени воздействия антропогенной составляющей на подземные воды. Районирование по естественным факторам формирования режима в этом случае составляется иным способом.

При генерализации кривых по какой-либо территории получают интегральную характеристику хронологической последовательности многоводных и маловодных серий лет, которую можно использовать для пространственных и временных экстраполяций.

Для построения интегральных кривых используются не абсолютные значения уровня, а их относительные величины:

$\frac{Q_1}{Q}, \frac{Q_2}{Q}, \dots, \frac{Q_n}{Q}$. Тогда как исходная последовательность

преобразуется в новый ряд:

$$y_1 = \left(\frac{Q_1}{Q} - 1 \right), y_2 = \sum_{i=1}^2 \left(\frac{Q_i}{Q} - 1 \right), \dots, \\ y_1 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i}{Q} - 1 \right), \quad (1)$$

где y – ординаты разностной интегральной кривой, соответствующие сумме относительных отклонений от среднего $\left(\frac{Q}{Q} = 1 \right)$ всех предшествующих членов ряда [1].

На полученной таким образом кривой восходящие ветви соответствуют периодам, когда значение уровня выше его среднееголетнего значения (серии лет высокой водности), нисходящие ветви отвечают за значение уровня грунтовых вод ниже его многолетней нормы (серии лет низкой водности). Точки перегиба определяются переходом многолетнего ряда уровней через его среднееголетнее значение. По интенсивности хода ветвей подъема и спада на графиках, по годам формирования экстремумов и по их количеству судят о схожести факторов формирования анализируемых режимов.

Другим методом исследования изменений гидродинамического режима является изучение характера годовых амплитуд колебания уровней грунтовых вод.

Под годовыми амплитудами понимается разность между максимальными и минимальными среднемесячными значениями $a_{\text{год}} = H_{\text{год. max}} - H_{\text{год. min}}$.

Амплитуды колебаний являются одним из основных показателей режима подземных вод. Знание и прогнозирование ее величины необходимо для решения большого круга практических задач, возникающих при изысканиях, проектировании и эксплуатации объектов городского и промышленного строительства. Кроме того, амплитуда является показателем ресурсных изменений подземных вод, базой для оценки подтопленности территории и т.д. Именно поэтому важно выявить ее зависимость от основных факторов и условий. В наибольшей степени на величину сезонных и многолетних изменений оказывает влияние глубина залегания грунтовых вод (мощность зоны аэрации). Для естественных условий общая закономерность изменения амплитуд колебаний с увеличением мощности зоны аэрации является довольно устойчивой. Конкретные природные условия (дренированность, литологический состав водовмещающей среды и т.д.), не изменяя общей тенденции, оказывают влияние на интенсивность затухания внутrigодовых и многолетних колебаний уровня.

Основные результаты исследований

По среднееголетним уровням грунтовых вод в режимных скважинах РУП "Белгеология" в пригородной зоне Минска (пос. Ратомка) были построены разностно-интегральные кривые (рис. 1). На полученном графике восходящие ветви кривой период с начала наблюдений до 1968-69 гг. соответствует серии лет высокой водности, а последующий является периодом серии лет низкой водности. Точка перегиба одна. Она отмечается в 1968-69 гг., когда многолетний ряд уровней переходит через среднееголетнее значение.

Сравнительный анализ обобщенных разностно-интегральных кривых по уровням грунтовых вод в пригородной зоне и на территории Минска показал, что кривые имеют сходный характер (рис. 2). До 1977 г. уровень грунтовых вод в Минске (на территории наблюдений) соответствует серии

