

SIMULATION OF SANITARY PROTECTION ZONES OF VILNIUS WELLFIELDS

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОН САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ВИЛЬНИОССКИХ ВОДОЗАБОРОВ

А.Бендораитис, М.Грегораускас, А. Климас & М.Планкис

Ключевые слова: область захвата водозабора, зона санитарной охраны водозабора, моделирование

ВВЕДЕНИЕ

Столица Литовской Республики Вильнюс обеспечивается питьевой водой из подземных источников. До недавнего времени для этих целей в городе и в его окрестностях эксплуатировалось 20 водозаборов, большинство из которых расположены в долине реки Нярис и в долинах ее притоков Вильня и Воке (рис.1). В связи с уменьшением водопотребностей в настоящее время работает 13 водозаборов. Все водозаборы имеют зоны санитарной охраны (ЗСО), однако в советское время они определялись по методике, сильно завышавшей размеры таких зон – в Вильнюсе они охватывали не только всю территорию города, но и его окрестности. Очевидно, что такие ЗСО, за исключением поясов строгого режима, были формальными. Поэтому ещё в 1991 г. нами была разработана и утверждена в установленном порядке республиканская норма гигиены 44:1993, которая лучше отображала гидрогеологические условия Литвы. Однако и при определении этих ЗСО не учитывалось время миграции загрязнителей в эксплуатируемый пласт с поверхности земли. Поэтому в 1999 г. эта норма была пересмотрена. В основу новой её редакции (44:2000) была положена идея об определении областей захвата водозабором потока подземных вод не только в эксплуатируемом водоносном горизонте, но и во всех взаимодействующих с ним горизонтах, включая грунтовый. ЗСО стали меньше в размерах, появилась возможность гидрогеологически обоснованной дифференциации водозаборов по степени их защищенности от загрязнения. В редакции нормы 2003 г. [1] была лишь детализирована регламентация хозяйственной деятельности в ЗСО и установлен порядок обеспечения надлежащего санитарного режима на их территориях. Новые ЗСО в сложных гидрогеологических условиях возможно определить лишь путем моделирования.

МЕТОДИКА

Согласно республиканским нормам 44:2000, 44:2003 все водозаборы страны по условиям распространения водоносных горизонтов подразделены на два типа: эксплуатирующие 1) неограниченные и 2) ограниченные в плане горизонта. По условиям связи с соседними горизонтами, включая грунтовый, выделены 3 группы водозаборов: I – закрытые; II – полужакрытые; III – открытые. Во II группе по степени изолированности эксплуатируемого горизонта выделены две подгруппы водозаборов –

