Н.А. Бродская, Н.В. Мякишева, К.В. Александрова

ОЦЕНКА РАЗНОМАСШТАБНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД

N.A. Brodskaya, N.V. Myakisheva, K.V. Aleksandrova

THE ESTIMATION OF DIFFERENT SCALE SURFACE AND UNDERSURFACE WATERS INTERRELATION

В отсутствии мониторинга за состоянием грунтового стока в р. Лугу предлагается использовать взаимный анализ данных натурных наблюдений в диапазонах внутригодового хода и многолетней изменчивости. Генетическая взаимосвязь поверхностных и подземных вод позволяет рассматривать расходы воды в р. Луге и подземный приток как вход и выход некоторой реальной динамической системы. Выполненные расчеты показывают, что для прогнозных оценок гидродинамической обстановки во внешней техногенной зоне и расчета ионного стока в р. Лугу, можно использовать наблюдения на гидростворе реки — г. Кингисепп местной гидрометеостанции.

Ключевые слова: поверхностные воды, подземные воды, взаимодействие.

In the absence of monitoring about the state of ground drain into the river Luga it is proposed to use a mutual data analysis of intra-annual and long-term observations in the basic ranges of temporary changeability. The genetic interrelation of surface and undersurface waters makes it possible to examine the expenditures of water in the river for the Luga and undersurface inflow as the entrance and the output of a real dynamic system. As calculations show for the forecast evaluations of the hydrodynamic situation in the external technogenic zone and calculating the ionic drain into the river Luga it is possible to use observations on the hydro-station Kingisepp.

Key words: surface waters, undersurface waters, interrelation.

Введение

Кингисеппское месторождение фосфоритов с возведенными на его площади горно-добычным, обогатительным и химическим комплексами размещается в Кингисеппском районе Ленинградской области. Северная и восточная его граница совпадает с береговыми очертаниями р. Луги, западная — с р. Нарвой и южная с Нарвским водохранилищем, как представлено на рис. 1. Протяженность месторождения с запада на восток составляет 20 км, с севера на юг 5—10 км.

Территория, занимаемая промышленным комплексом ООО «ПК «Фосфорит» с сопредельными площадями, представляет собой сложное сочетание природных и техногенных ландшафтов. Северная часть территории, именуемая Промплощадкой, размещается на рекультивированных землях бывшего карьера Северного рудника. На ней находятся цеха химического комплекса, обогатительной фабрики, гидротехнические сооружения, отвалы отходов, очистные сооружения. За пределами горного отвода

рекультивированные земли частично заняты цехами других предприятий — ремонтномеханическим, стекольным, ликероводочным заводами, но большей частью — водоемами, образовавшимися на этом участке после завершения горных работ.

Южная часть территории, именуемая Южным рудником, представляет собой нарушенные горными работами земли, частично рекультивированные. Южнее рабочих уступов карьеров рудника вплоть до береговой линии Нарвского водохранилища размещаются не тронутые техногенезом земли, представляющие собой заболоченные и залесенные пространства.

Между Промплощадкой и Южным рудником имеется узкая полоска земли, отведенная под авто- и железнодорожные коммуникации, которую называют Целиком. Целик делит месторождение фосфоритов на две части — северную и южную и, на фоне измененных отработкой геолого-гидрогеологических условий, представляет собой самостоятельное геологическое тело, зажатое с обеих сторон техногенными образованиями.



Рис. 1. Карта расположения ООО « ПК Фосфорит»

На территории была создана контрольная наблюдательная сеть скважин, на которой велись наблюдения за режимом подземных вод [1], по этим данным проведена типизация гидрогеологического разреза по степени нарушенности, районирование территории, составлена гидродинамическая схема грунтовых вод, выделены типы режима уровней грунтовых вод (УГВ), представленные на рис. 2—5. Основным критерием для выделения гидрогеологических участков территории с различными типами режима УГВ является литологический состав зоны аэрации и водовмещающих пород. Именно

состав пород определяет скорость фильтрации ГВ (условия их разгрузки) и размеры возможной инфильтрации (условия питания). Степень техногенной нарушенности обусловливает величину годовой амплитуды колебаний УГВ, сроки наступления их максимальных величин и др.