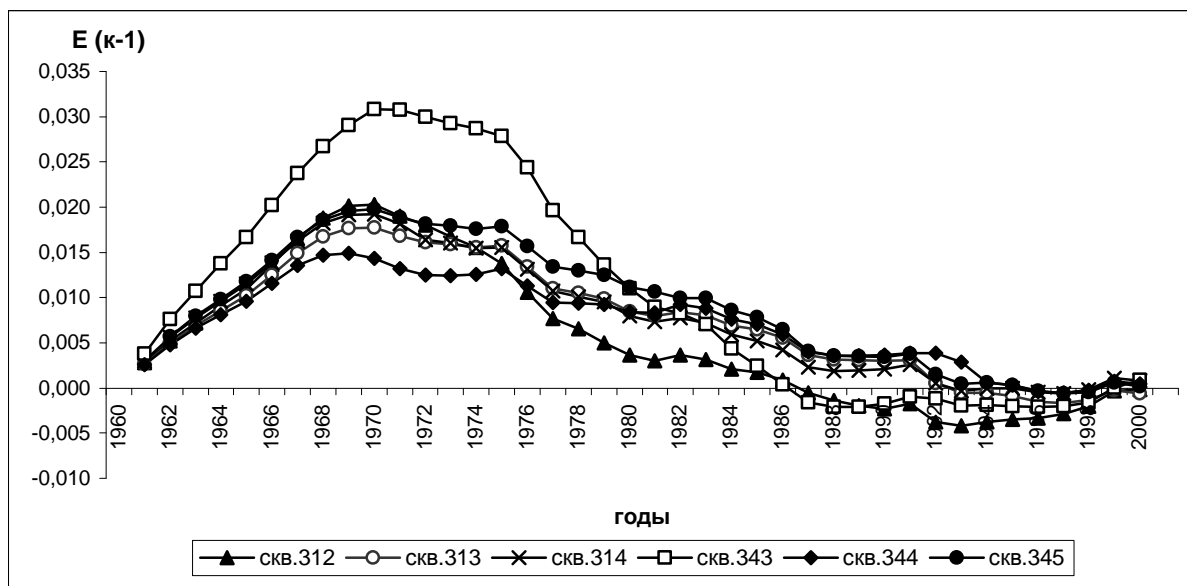


Рис. 1. Разностно-интегральные кривые уровней грунтовых вод по скважинам в пригородной зоне Минска