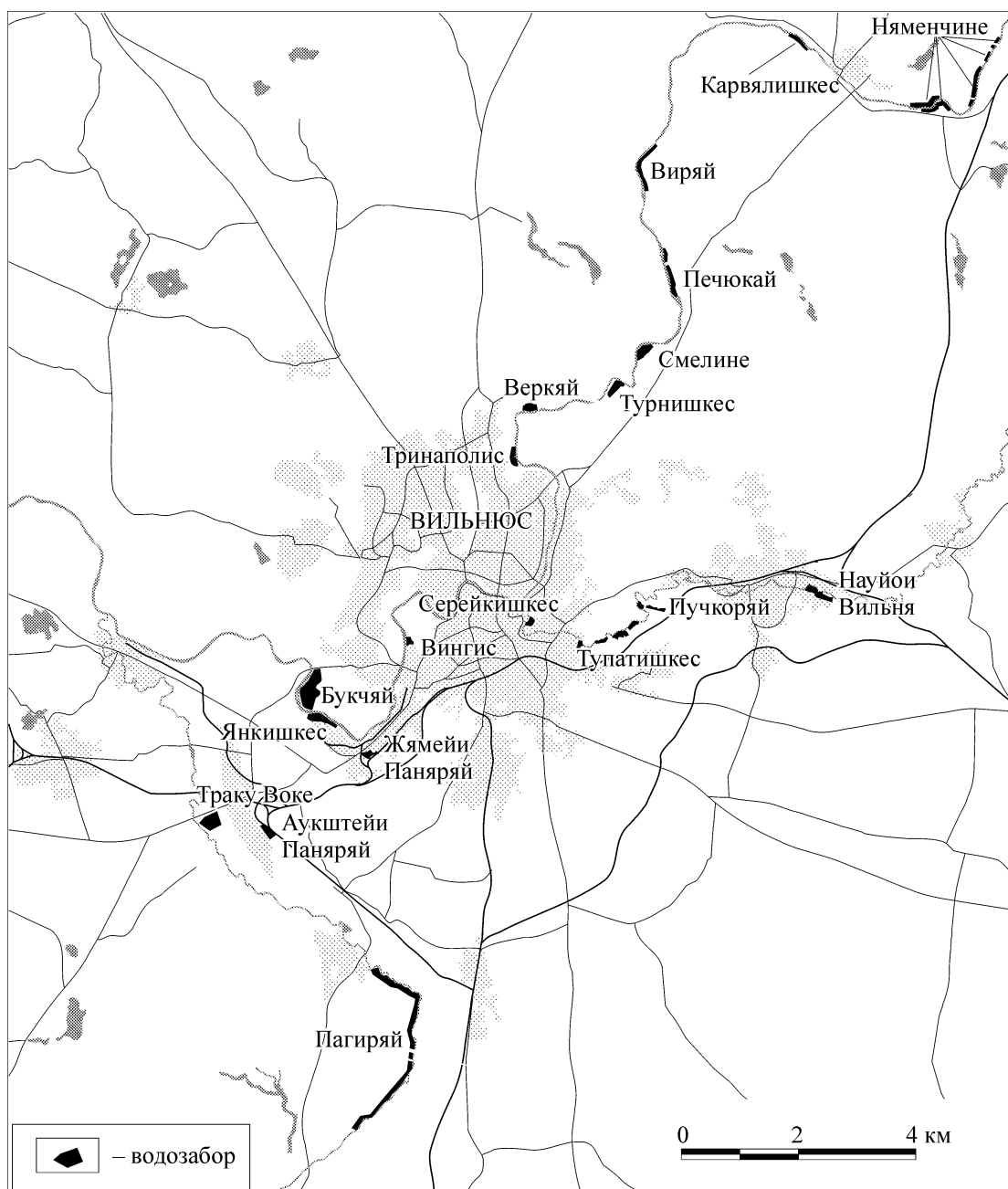


Рис. 1. Схематическая карта водозаборов г. Вильнюс

Па – полузакрытые, Пб – полуоткрытые. В III группе водозаборов выделены три подтипа: IIIa – водозаборы в неограниченном в плане потоке грунтовых вод; IIIb – береговые водозаборы грунтовых вод; IIIc – водозаборы грунтовых вод с искусственным восполнением эксплуатационных запасов подземных вод, которые названы инфильтрационными. Кроме того, водозаборы II и III групп, на которых эксплуатируемый горизонт имеет связь с поверхностными водами, обозначены индексами Па¹, Пб¹, IIIb¹, а неимеющие – соответственно Па², Пб². Действующие или действовавшие 20 Вильнюсских водозаборов на подгруппы подразделяются следующим образом: Па² – 5, Пб¹ – 2, IIIb² – 10, IIIa – 1, IIIb¹ – 2. Отнесение водозабора к одной из перечисленных групп или подгрупп определяет размеры 1 пояса ЗСО

(строгoго режима) – согласно норме 44:2003 расстояние от эксплуатационных скважин до границы этого пояса составляет: I группа водозаборов – 5 м, IIa¹ подгруппа – 15 м, IIa², IIb¹, IIb² – 30 м, III – 50 м.

2-й и 3-й пояса ЗСО в простых гидрогеологических условиях определяются аналитическими методами, в сложных – путем математического моделирования. Размеры этих поясов определяются исходя из времени миграции загрязнителей к водозаборным скважинам. 2 – й пояс ЗСО, защищающий водозабор от микробного загрязнения, определяется исходя из продолжительности выживаемости микроорганизмов под землей, принятой равной 200 суток для межпластовых и 400 суток для грунтовых вод. При этом время вертикальной миграции микробов до эксплуатируемого пласта не учитывается, так как они могут попасть в продуктивный пласт через, например, заброшенные скважины.

3-й пояс ЗСО защищает водозабор от химического загрязнения. Нормой принято, что размеры этого пояса должны быть таковы, чтобы опасные химические вещества, попавшие в горизонт грунтовых вод или прямо в эксплуатируемый пласт не достигли бы водозабор за период его эксплуатации (25-50 лет). При этом принято, что расчетное время миграции загрязнителей в эксплуатируемом пласте – не менее 25 лет, из горизонта грунтовых вод – не менее 50 лет. Практически это значит, что для определения 3 пояса ЗСО должны быть определены области захвата в горизонте грунтовых вод (сектор 3а) и в эксплуатируемом пласте (сектор 3б). Строгие ограничения хозяйственной деятельности предусмотрены только в секторе 3а ЗСО.