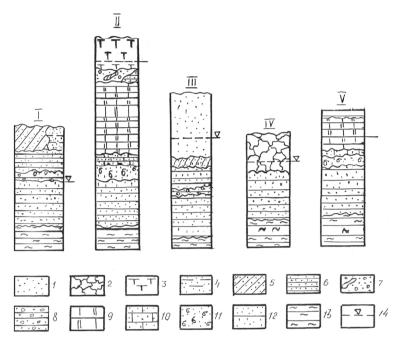


Рис. 2. Схематические гидрогеологические разрезы:

I-V— типы гидрогеологических разрезов по степени техногенного нарушения; I— современные техногенные намывные пески; 2— современные техногенные грубообломочные отложения; верхнечетвертичные; 3— современные торфяно-болотные отложения; 4— современные аллювиальные пески; 5— современные покровные суглинки; 6— ленточные глины; 7— флювиогляциальные пески и суглинки; 8— средне-верхне-четвертичные моренные суглинки; 9— ордовикские доломитизированные известняки; 10— нижнеордовикские глауконитовые пески и песчаники; 11— нижнеордовикские алевролиты с прослоями глин; 13— нижнекембрийские зеленовато-серые («синие») глины; 14— уровень грунтовых вод

В зависимости от мощности техногенного источника питания ГВ режим их настолько отличается от природного, что вблизи этого источника он, по существу, не зависит от гидрометеорологических условий: ГВ весь год имеют высокий уровень с минимальной годовой амплитудой колебания. По мере удаления от источников техногенного питания в ходе УГВ все больше проявляется взаимосвязь с природными режимообразующими факторами, амплитуда колебаний УГВ увеличивается. В зоне действующих карьеров ход уровней определялся режимом карьерных откачек, формированием депрессионной воронки и зарегулированностью (влиянием водохранилища).

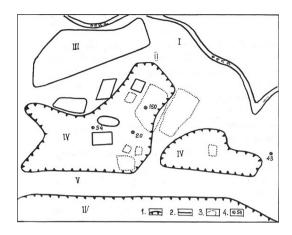


Рис. 3. Схема районирования по типу гидрогеологического разреза: 1 — граница отработанного карьера; 2 — накопители твёрдых и жидких отходов производства; 3 — производственные сооружения; 4 — наблюдательные скважины

Гидродинамическая схема представлена по состоянию на момент отработки карьеров Южного рудника. В связи с водопонижением в зоне карьеров депрессионная воронка определила генеральное направление грунтовых вод с северной промплощадки в забои карьеров. В то же время с юга, со стороны Нарвского водохранилища, грунтовые воды также имеют направление движения в карьеры. Необходимо отметить, что на промплощадке сформировалось устойчивое загрязнение грунтовых вод специфическими компонентами, превышающее в сотни и тысячи раз ПДК.

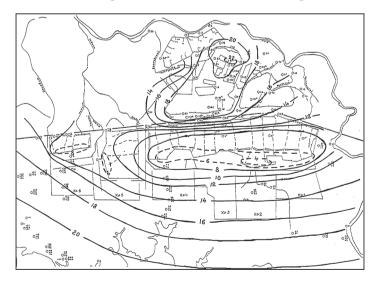


Рис. 4. Схема гидроизогипс территории промышленного комплекса

В карьерах два потока смешиваются, что приводит к разбавлению загрязненных вод и снижению концентраций загрязняющих веществ. Этот фактор можно было бы отнести к позитивному, но в настоящее время карьерная отработка месторождения прекращена, предприятие работает на привозном сырье [2, 3]. Заметим, что в пределах всей исследуемой территории годовой ход УГВ характеризовался одним максимумом и одним минимумом. Размеры годовых амплитуд колебания УГВ находились в пределах (0,04—4,6) м. За период наблюдений с 1983 по 1989 г. минимальные их значения, независимо от водности года, характерны для зоны с максимальной техногенной нагрузкой (ІІІ тип режима). На графиках хода годовых амплитуд отмечается некоторая синхронность, свидетельствующая о степени взаимосвязи элементов режима УГВ с едиными режимообразующими факторами. Выделенные типы режима характеризуют различную степень нарушенности гидрогеологического разреза и влияние близости источников техногенного питания.