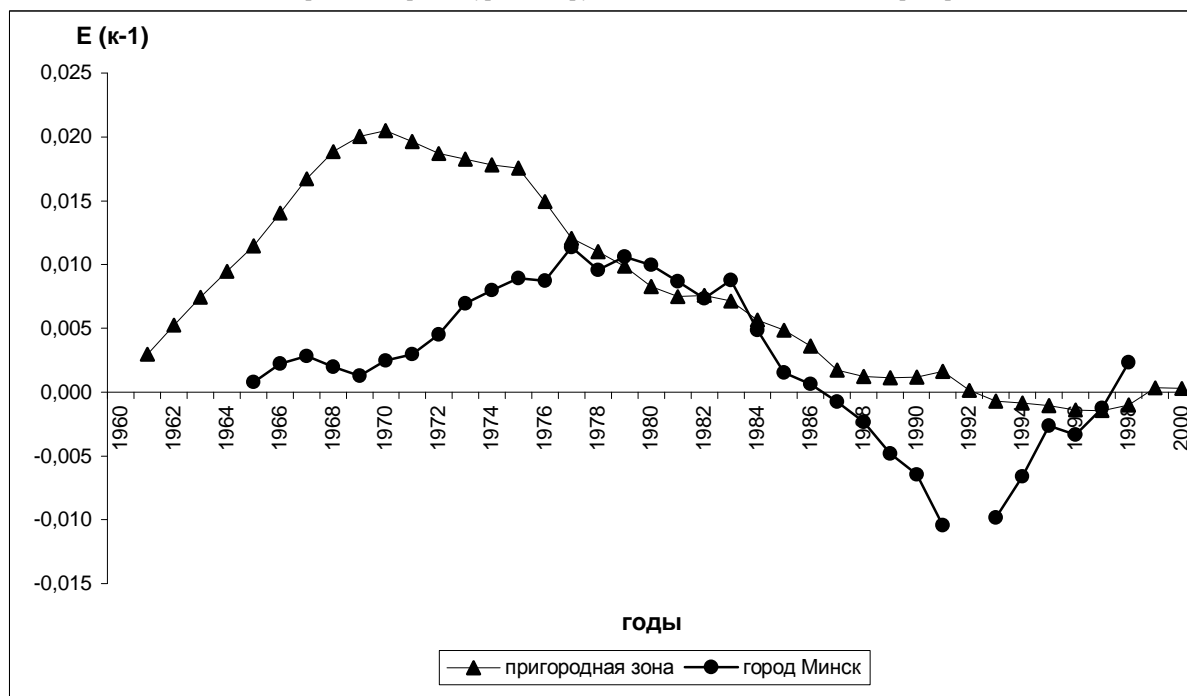


Рис. 2. Сопоставление осредненных разностно-интегральных кривых уровней грунтовых вод по скважинам в пригородной зоне и на территории города Минска

многоводных лет, как и в пригородной зоне. С 1978 по 1992 гг. отмечается серия маловодных лет, причем до 1983 г. интенсивность наклона кривой не значительная, а после 1983 г. крутизна нарастает, что свидетельствует об усилении тенденции в снижении уровня ниже среднееголетнего значения. После 1993 г. наблюдается восхождение кривой, что свидетельствует о начале серии многоводных лет. Кривая подъема кривой меньшей интенсивности отмечается также и в пригородной зоне (после 1997 г.).

По максимальным и минимальным среднемесячным значениям уровней грунтовых вод были рассчитаны годовые амплитуды в каждой режимной скважине и построены гистограммы распределения указанных амплитуд (рис. 3).

Гистограммы дают возможность представить картину распределения амплитуд, увязанную с частотой их формирования. На гистограммах четко прослеживается закономер-

ность количественного распределения годовых амплитуд колебаний, как в естественных, так и нарушенных условиях.

Выводы

Исследования показали, что:

- 1) разностно-интегральные кривые уровней как в городе, так и в пригородной зоне имеют примерно сходный характер (сначала кривые растут, затем наступает падение и вновь рост), следовательно, можно судить о схожести (синхронности) факторов формирования режима на урбанизированной территории и пригородной зоне;
- 2) кривые уровней в городе по сравнению с кривой в пригородной зоне имеют достаточно большой сдвиг во времени, это свидетельствует о присутствии дополнительных техногенных факторов, нарушающих режим;