Для определения размеров 2-ого и 3-его поясов ЗСО (3а и 3б секторов) создана математическая модель Вильнюсских водозаборов, которую составляют собственно две модели – фильтрационная и миграционная. Практически модель составлялась в несколько этапов. На первом была создана квази-трехмерная модель Вильнюсского региона, охватывающая площадь около 4000 км². Региональная фильтрационная модель была откалибрована по данным мониторинга эксплуатационного режима Вильнюсских водозаборов в период 1950-2000 г.г. Во втором этапе моделирования были созданы трехмерные фильтрационные и миграционные модели двух практически не взаимодействующих групп Вильнюсских водозаборов – южный и северный.

Для моделирования фильтрационных процессов использована компьютерная программа MODFLOW Win32 [2], для управления ею, графического изображения результатов и их анализа – програмная система Groundwater Vistas 2.56 [3], для определения областей захвата – программа MODPATH 3.0 [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Вильнюсские водозаборы эксплуатируют подземные воды, заключенные в современных и древних аллювиальных отложениях долины р. Нярис а также в нескольких взаимосвязанных межморенных горизонтах (рис. 2). Лишь на одном водозаборе – Пагиряй – каптируются и пресные воды верхнепермского горизонта. При схематизации гидрогеологических условий в модели выделено 7 слоев – 4 водоносных (грунтовый, 2 межморенных и верхнепермский) и 3 слабопроницаемых слоя (моренные отложения между грунтовым и первым межморенным, между первым и вторым межморенными и между вторым межморенным и верхнепермским водоносными горизонтами). Территория модели была разделена на блоки с шагом 100 – 1000 м, общее число блоков в южной модели – 48762, в северной – 34237.

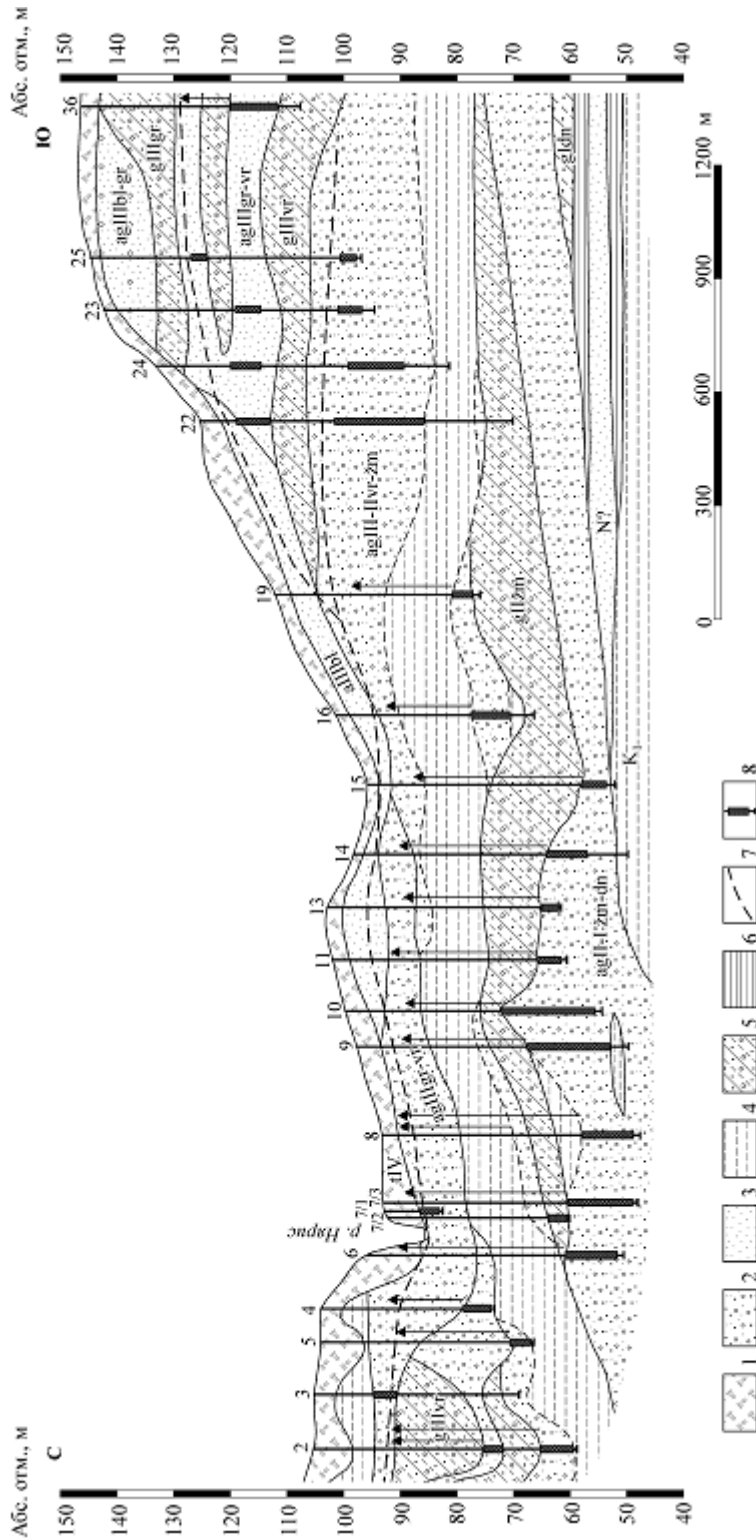


Рис. 2. Геологический разрез долины реки Нарва
 1 – насыпной грунт, 2 – гравий, 3 – песок, 4 – алеврит, 5 – суффлюк моренный, 6 – супесь моренная, 7 – уровень грунтовых вод, 8 – связка

На плановых границах модели в напорных горизонтах задано граничное условие I типа $H=f(x,y,t)$, т.е. из региональной модели полученные изменяющиеся во времени значения пьезометрического уровня. На плановых границах слабОВОПРОНИЦАЕМЫХ слоев задано условие II типа $Q=0$, такое же условие задано на нижней границе модели. Верхней ее границей является уровень грунтовых и поверхностных вод. По данным режимных наблюдений, на многих Вильнюсских водозаборах уровень грунтовых вод даже при максимальном водоотборе мало изменяется, поэтому в большинстве случаев было задано верхнее граничное условие модели $H=const$. Между прочим, в таких случаях из за увеличения вертикального градиента получается некоторый расчетный запас при увеличении области захвата в горизонте грунтовых вод, т.е. в определении сектора 3а ЗСО.

При калибровке фильтрационной модели были уточнены величины коэффициентов фильтрации водоносных горизонтов и их разделяющих слоев, а также параметров сопротивления ложа рек, питающих водозаборы. Коэффициенты фильтрации для основного продуктивного межморенного горизонта на водозаборах приняты равными 20–40 м/сут, за их пределами – 5–7 м/сут. Коэффициенты фильтрации разделяющих слабопроницаемых слоев в долине р. Нярис составляют 0,03–0,9 м/сут, за ее пределами – 0,0002–0,004 м/сут. Параметр сопротивления ложа русла р. Нярис ΔL колеблется в пределах 50–800 м. Коэффициенты фильтрации водоносных пород верхнего промежуточного межморенного горизонта не превышают 3–7 м/сут. Коэффициент фильтрации трещиноватых известняков, образующих верхнепермский продуктивный водоносный горизонт в долине р. Воке, на водозаборе Пагирай равен 10 м/сут, в его окрестностях – лишь 0,5 м/сут. При калибровке фильтрационной модели разница в фактических и модельных уровнях подземных вод в наблюдательных скважинах составила всего несколько процентов.

Для определения областей захвата водозаборами потока подземных вод в грунтовом и эксплуатируемом горизонтах необходимо иметь параметры пористости водоносных и слабОВОПРОНИЦАЕМЫХ пород. В большинстве случаев значение пористости подбиралось по аналогии с объектами, где она определялась экспериментально. В среднем величина активной пористости водоносных пород составляла 0,15–0,3, слабОВОПРОНИЦАЕМЫХ – 0,008–0,01. Определение областей захвата водозаборами потока грунтовых и межпластовых вод осуществлялось путем моделирования миграции элементарных частиц воды. Движение элементарных частиц воды начиналось на водозаборах и продолжалось против течения потока подземных вод по линиям тока на прогнозных пьезометрических поверхностях как в горизонтальном, как и в вертикальном направлениях, заканчиваясь на поверхности уровня грунтовых вод. Объединяя точки, на которых элементарные частицы воды закончили свой миграционный путь за заданное время, получаем искомые области захвата.

Результаты моделирования южной группы водозаборов г. Вильнюс показаны на рис. 3. Для сравнения на рис. 4 показаны границы ЗСО тех же водозаборов, определенные ранее полуаналитическими методами [4].

Как видим, граница сектора 3b или области захвата потока подземных вод в продуктивном горизонте в целом совпадает со старой границей 3 пояса ЗСО данных водозаборов за исключением Пагирайского водозабора, где площадь этого пояса была сильно завышена. Однако главная разница заключается в определении границ сектора 3а – областей захвата в горизонте грунтовых вод. Площадь этого сектора почти в 2 раза меньше площади сектора 3b. Это имеет весьма важное практическое значение, так как согласно норме [1] только в секторе 3а предусмотрены серьезные ограничения

хозяйственной деятельности, способной оказать отрицательное влияние на качество подземных вод продуктивного горизонта. Очевидно, что на меньших площадях возможно организовать гораздо более эффективную охрану подземных вод.



Рис 3. Области захвата водозаборами потока грунтовых и межпластовых вод по результатам моделирования

1 – водозабор; 2 – направления и линии тока потока межпластовых вод; 3 - область захвата водозаборами потока межпластовых вод; 4 - область захвата водозаборами потока грунтовых вод

ДИСКУССИЯ

Созданные модели позволяют решить целый ряд других важных гидрогеологических задач: определить составляющие баланса подземных вод моделированной территории или отдельно взятых водозаборов на любой момент их работы, оценить степень опасности загрязнения подземных вод различными объектами и т.д.

Проведенные на модели балансовые расчеты показывают, что основными источниками формирования эксплуатационных запасов южной группы водозаборов являются уменьшение разгрузки подземных вод, увеличение питания сверху и бокового притока в область захвата. Уменьшение разгрузки в вышележащие горизонты и реки составляет 28,2%, увеличение бокового притока – 27,1%, притока сверху – остальные 44,4%. В случае максимального водоотбора приток собственно грунтовых вод в общем балансе составляет 3-9% дебитов водозаборов, зато приток из реки Нярис составляет в среднем 53% всего притока сверху. На береговом водозаборе Шв подгруппы Янкишкес он составляет даже 68%, а на соседнем водозаборе Шв² подгруппы Букчэй – всего 32%.

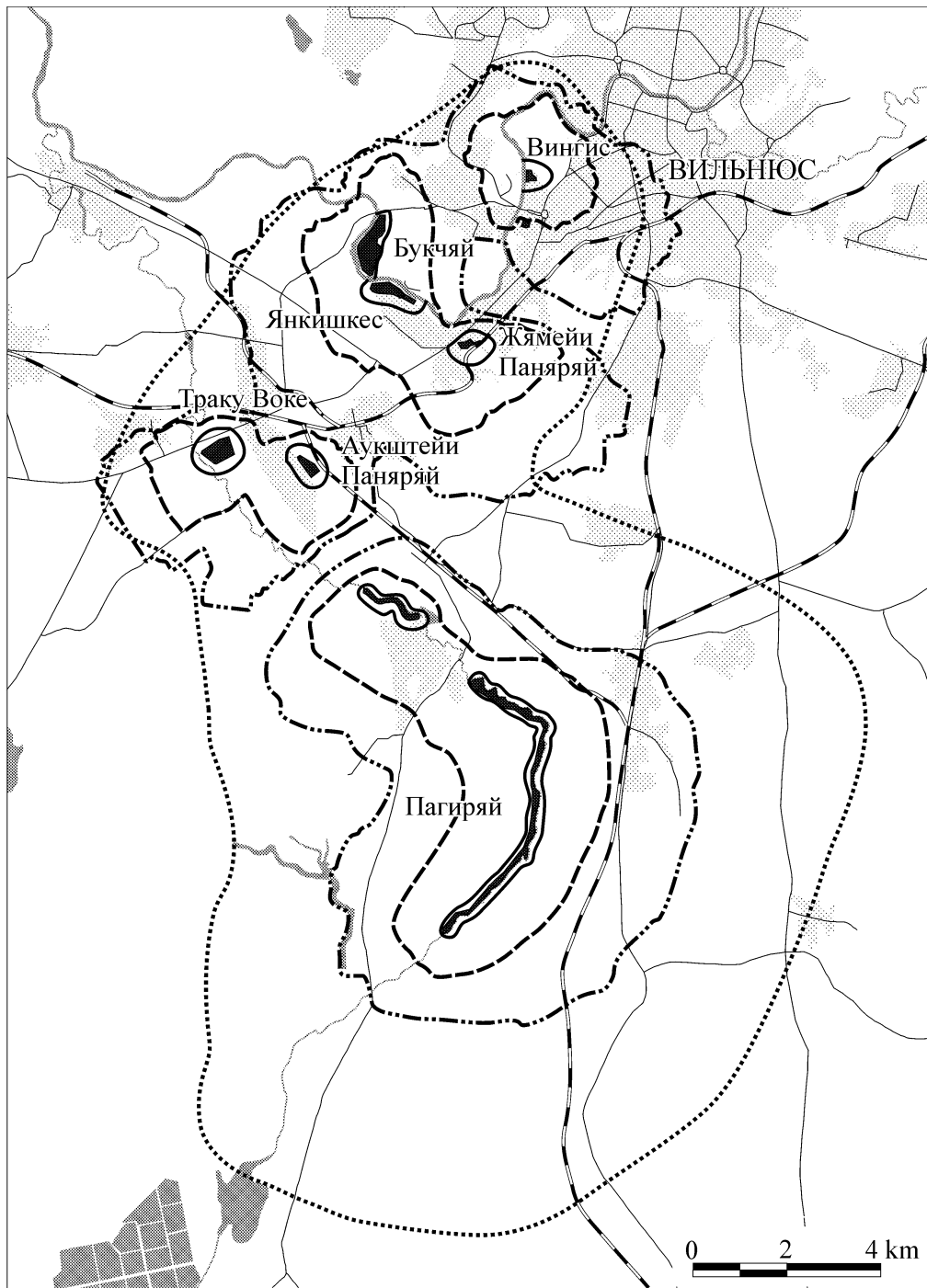


Рис. 4. Сравнение границ ЗСО водозаборов, определенных моделированием и полуаналитическими методами.

1 – водозабор; 2-4 - границы ЗСО, определенные моделированием: 2 - 2-й пояс ЗСО; 3-4 - 3-й пояс ЗСО: 3 – 3а сектор; 4 – 3б сектор; 5 – граница 3-его пояса ЗСО, определенная ранее полуаналитическими методами [4]

Количественная оценка источников формирования дебитов конкретных водозаборов позволяет не только выявить причины изменения качества подземных вод на водозаборах, но и оценить эти процессы количественно и даже их прогнозировать.

В качестве примера рассмотрим изменение одного из показателей качества отбираемой воды – перманганатной окисляемости (ПО) на береговом водозаборе Янкишкес, на котором в погребенной долине эксплуатируемый межморенный горизонт совместно с древним и современным аллювием образует единый горизонт грунтовых вод общей мощностью более 50 м, обладающий хорошей гидравлической связью с р. Нярис ($\Delta L=50-150$ м). Данные мониторинга показывают, что фоновая величина ПО на водозаборе составляет 2 мг/л O_2 , средневзвешанная максимальная – 4 мг/л O_2 (рис.5).

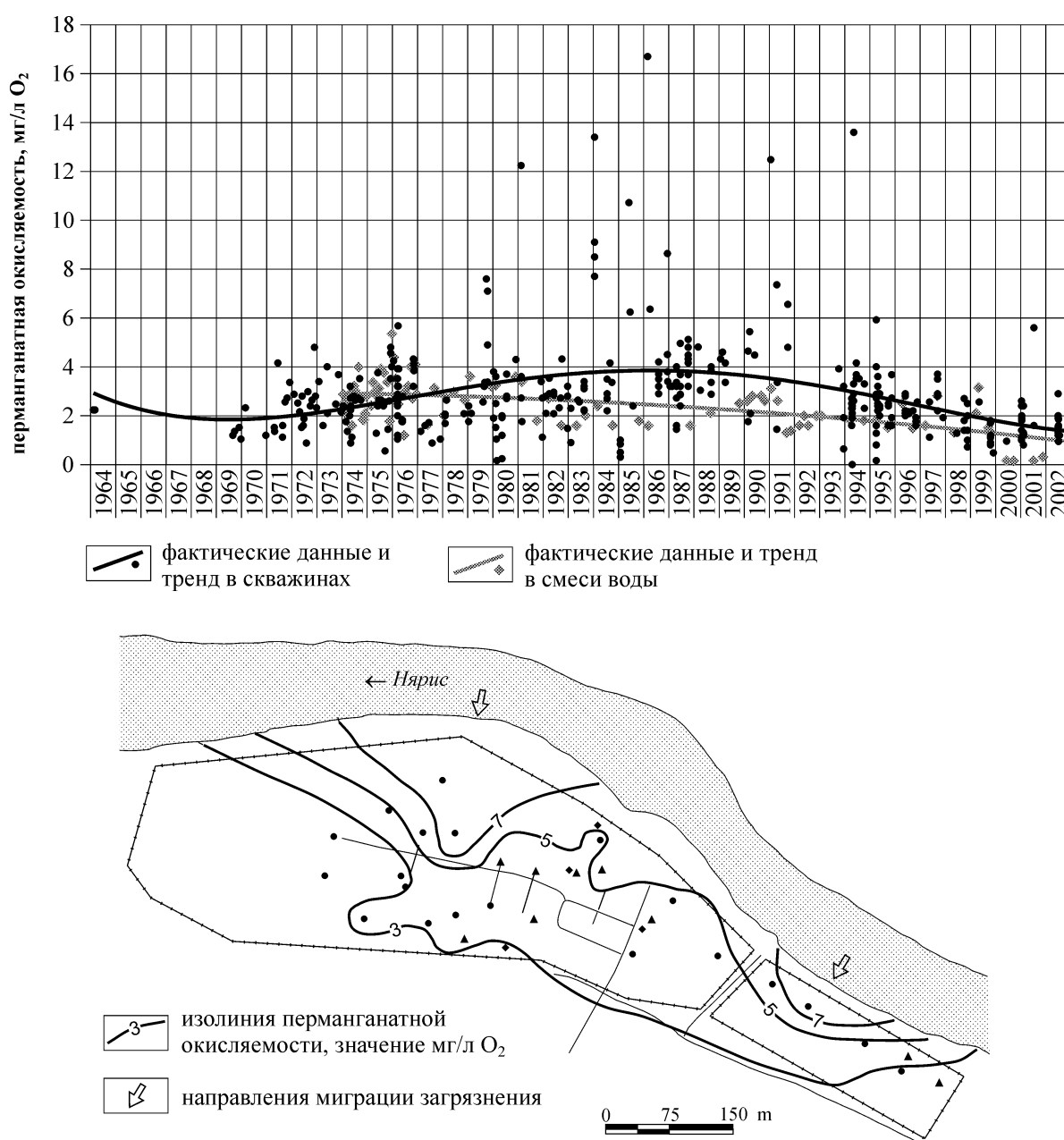


Рис. 5. Изменение перманганатной окисляемости и ее величина в период максимальных дебитов в эксплуатационных скважинах водозабора Янкишкес

Максимальные значения ПО наблюдаются в период максимальных дебитов водозабора. На этот период составленная схема величины ПО в эксплуатационных скважинах водозабора показывает, что источником дополнительного количества легко окисляемого органического вещества, которое и показывает ПО, является р. Нярис. Из данных моделирования следует, что доля речных вод в максимальном дебите этого водозабора составляет, как упоминалось, 68%. Тогда из элементарного уравнения смещения $68\% \cdot x + 32\% \cdot 2 \text{ мг/лO}_2 = 4 \text{ мг/лO}_2$ следует, что $x = 4,94 \text{ мг/лO}_2$, т.е. ПО в речной воде должно быть около 5 мг/лO₂. Фактическая величина ПО в водах р. Нярис варьирует в пределах 4,2–10,9 мг/лO₂. Учитывая, что легко окисляемое органическое вещество – не лучший трассер для проверки баланса источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод, на приведенный пример следует смотреть лишь как на демонстрацию методики проверки баланса подземных и поверхностных вод.

Созданная модель, как упоминалось выше, позволяет решать и задачи оценки опасности загрязнения подземных вод от точечных источников, расположенных недалеко от действующих водозаборов. Например, долгое время возникали дискуссии, представляют ли реальную угрозу водозабору Пагирай такие объекты, как бывшая военная нефтебаза в Вальчюнай и рядом с ней происшедшая авария с разливом нефти, свалка строительных отходов и т.д. Моделирование показало, что все перечисленные объекты попадают в 3 пояс ЗСО данного водозабора, однако они не попадают в его сектор 3а. Это значит, что за 50 лет эксплуатации водозабора загрязненная на этих объектах грунтовая вода в его эксплуатационные скважины не попадет.