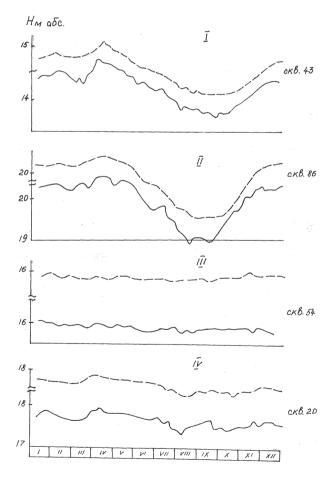


Рис. 5. Типы режима уровня грунтовых вод

Так, ход уровня по скважине 43 находится под воздействием только естественных источников питания и представляет собой гидродинамические ненарушенные условия. Все остальные демонстрируют различную степень этой нарушенности. Не вдаваясь в эти особенности, подробно рассмотренные в ряде опубликованных материалов авторов, приведем пример взаимосвязи с интегральной годовой характеристикой. Как показывают исследования, нарушенные гидрогеологические условия оказывают влияние и на режим химического состава, закономерности которого выявить невозможно. Так, по данным режимной скважины 43, находящейся на ненарушенной территории, эти закономерности проявляются довольно четко, как видно на рис. 6.

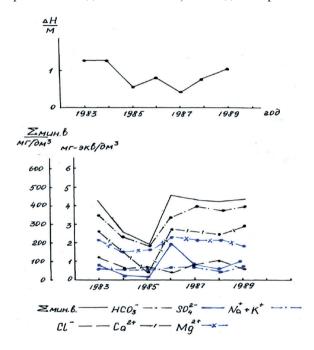


Рис. 6. Ход годовой амплитуды колебания уровня грунтовых вод (ΔH) и содержание основных химических элементов в грунтовых водах (скв. 43)

Проведенный анализ закономерностей гидрогеологических условий позволяет нам обосновать поиски методов оценки современной ситуации, сложившейся в связи с заполнением карьеров Южного рудника водой до отметок более 12 м. В результате осуществляется подпор потока загрязненных грунтовых вод с северной территории и увеличение разгрузки карьерных вод в р. Лугу. Это обстоятельство негативно сказывается на состоянии реки.

В настоящее время р. Луга находится под пристальным вниманием международного экологического мониторинга. Выше и ниже устья ручья Горский, куда «Фосфорит» сбрасывает сточные воды после очистных сооружений, находятся точки режимных наблюдений. На наш взгляд, такая точка должна находиться и в зоне разгрузки карьерных

вод, гораздо выше по течению. В качестве доказательства этой необходимости, а также в целях получения прогнозных расчетов по восстановлению гидродинамического режима и взаимодействия загрязненных вод с чистыми природными водными объектами, для разработки рационального проекта по оздоровлению экологического состояния рекультивированной территории и возвращению ее населению города Кингисепп мы произвели расчеты, результаты которых нам представляются весьма интересными и полезными.

На ООО «ПК «Фосфорит» возникла проблема оценки его негативного влияния на природные объекты в районе природопользования. Она состоит не только в разработ-ке технических проектов охраны окружающей среды, но и в составлении прогнозов изменения гидрогеологических условий и взаимосвязи этих изменений с главной водной артерией р. Лугой [3].

Материалы и методы

Многие трудности, возникающие при исследовании взаимодействия природных процессов, можно преодолеть путем взаимного анализа данных натурных наблюдений в основных диапазонах временной изменчивости при использовании адекватных методов. Генетическая взаимосвязь поверхностных и подземных вод позволяет рассматривать расходы воды в реке Луге и подземный приток как вход Q(t) и выход $Q_n(t)$ некоторой реальной динамической системы. Отметим, что методы линейных динамических систем нашли хорошее теоретическое развитие в классических работах [4, 5]. Применение этих методов к анализу реальных природных систем дано, например, в работе [6]. Рассмотрим взаимодействие процессов Q(t) и $Q_n(t)$ в диапазонах внутригодовых и многолетних колебаний.