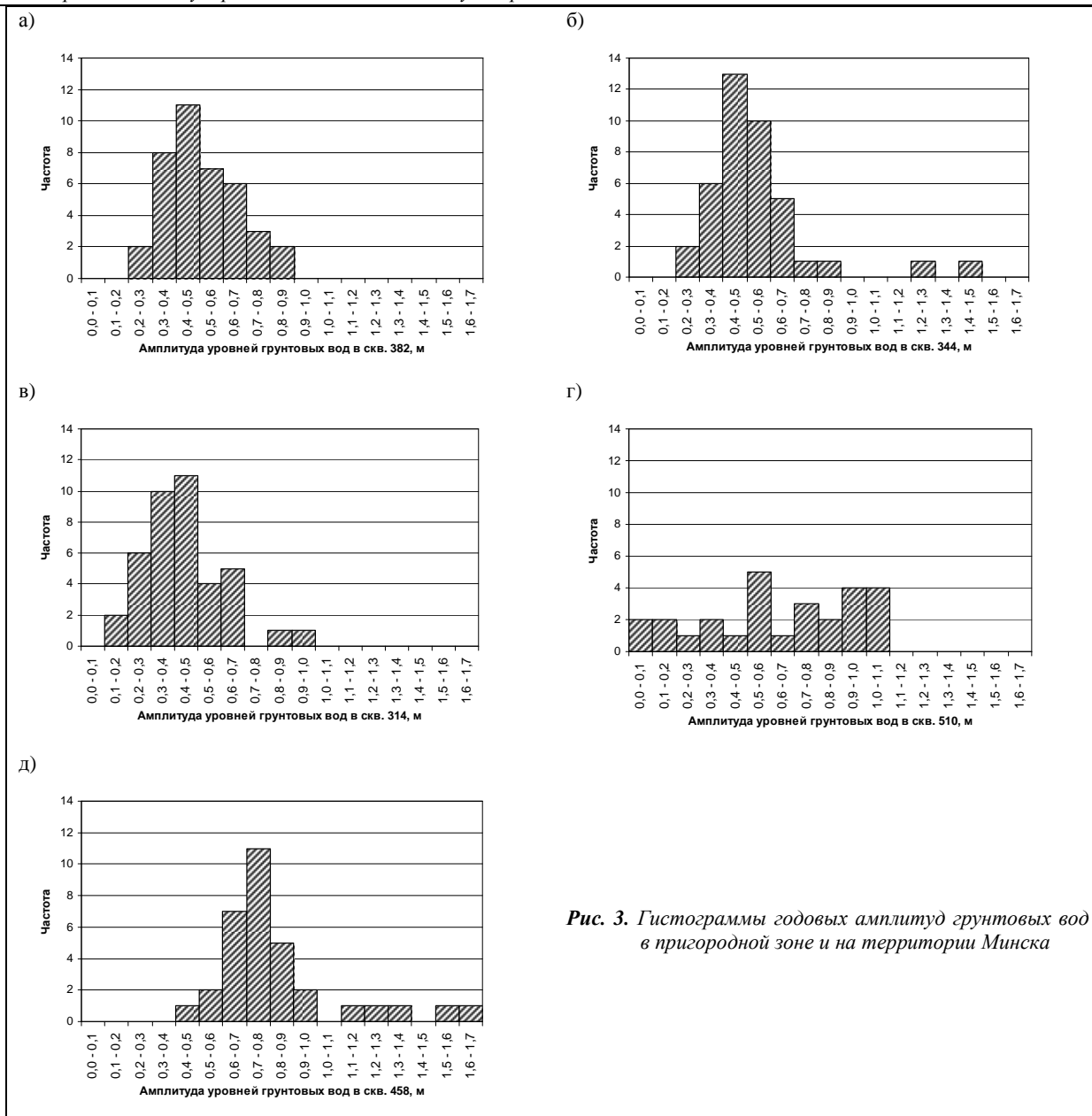


Рис. 3. Гистограммы годовых амплитуд грунтовых вод в пригородной зоне и на территории Минска

3) кривая уровней в городе характеризуется более крутым углом наклона между ростом и падением, что связано также с техногенными факторами;

4) кривая в пригородной зоне имеет резкий подъем в начале наблюдений до 1969-70 гг., что связано, с серией лет с большим количеством осадков и, как следствие, с достаточно высоким уровнем грунтовых вод во всем районе, затем кривая полого падает до 1985-1992 г., по-видимому, это следствие воздействия техногенных факторов; после наступает незначительный подъем кривых над средними значениями, что может свидетельствовать о восстановлении слаборазрушенного режима подземных вод;

5) для разностно-интегральной кривой уровней в городе характерен постепенный рост над средними значениями до 1977 г., затем стабилизация уровней до 1983 г., резкое падение до 1992 г. и такой же резкий подъем. Причина такого поведения уровней – техногенные факторы, вероятнее всего утечки из водонесущих коммуникаций, эксплуатация водозаборных скважин, водопонижение при строительстве метро;

6) на величину амплитуд колебаний влияет глубина залегания водоносного горизонта; фактором, лимитирующим подь-

