

ГИДРОГЕОЛОГИЯ (ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ)

ПРИРОДНАЯ ЗАЩИЩЕННОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД АГЛОМЕРАЦИЙ ОТ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Петрова Дарья Ивановна, аспирант, Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, Российская Федерация, г. Казань, ул. Кремлевская 18, DalPetrova@kpfu.ru

Сунгатуллин Рафаэль Харисович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Казанский (Приволжский) федеральный университет, 420008, Российская Федерация, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, Rafael.Sungatullin@kpfu.ru

На основании данных по водозаборным скважинам г. Казань рассмотрены основные природные факторы, защищающие подземные воды от поступления техногенного загрязнения: состав и мощность отложений зоны аэрации, глубина залегания подземных вод централизованного водоснабжения. Проанализированы гидроэкологические условия, определяющие возможность поступления загрязненных вод в эксплуатируемые водоносные горизонты. С применением ГИС-технологий впервые составлена компьютерная модель защищенности подземных вод Казани.

Ключевые слова: подземные воды, зона аэрации, защищенность, модель, ГИС, Казань

NATURAL PROTECTION UNDERGROUND WATERS OF AGLOMERATIONS FROM TECHNOGENIC POLLUTION

Petrova Daria I., postgraduate student, Kazan Federal University, 18 Kremlyovskaya St., Kazan, 420008, Russian Federation, DalPetrova@kpfu.ru

Sungatullin Rafael Kh., D. Sc. in Geology and Mineralogy, Professor, Kazan Federal University, 18, Kremlyovskaya St., Kazan, 420008, Russian Federation, Rafael.Sungatullin@kpfu.ru

On the basis of data on water wells in Kazan, the main natural factors that protect groundwater from technogenic pollution are considered: the composition and composition of sediments in the vadose zone, the depth of groundwater in domestic water supply. The hydrodynamic conditions that determine the possibility of contaminated water inflow into the exploited aquifers are analyzed. For the first time, a computer model of groundwater protection has been compiled using GIS technologies.

Keywords: groundwater, vadose zone, security, model, GIS, Kazan

В связи с ростом городов, сверхконцентрацией населения на относительно небольшой территории и увеличением техногенной нагрузки на геологическое пространство в последнее время отмечается повсеместное ухудшение качества подземных вод верхних (глубиной до 200 м) горизонтов, которые, преимущественно, используются для централизованных систем питьевого водоснабжения урбанизированных территорий. Поэтому возникает необходимость оценки природных условий защищенности подземных вод от техногенного загрязнения, позволяющей определить воздействие человеческой деятельности на подземную гидросферу [3; 8, 9].

Город Казань является крупным (1,25 млн жителей) промышленным центром России. Подземные воды на городской территории используются для производственного водоснабжения промышленных предприятий и хозяйственно-питьевых нужд с помощью большого количества скважин (рис. 1). Поэтому вопросы защищенности подземных вод от техногенного загрязнения являются важным элементом стратегического развития городской инфраструктуры. Гидрогеологические условия территории Казани приведены в коллективной монографии [1], в которой, однако, отсутствует информация о защищенности подземных вод от техногенного загрязнения – одного из важных эколого-гидрогеологических показателей [5]. Поэтому в данной статье авторы

решили дополнить геоэкологическую характеристику моделью защищенности подземных вод.

На территория Казани сверху вниз встречаются следующие подземные водоносные комплексы: четвертичный аллювиальный (aQ), неогеновый аллювиальный (aN); казанский карбонатно-терригенный (P₂kz); сакмарский сульфатно-карбонатный (P₁s). Глубина залегания первого от поверхности водоносного четвертичного аллювиального комплекса (рис. 1) изменяется от первых метров в центральной части города до 70 м в западной части города, где наблюдается глубокий четвертичный врез, представленный отложениями четырех надпойменных террас р. Волга. Образования четвертичного периода повсеместно распространены на территории Казани. Они покрывают пермские и неогеновые отложения и характеризуются значительным разнообразием, сложностью строения, большой пестротой фациального и литологического состава, изменчивостью мощностей. Формирование четвертичных образований определялось строением рельефа, составом подстилающих пород, характером новейших тектонических движений, а также климатическими особенностями. Наиболее широким возрастным диапазоном и самыми значительными мощностями обладают аллювиальные отложения (рис. 1). Эоплейстоценовые отложения слагают речные террасы, склоны и плато выше урезов современных рек. Неоплейстоценовый подотдел четвертичной системы представлен всеми тремя звеньями: нижнее звено включает аллювиальные осадки прadolины Волги; среднее звено слагает четвертую и третью надпойменные террасы Волги; верхнее звено включает аллювий и озерно-аллювиальные образования, слагающие первую и вторую надпойменные террасы Волги ее притоков. Голоценовые аллювиальные отложения слагают пойменные террасы и русла большинства рек. Они представлены песками кварцевыми косослоистыми с прослоями супесей, суглинков, в нижней части – прослоями грубых песков и галечников.

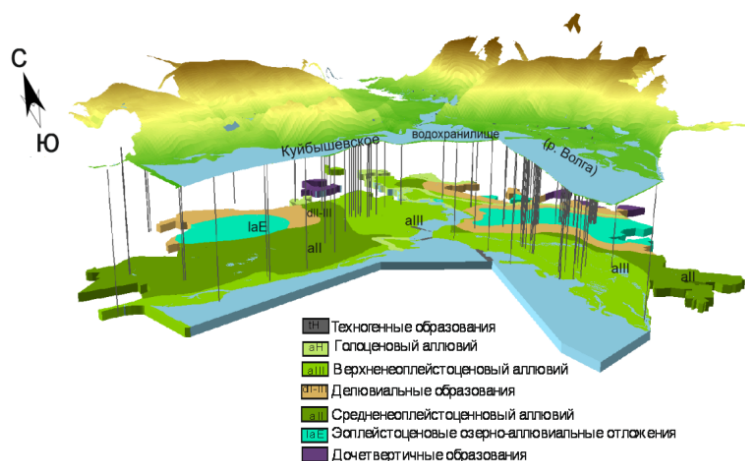


Рис. 1. Современный рельеф и карта четвертичных образований г. Казань
Вертикальные линии – водозаборные скважины

Для региональной качественной оценки условий защищенности подземных вод четвертичного комплекса от техногенного загрязнения в наибольшей степени подходит методика, предложенная сотрудниками ВСЕГИНГЕО [2; 4], в которой факторами защищенности подземных вод являются мощность и литологический состав пород зоны аэрации, а также глубина залегания целевого водоносного комплекса (горизонта). Оценка природных условий защищенности вод четвертичного комплекса г. Казань выполнена на основе сопоставления категорий защищенности (табл.) с некоторыми дополнениями из [6].

Для построения компьютерной модели защищенности подземных вод г. Казань использовались данные из фондовых геологических отчетов по 104 водозаборным скважинам и 60 гидрогеологическим разрезам. Модель создана с помощью программного пакета «ArcGisMap» и включает 1609 балльных значений, что составляет в среднем 4 точки на 1 км². Точечные данные преобразованы во взвешенные полигоны Тиссена: точка, имеющая наибольший вес, имеет наиболее сильное влияние и пытается создать полигон большей площади, чем точка с меньшим весом. Кроме того, все водотоки на территории города получили балл «0» (незащищенные), что позволило создать геологически обоснованную компьютерную модель. Степень защищенности вод определялась по сумме баллов, учитывающей глубину залегания уровня вод четвертичного комплекса, состав и фильтрационные свойства пород, мощность слабопроницаемых отложений зоны аэрации.

Таблица

**Типизация природных условий защищенности подземных вод
от техногенного загрязнения для г. Казань**

Категории условий защищенности (см. рис. 2)	Сумма баллов	Литологический состав зоны аэрации	Распространение	Условия природной защищенности и подземных вод	Оценка экологического состояния подземных вод
I	до 10	Пески, гравий, супеси, суглинки, глины	Русловой, пойменный и старичный аллювий рек Волга, Казанка и их притоков	Незащищенные	Неблагоприятная
II	10–15	Супеси, легкие суглинки	Нижняя часть склонов речных долин, аллювий первой и второй надпойменных террас Волги	Слабо защищенные	Условно благоприятная
III	15–20	Легкие суглинки, суглинки	Верхняя часть склонов речных долин, аллювий четвертой и третьей надпойменных террас Волги	Относительно защищенные	Умеренно благоприятная
IV	Более 20	Тяжелые суглинки, глины	Приводораздельные участки, водоразделы	Защищенные	Благоприятная

Для территории г. Казань авторами выделены 4 категории условий защищенности подземных вод от техногенного загрязнения (табл. 1). Неблагоприятными являются условия, соответствующие русловому, пойменному и старичному аллювию рек Волга и Казанка (I категория, сумма баллов менее 10). Условно благоприятная обстановка (II категория, сумма баллов 10–15) характерна для нижних частей склонов речных долин, аллювия первой и второй надпойменных террас Волги. Умеренно благоприятная обстановка (III категория, сумма баллов 15–20) отвечает верхней части склонов речных долин, аллювию четвертой и третьей надпойменных террас Волги. Наиболее благоприятными являются условия приводораздельных участков и водоразделов (IV категория, сумма баллов более 20).

При интегральной оценке геоэкологического состояния гидросферы установлен традиционный зональный характер условий природной геологической защищенности подземных вод от техногенного загрязнения: в речных долинах – незащищенные, на склонах и водоразделах – слабо защищенные и относительно защищенные. Анализ компьютерной модели защищенности подземных вод полностью подтвердил подобную зональность для территории г. Казань (рис. 2). Модель также показала, что экологическое состояние подземных вод четвертичного комплекса в историческом центре города, по левобережью Куйбышевского водохранилища, в пойме р. Казанка, по берегам озерной системы Кабан и в южной промышленной зоне практически повсеместно неблагоприятное.

Изменение (трансформация) качества подземных вод под влиянием техногенных воздействий может выразиться в увеличении их минерализации, содержания лимитируемых показателей (хлориды, сульфаты, железо и др.), в появлении в подземных водах искусственных веществ (СПАВ, пестициды, нефтепродукты), в изменении температуры и водородного показателя. Нами для подземной гидросферы г. Казань проведен совместный анализ защищенности подземных вод четвертичных горизонтов и основных нормируемых гидрохимических показателей в нижележащих водоносных комплексах. Поведение большинства гидрохимических показателей в подземных водоносных комплексах, используемых для централизованного питьевого водоснабжения Казани, показало прямую связь их качества с геологическими условиями защищенности подземных вод. Так, например, условия геологической защищенности, преимущественно, определяют площадные аномалии минерализации, сульфатов и хлоридов в казанском водоносном комплексе (рис. 3), который залегает под четвертичными водоносными горизонтами.

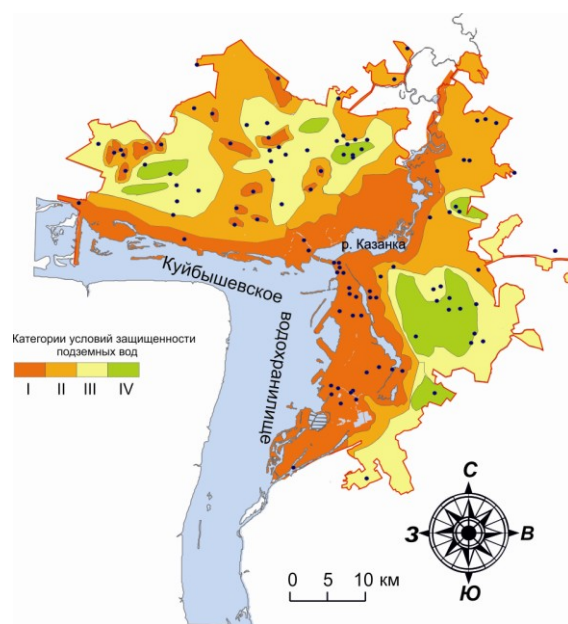


Рис. 2. Модель защищенности подземных вод г. Казань от техногенного загрязнения

Расшифровку категорий условий защищенности см. табл. 1.

Точки – водозаборные скважины

Защищенность подземных вод от техногенного загрязнения также зависит от формирования на урбанизированных территориях водоносного современного техногенного ареала [7]. Последний обладает вертикально-цилиндрической

пространственной формой, что кардинально его отличает от природных гидростратиграфических подразделений пластообразной формы. Вертикальная взаимосвязь между разноуровневыми гидростратиграфическими подразделениями по содержанию лимитируемых компонентов хорошо подтверждается на территории Казани аномалиями общего железа (рис. 3). Последние приурочены к промышленным предприятиям в южной части города и наблюдаются в четвертичном, неогеновом и казанском водоносных комплексах, образуя гидрохимическое «железное окно» в виде вертикального цилиндра. Это указывает на наличие вертикальных перетоков подземных вод за счет долговременной (более 70 лет) эксплуатации крупных водозаборов.

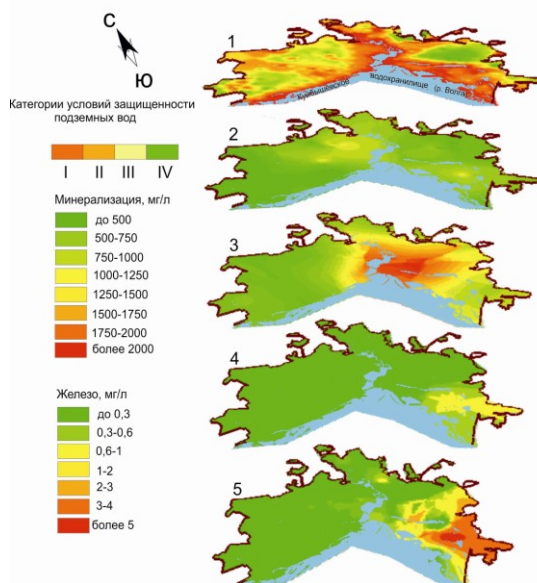


Рис. 3. Модели защищенности и лимитируемых компонентов в подземных водах Казани

Модели: 1) защищенности подземных вод четвертичного комплекса (расшифровку категорий условий защищенности см. табл. 1); 2) минерализации вод неогенового комплекса; 3) минерализации вод казанского комплекса; 4) содержания общего железа в неогеновом комплексе; 5) содержания общего железа в казанском комплексе

На основе учета рассмотренных выше факторов проведена оценка экологического состояния подземной гидросферы г. Казань (табл. 1). Она показала, что более 50 % исследуемой территории приходится на воды с неблагоприятной оценкой, что подтверждается повышенной минерализацией и содержаниями лимитируемых химических компонентов. В основном, это воды по левобережью р. Волга и в долине р. Казанка. Условно благоприятная оценка характерна для нижней части склонов речных долин с делювиальным шлейфом, первой и второй надпойменных террас. Благоприятная экологическая обстановка характерна для водоразделов и озерных отложений, которые занимают около 10 % городской территории. Эти участки характеризуются самыми низкими значениями лимитируемых показателей в подземных водах.

Резюмируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы.

1. Впервые для г. Казань создана компьютерная модель защищенности подземных вод от техногенного загрязнения, которую можно использовать для принятия оперативных природоохранных решений по защите подземных вод, а также она позволит более рационально размещать проектируемые водозаборы и осуществлять водохозяйственную деятельность.

2. Для подземных вод четвертичных отложений Казани характерна зональность условий защищенности от техногенного загрязнения: в речных долинах – незащищенные и слабозащищенные, в верхних частях склонов речных долин и на водоразделах – относительно защищенные и защищенные.

3. Актуально создание постоянно-действующих компьютерных моделей водоносных комплексов подземных вод г. Казань для проведения цифрового мониторинга подземной гидросферы и выработки приоритетных направлений городской экологической политики.

Список литературы

1. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия города Казани / научн. ред. А. И. Шевелев. – Казань : Казан. ун-т, 2012. – 236 с.
2. Гольдберг, В. М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения / В. М. Гольдберг. М. : Недра, 1984. – 262 с.
3. Лисенков, А. Б. Техногенные процессы в подземных водах / А. Б. Лисенков, Н. В. Фисун, А. В. Малков и др.. М. : Научный мир, 2003. – 248 с.
4. Методические рекомендации по гидрогеологическим исследованиям и прогнозам для контроля за охраной подземных вод / сост. В. М. Гольдберг. – М. : ВСЕГИНГЕО, 1980. – 86 с.
5. Пасмарнова, С. П. К вопросу о методике картографирования экологического состояния подземных вод / С. П. Пасмарнова // Вестник ВГУ. Геология. – 2004. – № 2. – С. 217, 218.
6. Сунгатуллин, Р. Х. Комплексный анализ геологической среды (на примере Нижнекамской площади) / Р. Х. Сунгатуллин. – Казань : Изд-во Мастер-Лайн, 2001. – 140 с.
7. Сунгатуллин, Р. Х. Влияние техногенеза на формирование современных кор выветривания и водоносных ареалов / Р. Х. Сунгатуллин // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2010. – № 6. – С. 494–502.
8. Сунгатуллин, Р. Х. Системный подход при изучении гидросферы на промышленно-урбанизированных территориях / Р. Х. Сунгатуллин, М. И. Хазиев // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2009. – № 1. – С. 19–31.
9. Barrett, M. H. Marker species for identifying urban groundwater recharge sources. A review and case study in Nottingham, UK / M. H. Barrett, K. M. Hiscock, S. Pedley et al. // Water Res. – 1999. – V. 33. – No. 14. – pp. 3083–3097.

References

1. *Hydrogeological and engineering-geological conditions of the city of Kazan*. Scientific. ed. A. I. Shevelev. Kazan, Kazan. un-t, 2012, 236 p.
2. Goldberg, V. M., Gazda, S. *Hydrogeological foundations of groundwater protection from pollution*. Moscow, Nedra, 1984, 262 p.
3. Lisenkov, A. B., Fisun, N. V., Malkov, A. V. *Technogenic processes in groundwater*. Moscow, Scientific world, 2003, 248 p.
4. *Guidelines for hydrogeological research and forecasts for monitoring the protection of groundwater*. Moscow, Vsegingeo, 1980, 86 p.
5. Pasmarnova, S. P. *On the question of the method of mapping the ecological state of groundwater*. Vestnik VSU. Geology, 2004, no. 2, pp. 217–218.
6. Sungatullin, R. Kh. *Complex analysis of the geological environment (on the example of Nizhnekamsk area)*. Kazan, Publishing house Master-Line, 2001, 140 p.
7. Sungatullin, R. Kh. *Influence of technogenesis on the formation of modern weathering crusts and water-bearing areas*. *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*, 2010, no. 6, pp. 494–502.
8. Sungatullin, R. Kh., Khaziev, M. I. *A systematic approach to the study of the hydrosphere in industrial-urbanized territories*. *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*, 2009, no. 1, pp. 19–31.
9. Barrett, M. H., Hiscock, K. M., Pedley, S. *Marker species for identifying urban groundwater recharge sources. A review and case study in Nottingham, UK*. *Water Res.*, 1999, vol. 33, no. 14, pp. 3083–3097.