Как видно из рис. 7, на котором приведены совмещенные реализации средних месячных расходов р. Луги Q(t) и подземного притока в нее $Q_n(t)$, для обоих процессов четко выражена ритмика годовой цикличности.

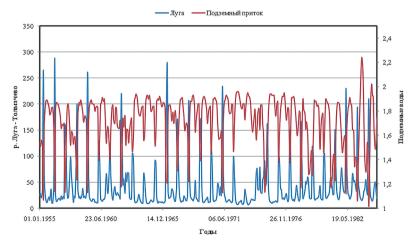


Рис. 7. Совмещенные реализации средних месячных расходов р. Луги Q(t) и подземного притока в нее $Q_n(t)$

В стоке реки из года в год повторяются весеннее половодье, летняя межень, осенний дождевой паводок и зимняя межень. В отдельные годы наблюдаются и летние дождевые паводки. Для подземного притока ежегодно повторяется глубокий минимум расходов весной и несколько второстепенных минимумов в летнее — осенний период, количество которых определяется особенностями режима подземных вод для конкретного года. Межгодовая изменчивость рассматриваемых процессов проявляется преимущественно в виде амплитудной модуляции характерных элементов внутригодового хода. Необходимо обратить внимание на зеркальный ход реализаций Q(t) и $Q_n(t)$.

Наличие во временной изменчивости обоих процессов ритмики годовой цикличности приводит к необходимости анализировать ее методами теории периодически коррелированных случайных процессов (ПКСП). Напомним, что основными вероятностными характеристиками ПКСП являются:

математическое ожилание

$$m_{\xi}(t) = M\left\{\xi(t+kT)\right\},\tag{1}$$

дисперсия

$$D_{\xi}(t) = M\left\{\xi^*(t+kT)^2\right\},\tag{2}$$

корреляционная функция

$$K_{\xi}(t,\tau) = M\left\{\xi^{*}(t+kT)\xi^{*}(t+\tau+kT)\right\},\tag{3}$$

где $\xi^*(t) = \xi(t) - m_{\xi}(t); \tau$ — сдвиг при расчете корреляционной функции.

Функции (1), (2), и (3) являются периодическими по аргументу t с периодом T, который называется периодом коррелированности. Естественными периодами коррелированности природных процессов являются T = 1 сутки и T = 1 год.

Для описания взаимосвязи рассматриваемых процессов воспользуемся следующим набором вероятностных характеристик: $m_Q(t)$, $m_{Q_\Pi}(t)$ — математическое ожидание внутригодового хода расходов воды и подземного притока; $D_Q(t)$, $D_{Q_\Pi}(t)$ — дисперсия внутригодового хода процессов; $K_Q(t,\tau)$, $K_{Q_\Pi}(t,\tau)$, $K_{QQ_\Pi}(t,\tau)$ — автокорреляционные и взаимные корреляционные зависимости внутригодовой ($\tau=1$ мес.) и межгодовой ($\tau=1$ год) изменчивости.

Оценки вероятностных характеристик $m^*_{\varrho}(t), m^*_{\varrho_{\Pi}}(t), D^*_{\varrho}(t), D^*_{\varrho_{\Pi}}(t), K^*_{\varrho}(t, \tau), K^*_{\varrho_{\Pi}}(t, \tau)$ вычисляются по отсчетам, взятым из исходных реализаций через период коррелированности T, и имеют вид:

$$m_{\xi}^{*}(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} \xi(t+kT),$$
 (4)

$$D_{\xi}^{*}(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} \left[\xi^{*}(t + kT) \right]^{2}, \tag{5}$$

$$K_{\xi}^{*}(t,\tau) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} \left[\xi^{*}(t+kT) \xi^{*}(t+\tau+kT) \right].$$
 (6)

Оценки взаимных корреляционных зависимостей вычисляются по выражениям:

$$K_{*QQ_{\Pi}}(t,\tau) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} Q^{0}(t+kT) Q_{\Pi}^{0}(t+\tau+kT), \tag{7}$$

$$K_{*Q_{\Pi}Q}(t,-\tau) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} Q_{\Pi}^{0}(t+kT)Q^{0}(t+\tau+kT), \tag{8}$$

где Q^0 , Q_{π}^0 — центрированные последовательности значений расхода воды и подземного притока; T — период коррелированности; $\tau = 1$ мес. — шаг временного сдвига; k = 1, ..., N; N — количество лет наблюдений.

При использовании исходной информации месячного периода осреднения оценки (4—8) вычисляются по ежегодным последовательностям значений для каждого месяца года в предположении об их стационарности и стационарной связанности.

Напомним, что характеристики ПКСП описывают так называемую повторяемость в среднем свойств гидрометеорологических процессов. Оценка $m_\xi(t)$ характеризует регулярную компоненту изменений и позволяет найти средний многолетний повторяющийся образ внутригодового хода. Оценка $D_\xi(t)$ характеризует отклонение от среднего многолетнего повторяющегося образа. Совместный анализ графиков оценок $m_\xi(t)$ и $D_\xi(t)$ позволяет установить тип межгодовой изменчивости процесса. Если графики когерентны, межгодовая изменчивость процесса происходит в виде амплитудной модуляции, если графики не когерентны — в виде фазово-частотной модуляции. Оценка $K_\xi(t,\tau)$ определяет закономерности корреляционных зависимостей внутригодовой изменчивости при $\tau=1$ месяц и межгодовой изменчивости при $\tau=1$ год.

Матрица корреляционных зависимостей внутригодовой изменчивости имеет две ветви связей: «вперед» и «назад». Ветвь связи «вперед» показывает коррелированность значений процесса в каждый j-й месяц года с величинами в последующие месяцы, ветвь связи «назад» — зависимость отсчетов процесса в каждый j-й месяц от значений в предшествующие ему месяцы.

Графики $m^*_{Q}(t)$, $m^*_{Q_{\Pi}}(t)$, $D^*_{Q}(t)$, $D^*_{Q_{\Pi}}(t)$, приведенные на рис. 8-10, дают количественные оценки тех особенностей внутригодового хода и межгодовой изменчивости процессов Q(t) и $Q_{\Pi}(t)$, что были отмечены при анализе исходных реализаций.

Так, график оценки математического ожидания $m^*_{\mathcal{Q}}(t)$ расходов р. Луги отражает особенности режима рек восточноевропейского (по классификации Б.Д. Зайкова) или волжского (по классификации М.И. Львовича) типа. Кривая оценки дисперсии $D^*_{\mathcal{Q}}(t)$ повторяет все особенности кривой оценки $m^*_{\mathcal{Q}}(t)$. Особый интерес представляет анализ внутригодового хода подземного притока. График оценки математического ожидания $m^*_{\mathcal{Q}_{\Pi}}(t)$ имеет достаточно сглаженный ход с основным минимумом расходов в апрелемае и растянутым максимумом значений с июня по ноябрь. График оценки дисперсии $D^*_{\mathcal{Q}_{\Pi}}(t)$ — это сложная периодическая кривая с двумя основными равновеликими

максимумами в январе и в мае и второстепенным максимумом в сентябре. Зимний и осенний максимумы на кривой $D^*_{\mathcal{Q}_{\Pi}}(t)$ связаны с особенностями влагообмена в зоне аэрации, обусловленные режимом температуры воздуха и количеством осадков. Минимумы на кривой $D^*_{\mathcal{Q}_{\Pi}}(t)$ приходятся на март, июнь-июль и октябрь-ноябрь. При этом основной минимум наблюдается летом.

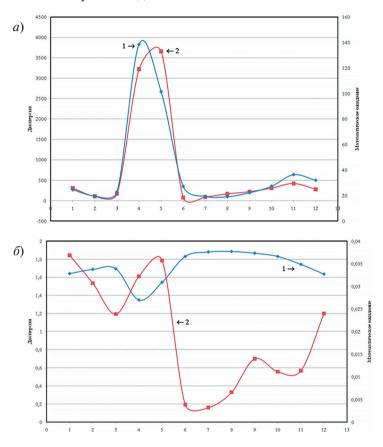


Рис. 8. Графики оценок математического ожидания (1) и дисперсии (2) расходов р. Луги (a) и подземного притока (δ)

Несмотря на наличие второстепенных особенностей на кривой оценки дисперсии подземного притока $D^*_{\mathcal{Q}_\Pi}(t)$ по сравнению с кривой оценки математического ожидания $m^*_{\mathcal{Q}_\Pi}(t)$, необходимо обратить внимание на практически зеркальное отражение графиков $m^*_{\mathcal{Q}_\Pi}(t)$ и $D^*_{\mathcal{Q}_\Pi}(t)$. Это означает, что в большей степени от года к году изменяются величины подземного притока в январе и в мае, в меньшей степени — с июня по декабрь. Зеркальность отражения нарушается лишь в мае и сентябре. В отдельные годы основной минимум подземного притока наблюдается не в апреле, а в мае, как показывает максимум на кривой $D^*_{\mathcal{Q}_\Pi}(t)$.



Рис. 9. Совмещенные графики оценок математического ожидания расходов р. Луги $m^*Q(t)$ и притока подземных вод $m^*Q_n(t)$

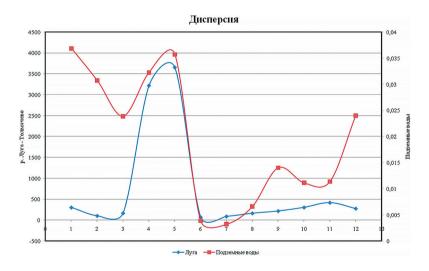


Рис. 10. Совмещенные графики оценок дисперсии расходов р. Луги $D^*Q(t)$ и притока подземных вод $D^*Q_n(t)$

Совмещенные графики оценок математического ожидания расходов р. Луги $m^*_{\varrho}(t)$ и притока подземных вод $m^*_{\varrho_{\Pi}}(t)$ (рис. 9) показывают, что внутригодовой ход притока подземных вод практически зеркально отражает ход речного стока: минимум притока подземных вод совпадает с максимумом расходов р. Луги и наблюдается в апреле, в период прохождения максимальных расходов весеннего половодья. В период подъёма

волны весеннего половодья наблюдается уменьшение подземного притока, в период спада — увеличение. С января по март незначительному уменьшению речного стока соответствует незначительное увеличение подземного притока. С июля по ноябрь небольшому увеличению речного стока соответствует небольшое уменьшение подземного притока. Ход графиков оценок дисперсии подземного притока $D^*_{Q_{\Pi}}(t)$ и расходов воды в р. Луге $D^*_{Q}(t)$ практически совпадает в период весеннего половодья (рис. 10). Отличия наблюдаются с сентября по март, когда на кривой $D^*_{Q_{\Pi}}(t)$ появляются максимумы, связанные, по-видимому, с действием метеорологических факторов.

Графики оценок корреляционных зависимостей внутригодовой изменчивости расходов р. Луги $K^*_{O}(t,\tau)$ и притока подземных вод $K^*_{O_{\sigma}}(t,\tau)$, $\tau=1$ мес. различны для разных месяцев года, но практически идентичны для обоих процессов в каждый месяц. Связи «назад» и «вперед» существенно несимметричны в период зимней межени (январь-март). Связи «назад» затухают медленно (радиус корреляции достигает десяти месяцев), а связи «вперед» — достаточно быстро (радиус корреляции составляет три-четыре месяца). Это связано с тем, что пополнение запасов подземных вод и питание реки в этот период зависят от предыстории процессов: объемов весеннего половодья и дождевых паводков предшествующей части года. В период весеннего половодья (апрель, май), объем которого определяется в основном запасами снега на водосборе, связи «вперед» и «назад» симметричны и затухают быстро (радиус корреляциисоставляет всего один-два месяца). В июне-июле медленнее затухают связи «вперед» (радиус корреляции достигает десяти месяцев), чем «назад» (радиус корреляции составляет пять-шесть месяцев). В период летне-осенней межени (август-сентябрь) формируются практически симметричные связи «вперед» и «назад» (радиус корреляции составляет десять месяцев). В октябре-декабре постепенно уменьшается радиус корреляции связей «вперед».

Графики оценок корреляционных зависимостей межгодовой изменчивости расходов р. Луги $K^*_{Q}(t,\tau)$ и притока подземных вод $K^*_{Q_n}(t,\tau)$, $\tau=1$ год достаточно быстро затухают на начальном участке. Однако их дальнейший ход различен для разных месяцев года и несколько отличается для рассматриваемых процессов в некоторые месяцы. Так, в январе и феврале $K^*_{Q}(t,\tau)$ и $K^*_{Q_n}(t,\tau)$ затухают по экспоненте. При этом $K^*_{Q}(t,\tau)$ пересекают, а $K^*_{Q_n}(t,\tau)$ не пересекают нулевой уровень. В марте $K^*_{Q}(t,\tau)$ и $K^*_{Q_n}(t,\tau)$ практически идентичны, затухая на первом шаге временного сдвига и продолжая флуктуировать в дальнейшем. В апреле $K^*_{\varrho}(t,\tau)$ и $K^*_{\varrho_{\Pi}}(t,\tau)$ затухают по экспоненте с радиусом корреляции около года для речного стока и двух лет для подземных вод. В мае $K^*_{\mathcal{Q}}(t,\tau)$ и $K^*_{\mathcal{Q}_n}(t,\tau)$, затухая по экспоненте, не пересекают нулевого уровня. В июне на графиках $K^*_{\mathcal{Q}_\Pi}(t,\tau)$ и $K^*_{\mathcal{Q}_\Pi}(t,\tau)$ обоих процессов появляется косинусная составляющая. При этом $K^*_{\mathcal{Q}_\Pi}(t,\tau)$ не пересекает нулевого уровня в отличие от $K^*_{\mathcal{Q}}(t,\tau)$. Косинусная составляющая на графике корреляционной зависимости межгодовой изменчивости для речного стока сохраняется и в июле. С августа по ноябрь $K^*_O(t, \tau)$ затухают по экспоненте с радиусом корреляции около года. Только в декабре на графике $K^*_{O}(t,\tau)$ снова появляется косинусная составляющая. Для подземного притока $K^*_{Q_n}(t,\tau)$ с июля по декабрь затухают по экспоненте с радиусом корреляции около года. Коэффициенты внутригодовой взаимной корреляции между расходами р. Луги и притоком подземных вод значимы для всех месяцев года, как показано в таблице.

Значения коэффициентов взаимной корреляции между расходами р. Луги
и подземным притоком внутри года

	Январь (П)	Февраль (П)	Март (П)	Апрель (П)	Май (П)	Июнь (П)	Июль (П)	Август (П)	Сентябрь (П)	Октябрь (П)	Ноябрь (П)	Декабрь (П)
Январь	-0,77	-0,77	-0,72	-0,29	-0,02	-0,13	0,21	0,20	0,18	0,12	0,02	0,01
Февраль	-0,79	-0,84	-0,80	-0,55	-0,10	-035	0,09	0,25	0,22	0,13	0,00	0,01
Март	-0,47	-0,50	-0,67	-0,35	0,19	-0,09	0,02	-0,06	0,00	0,10	0,09	0,07
Апрель	-030	-0,35	-0,40	-0,86	0,22	-0,04	-0,14	0,15	-0,06	-0,11	-0,21	-0,07
Май	0,21	0,14	0,15	0,17	-0,85	-0,50	-0,27	-0,18	-0,18	-0,24	0,05	0,09
Июнь	-0.08	-0,14	-0,07	-0,08	-0,62	-0,87	-0,44	-0,19	-0,18	-0,22	-0,10	0,07
Июль	-0,07	-0,07	0,03	-0,26	-0.08	-0,53	-0,75	-0,45	-0,49	-0,31	-0,32	-0,26
Август	0,01	0,04	0,08	0,02	0,01	-0,24	-0,49	-0,74	-0,35	-0,20	-0,27	-0,30
Сентябрь	0,03	0,01	0,03	-0,32	-0,08	-0,27	-0,69	-0,62	-0,81	-0,62	-0,43	-0,43
Октябрь	-0,07	-0,06	0,02	-0,37	-0,21	-0,32	-0,34	-0,36	-0,63	-0,80	-0,64	-0,41
Ноябрь	-0,20	-0,12	-0,02	-0,34	0,00	-0,25	-0,36	-0,33	-0,47	-0,66	-0,85	-0,61
Декабрь	-0,15	-0,08	0,00	-0,20	0,08	-0,12	-0,50	-0,38	-0,37	-0,27	-0,52	-0,75