емы, а, следовательно, и амплитуды колебаний уровней грунтовых вод выступает сама зона аэрации. Так, в скв. 382 водоносный горизонт в среднемноголетнем разрезе залегает на глубине 0,65 м и амплитуда изменяется в интервале 0,2 – 0,9 м с максимальной частотой 28 % в интервале 0,4 – 0,5 м (рис. 3а);

7) при возрастании мощности зоны аэрации, последняя снижает ограничения в колебаниях уровня и амплитуда приобретает тенденцию к росту. Так, в скв. 344 средняя мощность зоны аэрации составляет около 1,2 м, изменяется в интервале 0,2-0,9 м с максимальной частотой 33 %; в интервале 0,4-0,5 м максимальная амплитуда достигает 1,48 м (рис. 3б);

8) зона максимальных амплитуд, по мере углубления, сменяется интервалом, где прослеживается четкая тенденция к уменьшению амплитуд колебаний, на этом участке зона аэрации выступает фактором, регулирующим и лимитирующим процессы испарения и инфильтрации. Так, в скв. 314 на глубине более 10 м амплитуды колебаний не превышают 1 м, максимальная частота в 28% наблюдается в интервале 0,4-0,5 м (рис. 3в);

9) на городской территории прослеживается аналогичная с пригородной зоной тенденция, на небольшой глубине амплитуда изменяется в ограниченном интервале, например в

скв. 510 в интервале 0,02-1,1 м (рис. 3г), а с увеличением глубины отмечается тенденция к росту амплитуды, например, в скв. 458 в интервале 0,4-1,7 м (рис. 3д);

10) на городской территории отмечается низкая частота амплитуд практически на всем интервале значений. Так, в скв. 510 на глубине 7,2 м максимальная частота не превышает 19% (рис. 3г), а увеличением глубины значительно возрастает частота в определенном интервале, так для скв. 458 в интервале 0,7-0,8 м частота амплитуд 33 % (рис. 3д).