Для большей убедительности была промоделирована миграция консервативного загрязнителя – хлоридов и реактивного загрязнителя – фенолов, поступающих в грунтовые воды из старой свалки строительных материалов в Пагирай. В районе старой свалки был организован мониторинг подземных вод, результаты которого показали истинные масштабы загрязнения грунтовых вод и были использованы для различных прогнозов, составления и калибровки модели. Результаты моделирования показали, что максимальное расстояние, на которое от старой свалки могут мигрировать хлориды, составляет 700 м, фенолы – 130 м. Находящаяся далее проектируемая свалка расположена за пределами сектора 3а, т.е. в область захвата грунтовых вод водозабором Пагирай она не попадает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделирование областей захвата водозаборами потока подземных вод продуктивного и взаимодействующих с ним других водоносных горизонтов, включая грунтовый, позволяет установить гидрогеологически строго обоснованные границы 2 – го и 3 – го поясов ЗСО в сложнейших гидрогеологических условиях и в условиях взаимодействия больших групп водозаборов. Кроме того, составленные фильтрационные и миграционные модели рассматриваемой территории позволяют количественно оценить источники формирования баланса подземных вод как всей моделируемой площади, так и каждого отдельно взятого водозабора. Это в свою очередь создает предпосылки для анализа, количественной оценки и прогноза изменения качества отбираемых подземных вод на водозаборах, работающих в условиях возможного и реального их загрязнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hygiene regulations and rules of equipment and supervision of sanitary protection zones of fresh and mineral groundwater intakes and networks. 2003. Vilnius.
2. McDonald, M.G., and Harbaugh, A.W. 1994. *Users Guide for MODFLOW – USGS Three Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model*. Reston, Virginia.
3. Rumbaugh, J., Rumbaugh, D. 2002. *Groundwater Vistas Version 3. Guide to using*. Shrewsbury: Environmental Simulations International.
4. Pollock, D.W. 1994. *Users Guide for MODPATH –MODPATH-PLOT, Version 3: A particle tracking postprocessing package for MODFLOW, the USGS Three Dimensional Finite-Difference Ground-Water Flow Model*. Reston, Virginia.
5. Klimas A., Kadūnas K., Diliūnas J., Alminas A., Zuzevičius A., Tamošaitis A., Klimkaitė J., Kavaliauskienė J., Česnulevičius A. & Dilys K. 1995. *Surface and groundwater status appraisal in the city of Vilnius considering its growth*. Vilnius: Green World (in Lithuanian).

Algirdas Bendoraitis, senior hydrogeologist
Vilnius Hydrogeology Ltd.
Address: Basanaviciaus 37-1, 2009 Vilnius, Lithuania
E-mail: vh@mail.iti.lt.

Marius Gregorauskas, head of laboratory of mathematical methods, doctor of natural sciences
Vilnius Hydrogeology Ltd.
Address: Basanaviciaus 37-1, 2009 Vilnius, Lithuania
E-mail: vh@mail.iti.lt.

Antanas Algirdas Klimas, chief hydrogeologist, doctor hab. of natural sciences
Vilnius Hydrogeology Ltd.
Address: Basanaviciaus 37-1, 2009 Vilnius, Lithuania
E-mail: vh@mail.iti.lt.

Mantas Plankis, hydrogeologist
Vilnius Hydrogeology Ltd.
Address: Basanaviciaus 37-1, 2009 Vilnius, Lithuania
E-mail: vh@mail.iti.lt.

Bendoraitis A., Gregorauskas M., Klimas A. Plankis M. Simulation of sanitary protection zones of Vilnius wellfields

Vilnius is supplied by drinking water from 20 wellfields. Most of them are located in river Neris valley and in the valleys of its tributaries. According to Lithuanian Hygiene norm 44:2000, 2003 all the wellfields should have sanitary protection zones (SPZ). SPZ are delineated as catchment areas in pumped and water table aquifers. Last ones are under especial protection and care.

Methods of 3D modelling and proposals for delineation of sanitary protection zones in urban areas are discussed, examples for wellfields in different hydrogeological conditions are given.

Bendoraitis A., Gregorauskas M., Klimas A., Plankis M. Viļņas ūdensgūtnu sanitāro aizsargjoslu modelēšana.

Viļņu ar dzeramo ūdeni nodrošina 20 ūdensgūtnes. Vairums no tām atrodas Neris upes un tās pieteku ielejās. Atbilstoši Lietuvas higiēnas normai 44:200, 2003, visām ūdensgūtnēm jābūt sanitārām aizsardzības zonām. Tās atbilst ietekmes areāliem atsūkņejamos un kvartāra ūdens horizontos. Tieši pēdējam tiek veltīta īpaša uzmanība.

Apskatītas trīsdimensiju modelēšanas metodes un sanitāro zonu noteikšana urbanizētās vietās. Doti piemēri ūdensgūtnēm ar dažādiem hidroģeoloģiskajiem apstākļiem.

Бендорайтис Ф., Грегораускас М., Климас Ф., Планкис М. Моделирование санитарных защитных зон для города Вильнюса.

Город Вильнюс обеспечивается питьевой водой от 20 водозаборов. Большинство из них расположены в долинах реки Нерис и ее притоках. Согласно гигиенической норме 44:200,2003 Литвы, все водозаборы должны иметь зоны санитарной защиты. Они представляют области захвата для горизонтов откачки воды и четвертичного горизонта. Последнему уделяется особое внимание.

Рассмотрены методы трехмерного моделирования и определение санитарных зон для урбанизованных местностей. Приведены примеры для водозаборов с различными гидрогеологическими условиями.