Наиболее наглядно взаимосвязь рассматриваемых процессов в диапазоне многолетней изменчивости видна на рис. 11, содержащем ряды средних годовых значений Q(t) и $Q_n(t)$ и результаты их низкочастотной фильтрации Баттерворта, а также на рис. 12, где приведены графики связи поверхностных и подземных вод без удаления и с удалением отскакивающих точек, связанных с проявлением экстремальных метеорологических условий.

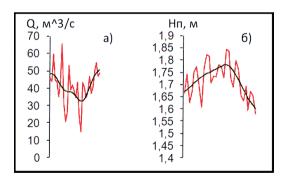


Рис. 11. Результаты низкочастотной фильтрации Баттерворта средних годовых расходов воды р. Луга (a) и подземного притока (δ)

Удалив точки, отмеченные на рис. 12, связь становится более тесной и коэффициент детерминации R^2 увеличивается до 0,81.

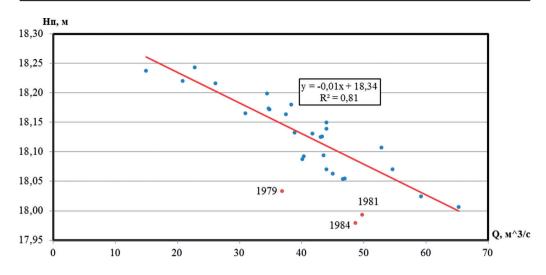


Рис. 12. График связи поверхностных и подземных вод

Выводы

Как показывают расчеты для прогнозных оценок гидродинамической обстановки во внешней техногенной зоне и расчета ионного стока в р. Лугу можно использовать наблюдения на гидростворе реки — г. Кингисепп местной гидрометеостанции. Необходимо восстановить лишь одну гидрогеологическую скважину № 43 на территории промпредприятия и включить ее в мониторинг р. Луги.

Наблюдательная скважина № 43 является репрезентативной и может быть использована для прогнозных расчетов изменчивости гидродинамического режима на всей территории промышленного комплекса и в зоне рекультивированных карьеров при условии ее восстановления и включения в режимную сеть наблюдений.

Выполненные расчёты показали, что при наличии гидравлической связи минимальные расходы воды в р. Луге обусловлены только подземным стоком, в режиме которого значительную роль играют особенности влагообмена в зоне аэрации.

Проведенные исследования и расчеты будут продолжены для конкретизации взаимосвязи поверхностных и подземных вод по ежегодным последовательностям средних месячных значений. Оценки авто- и взаимных корреляционных зависимостей внутриимежгодовой изменчивости будут необходимы в дальнейшем для построения моделей передаточных функций между подземным и поверхностным стоком.

Литература

- 1. Бродская Н.А. Влияние промышленного комплекса на режим и состав грунтовых вод (на примере КПО «Фосфорит»). Диссертация. СПб.: Высшая школа, 1992. 198 с.
- Бродская Н.А. Возможности использования водных объектов в зонах погашенных карьеров. // Тезисы доклада научной конференции «Комплексные проблемы гидрогеологии». — СПбГУ, 2013, с. 16–19.

ГИДРОЛОГИЯ

- 3. *Бродская Н.А., Павлов А.Н.* Возможности развития ландшафтно-экологического туризма на территориях с повышенной техногенной нагрузкой. // Ученые записки РГГМУ, 2013, № 30, с. 115—132.
- 4. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1, 2.-M., 1974.
- 5. *Кашьяп Р.Л., Рао А.Р.* Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным. М., 1983.
- 6. *Мякишева Н.В., Трапезников Ю.А.* Влияние внутригодовых и многолетних колебаний водности в системе «Ладожское озеро река Нева» на режим солености вод Балтийского моря. // География и современность, 1992, вып. 6, с. 65–78.