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гавич И.К. Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии. – М.: Недра, 1980. – 358 с.
2. Зальцберг Э.А. Режим и баланс грунтовых вод зоны избыточного увлажнения. – Л.: Недра, 1980. – 207 с.
3. Зекцер И.С. Закономерности формирования подземного стока и научно-методические основы его изучения. – М.: Недра, 1977. – 173 с.
4. Каменский Г.Н., Биндеман Н.Н., Вевировская М.А., Алтовский М.Е. Режим подземных вод. – М.-Л.: ГОНТИ, 1938. – 192 с.
5. Киселев П.А. Исследование баланса грунтовых вод по колебаниям их уровня. – Минск: Изд-во АН БССР, 1961. – 202 с.
6. Ковалевский В.С. Влияние изменений гидрогеологических условий на окружающую среду. – М.: Наука, 1994. – 138 с.
7. Ковалевский В.С. Многолетняя изменчивость ресурсов подземных вод. – М.: Наука, 1983. – 204 с.
8. Коноплянец А.А., Семенов С.М. Прогноз и картирование режима грунтовых вод. – М.: Недра, 1974. – 216 с.
9. Кудельский А.В., Пашкевич В.И., Ясовеев М.Г. Подземные воды Беларуси / НАН Беларуси. ИГН; Науч. ред. В.С.Усенко. – Минск: ИГН НАН Беларуси, 1998. – 260 с.
10. Кудельский А.В., Гречко А.М., Кривецкая Т.Д., Пашкевич В.И. Гидрогеологическая экспертиза широкомасштабных осушительных мелиораций Белорусского Полесья / Ред.А.А. Хомич; АН Беларуси. ИГГиГ. – Минск: Наука і тэхніка, 1993. – 200 с.
11. Лебедев А.В. Методы изучения баланса грунтовых вод. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – 192 с.
12. Сачок Г.И., Фадеева Г.М., Бучурин В.И. Применение методов многомерного статистического анализа для альтернативного прогноза уровня подземных вод // Доклады АН БССР, №1, 1977. – С. 73-75.
13. Семенов С.М., Батрак Г.И. Эволюция антропогенных преобразований подземной гидросферы урбанизированных территорий // Глобальные изменения природной среды-2001 / Глав. ред. Н.Л. Добрецов, В.И. Коваленко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал "ГЕО", 2001. – С. 320-332.
14. Станкевич Р.А. Артезианские воды Бреста и их использование. Природные условия, история освоения и пути прогресса. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2004. – 184 с.
15. Станкевич Р.А. Минское месторождение глубоких артезианских вод: Краткий очерк природных условий и истории освоения. – Минск: Беларуская навука, 1997. – 66 с.
16. Тимофеев А.В., Калинин М.Ю. Условия формирования режима уровня грунтовых вод на территории Минской городской агломерации // ЭКВАТЕК-2002. 5-й межд. конгресс "Вода: Экология и технология", Москва 4-7 июня 2002 г. Материалы конгресса. – М.: СИБИКО, 2002. – С. 258-259.
17. Тимофеев А.В. Факторы формирования режима грунтовых вод на урбанизированных территориях // Водные ресурсы. №20. – Минск: ЦНИИКИВР, 2005. – С. 87-94.
18. Тимофеев А.В. Оценка антропогенных факторов формирования уровня режима грунтовых вод на территории г. Минска. // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі (Известия Национальной академии наук Беларуси). Сер. химических наук. №5. – Мн.: Беларуская навука, 2006. – С. 144-146.
19. Калинин М.Ю., Логинов В.Ф., Иконников В.Ф., Синякевич Л.Н., Тимофеев А.В. Исследование изменений поверхностных и подземных вод в результате естественных и антропогенных факторов // Природопользование. Сб. науч. тр. ИПИПРЭ НАНБ Вып. 8. – Минск: ИГН НАНБ, 2002. – С. 88-98.
20. Калинин М.Ю., Синякевич Л.Н., Тимофеев А.В. Анализ многолетнего естественного режима уровня подземных вод в бассейне р. Неман и Минской городской агломерации // Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология. № 3(9), 2002. – С. 4-7
21. Тимофеев А.В. Использование ГИС-технологий для информационного обеспечения мониторинга гидрогеологической среды урбанизированных территорий // Современное состояние, проблемы и перспективы использования водных ресурсов Беларуси. Материалы Водного форума. Минск, 30 сентября – 1 октября 2003 г. – Минск, 2003. – С. 179-182.

Статья поступила в редакцию 22.01.2007

УДК 556.16.06

Парфомук С.И.

ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ ВОДНОГО РЕЖИМА МАЛЫХ РЕК БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ

Введение

Водным ресурсам присуща динамика, а их комплексное и рациональное использование невозможно без прогноза колебаний и изменений во времени. Характер колебаний водных ресурсов определяется климатическими факторами, но, начиная со второй половины XX века, роль антропогенной составляющей в ряде случаев становится соизмеримой с природными воздействиями. Таким образом, можно констатировать, что конец XX – начало XXI века характеризуется направленной климатической изменчивостью и повышением антропогенной нагрузки на сток рек, особенно малых. Это не могло

не сказаться на факторах формирования стока малых рек, их гидрологическом режиме и гидро-экологическом состоянии. Кроме того, воздействия антропогенных факторов на водный режим рек имеют как разнонаправленный характер, что компенсирует влияние, так и однонаправленный, что, в свою очередь, усиливает трансформацию водного режима.

Одним из наиболее мощных антропогенных факторов воздействия на речной сток являются крупномасштабные гидротехнические мелиорации. Проведенные мелиорации не только непосредственно трансформируют водный режим территории, но и при неразумном использовании осушенных земель могут

Парфомук Сергей Иванович, аспирант каф. информатики и прикладной математики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, г. Брест, ул. Московская, 267.

Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика