

4. Vavilin V.A. Modelling ammonia and hydrogen sulfide inhibition in anaerobic digestion / V.A. Vavilin, V.B. Vasiliev, S.V. Rytov, A.V. Ponomarev // *Water Research*, 1995. - № 29. - P. 827-835.
5. Hvitved-Jacobsen T. Sewer Processes – microbial and chemical process engineering of sewer networks / T. Hvitved-Jacobsen: CRC Press, 2002. - 237 p.
6. Nielsen A. Kinetics and stoichiometry of sulfide oxidation by sewer biofilms / A. Nielsen, T. Hvitved-Jacobsen, J. Vollertsen // *Water Research*, 2005. - Vol. 39. - № 17. - P. 4119-4125.
7. Yongsiri C. Hydrogen sulfide emission in sewer networks: a two-phase modeling approach to the sulfur cycle / C. Yongsiri, T. Hvitved-Jacobsen, J. Vollertsen // *Water Science and Technology*, 2004. - Vol. 50. - № 4. - P. 161-168.
8. Юрченко В.А. Моделирование процесса эмиссии сероводорода в самотечных канализационных коллекторах / Юрченко В.А., Архипов О.В., Бригада Е.В. // *Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов / Сборник научных трудов XVIII (ежегодной) международной научно-технической конференции // Под ред. В.Ф.Костенко, А.И. Абрамовича, Бердянск, 7-11 июня 2010 г., Харьков, УкрВОДГЕО. - 2010. - С. 279-286.*
9. Файнер М.Ш. Новые закономерности в бетонировании и их практическое приложение / [Файнер М.Ш.] - К.: Наукова думка, 2001. - 448 с.
10. Усык А.А. Исследование процесса массопереноса сероводорода в системе «газ-жидкость» / Усык А.А., Деркач И.Л., Шишкин Э.А. // *Коммунальное хозяйство городов*, 2010. - № 93. - С. 414-421.

УДК 504.06

Чистикова А.В., Выставная Ю.Ю.,

Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова

Яковлев В.В., Мацюк С.А., Горшкова Е.А.

ТОВ «Лаборатория качества воды «ПЛЯЯ», г. Харьков

К ВОПРОСУ КАЧЕСТВА ВОДЫ РОДНИКОВ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ В ГОРОДСКОЙ ЭКОСИСТЕМЕ г.ХАРЬКОВА

Введение

Подземная гидросфера представляет собой наиболее динамичную составляющую геологической среды, которая в условиях интенсивного хозяйственного освоения территории Харькова является показателем его экологического состояния. Родники в городской черте являются индикатором загрязнения подземных вод и могут быть использованы для оценки воздействия на гидросферу урбанизированной территории [6]. При мониторинге особое внимание уделялось физико-химическим показателям качества родниковой воды, а также содержанию нитратов и их сезонной миграции.

Родники как естественные выходы подземных вод на поверхность были известны и использовались как источник питьевой и хозяйственной воды со времени основания г. Харькова в 17 столетии.

До настоящего времени вода источников используются населением в питьевых, лечебных и рекреационных целях [5]. Но техногенез ухудшает качество родниковых вод Харькова [3]. Подобные тенденции изменения качества родниковых вод наблюдаются и на других урбанизированных территориях. Поэтому актуальным является изучение как трансформации качественного состава родниковых вод на застроенных территориях, так и причин, их вызывающих для прогнозирования возможности использования родниковых вод.

Подземные воды обладают известной восприимчивостью к любым антропогенным воздействиям, а изменения в их режиме и качественном состоянии приводят к изменениям различных компонентов природной среды. Например, увеличение питания грунтовых вод, которое характерно для застроенных территорий приводит

к подтоплению со всеми последующими негативными последствиями – от деградации зданий и коммуникаций до ухудшения санитарных условий проживания населения.

Учитывая не прекращающийся спрос на родниковую воду у жителей города, возникла необходимость оценки и выявления тенденций, прежде всего в питьевых качествах этой воды.

Цель данной работы – дать оценку степени загрязненности воды наиболее популярных родников в г. Харьков, определить основные источники техногенного влияния на качество воды и дать рекомендации по возможности питьевого использования воды городских источников в настоящем и будущем. Для этого были поставлены и решались следующие задачи: ежеквартальное опробование и выполнение лабораторных анализов воды наиболее популярных источников города, анализ полученных данных для определения техногенного воздействия на подземные воды, анализ возможных источников этого воздействия и оценка экологической безопасности использования родников как альтернативного источника питьевых вод населением Харькова в настоящем и в перспективе.

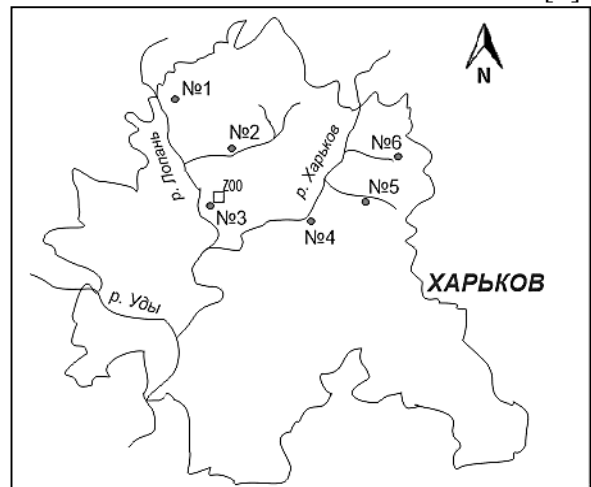
Объектом исследования в данной работе являются родниковые воды, а предметом исследования – состояние подземной гидросферы г. Харькова в части гидрохимических параметров исследуемых родниковых вод.

Объект и методы исследования

В Харькове находится более двух десятков родников, вода которых используется населением в качестве питьевой. Как представительные для исследования нами были выбраны наиболее дебитные и наиболее используемые источники: Алексеевский (№1 на рис.1), Шатиловский (№2), Пантелеймоновский (№3), Тюринский (№4), родник на ул. Тимуровцев (№5) и родник на ул. Командарма Уборевича (№6).

В зонах питания родников, расположенных в границах города, на протяжении многих десятков лет происходило загрязнение всех компонентов окружающей

среды, включая и подземную гидросферу. До сегодняшнего дня большинство родников городских источников фактически «бесхозны»: не находятся на балансе, не являются объектами коммунальной собственности. Исключения составляют источники Шатиловский и Алексеевский. Очистка и техническое обслуживание каптажей практически не проводится. Уборка поясов строгого режима зон санитарной охраны (радиусом 50 м) производится не регулярно. В данное время ни один источник на территории города не оборудован устройствами водоочистки и обеззараживания [2].



- №1 - Алексеевский родник
- №2 - Шатиловский родник
- №3 - Пантелеймоновский родник
- №4 - Тюринский родник
- №5 - родник по ул. Тимуровцев
- №6 - родник по ул. Командарма Уборевича
- ZOO - Зоопарк

Рис. 1. Расположение исследованных родников в г. Харькове

В тоже время родники имеют большие динамические запасы воды и потенциально могут использоваться для различных нужд. Суммарный дебит 25 родников Харькова – 80,7 л/с и на каждого из 1530000 жителей города приходится 4,6 л/сут, родниковой воды [2]. Также известно, что дебит отдельных источников колеблется от 0,2 до 40 л/с и в большинстве случаев составляет от 0,3 до 2,3

л/с, что очень удобно для каптирования таких родников с разведением на несколько сливных трубок для отбора воды населением.

Методы и периодичность отбора проб, методы анализа и обработки данных.

В работе использованы следующие методы:

1. Отбор проб воды проводился непосредственно на каптаже родников (из струи) в 2-х литровые пластиковые емкости «под пробку» и в течении 4-х часов пробы доставлялись в лабораторию. Семь родников города (см.рис.1) опробовались регулярно в течении 2004-2014 годов с периодичностью 1 раз в квартал.

2. Лабораторные анализы воды проводились титрометрическим (ГОСТ 4389-72, ГОСТ 4245-72, МВВ №081/12-0006-01) и фотоколориметрическим (ГОСТ 18826-73) методами по перечню компонентов, соответствующему стандартному анализу воды, в том числе: нитраты (NO_3^-), хлориды (Cl^-), сульфаты (SO_4^{2-}), кальций (Ca^{2+}), магний (Mg^{2+}), натрий и калий ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) в лаборатории КП «Южургеология» и ООО «Лаборатория качества воды «ПЛАЯ», которые имеют соответствующие аттестации.

3. Статистическая обработка лабораторных данных выполнена общепринятыми методами, с определением максимальных, минимальных и средних концентраций, стандартных отклонений, коэффициентов вариаций по каждому из определяемых компонентов. На основе лабораторных анализов определялся также гидрохимический тип воды по каждому роднику.

4. Теоретический анализ имел направленность на выявление техногенных составляющих в родниковых водах, возможных источников изменения природного их состава, степени пригодности воды и условий для использования ее в питьевых целях и определении мероприятий по улучшению питьевых качеств воды. Анализ производился относительно содержания макрокомпонентов: хлориды (Cl^-), сульфаты (SO_4^{2-}), нитраты (NO_3^-), кальций (Ca^{2+}), магний (Mg^{2+}), натрий и калий ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$).

Результаты исследования:

Ионный состав родников

Гидрохимический состав вод родников характеризуется как сульфатно – натриевый (Алексеевский, родник по ул. Командарма Уборевича и родник по ул. Тимуровцев) и сульфатно – кальциевый (Пантелеймоновский, Шатиловский и Тюринский) (табл. 1).

Как видно из таблицы, в водах харьковских источников в наибольшей степени варьируют средние содержания нитратов от 9,1 до 46,5 мг/дм³, сульфатов - от 122,7 до 519,1 мг/дм³, хлоридов - от 38,4 до 110,2 мг/дм³ и натрия с калием - от 95 до 214 мг/дм³; в меньшей степени варьируют содержания кальция - от 84,3 до 133 мг/дм³ и магния - от 26,6 до 39,1 мг/дм³.

Максимальные содержания хлоридов (423 мг/дм³), натрия (254 мг/дм³) и нитратов (92 мг/дм³) зафиксированы в воде родника по ул. Командарма Уборевича, сульфатов (652 мг/дм³) - в роднике по ул. Тимуровцев (табл. 1).

Естественной причиной вариации состава родниковых вод связаны с тем, что осадочные горные породы обогащают подземные воды ионами растворимых минералов. Так, в рассматриваемом случае источником натрия могут быть глинистые отложения морского происхождения, слагающие обуховскую и межигорскую свиты эоцена. Сульфатные и кальциевые воды формируются при растворении гипса, которым обогащены четвертичные покровные суглинки континентального происхождения [4]. На урбанизированных территориях гидрохимический тип подземных вод формируется также под воздействием техногенных факторов. Дополнительным источником натрия и хлора в подземных водах застроенных территорий могут быть утечки из системы канализации и фильтрация поверхностных вод в зимний период, когда производится посыпка дорог каменной солью [8]. Несмотря на изолированность грунтовых вод зимой мерзлым слоем, такое загрязнение может происходить через негерметичные системы ливневой канализации.

Таблица 1 - Результаты статистической обработки гидрохимических данных вод наиболее используемых родников в городе Харькове

Название родника	Тип воды	Значение	Ca ²⁺ , мг/дм ³	Mg ²⁺ , мг/дм ³	Na+K, мг/дм ³	Cl, мг/дм ³	SO ₄ ⁻ , мг/дм ³	NO ³ , мг/дм ³
Тюринский	Ca-SO ₄	минимальное, мг/дм ³	102	26	74	28	124	4,68
		максимальное, мг/дм ³	153	49	239	142	592	51
		среднее, мг/дм ³	133	34,7	124,5	110,2	230,8	20,2
		станд.отклон., мг/дм ³	16	5,9	31,6	30	93,1	13,1
		коэф.варац. %	12	17,1	25,3	27,2	40,3	64,6
Шатилловский	Ca-SO ₄	миним., мг/дм ³	86	22,98	59	49	52,56	1
		максим., мг/дм ³	143	43	193	179	207	14
		среднее, мг/дм ³	111,7	27,7	97	70,3	158,6	9,1
		ст.откл., мг/дм ³	11,3	4	23,2	27,1	29,2	3,3
		коэф.варац. %	10,1	14,5	23,9	38,6	18,4	36,2
Алексеевский-1	Na+K-SO ₄	миним., мг/дм ³	65	29,91	72,68	35	85	1,47
		максим., мг/дм ³	136	45	143,0	96	198,7	47
		среднее, мг/дм ³	84,3	35,6	119,9	51,9	122,7	24,1
		ст.откл., мг/дм ³	18,1	4,1	14,2	16,3	24,9	10,6
		коэф.варац. %	21,5	11,6	11,9	31,4	20,3	44
Пантелеймоновский	Ca-SO ₄	миним., мг/дм ³	74	32,83	6	41	124	3,26
		максим., мг/дм ³	180,85	50,9	130,2	86	290,04	71,7
		среднее, мг/дм ³	143,1	39,1	95	76	242,9	46,5
		ст.откл., мг/дм ³	22,2	3,7	21,5	9	28,9	13,5
		коэф.варац. %	15,5	9,5	22,7	11,8	11,9	28,9
Родник по ул. Командарма Уборевича	Ca-SO ₄	миним., мг/дм ³	85,38	21	130	14	11	3,69
		максим., мг/дм ³	113	36,84	254	423	577	92
		среднее, мг/дм ³	104,7	26,6	161	42,9	366,6	25,8
		ст.откл., мг/дм ³	4,4	3,3	22,2	73,7	80,3	13,1
		коэф.варац. %	4,2	12,4	13,8	171,6	21,9	50,6
Родник по ул. Тимуровцев	Ca-SO ₄	миним., мг/дм ³	74,15	20,06	66	21	201	6
		максим., мг/дм ³	168	38	299	140	652	75
		среднее, мг/дм ³	105,9	30,7	214	38,4	519,1	14,5
		ст.откл., мг/дм ³	17,2	3,8	44,1	20,5	106,5	11,8
		коэф.варац. %	16,2	12,3	20,6	53,3	20,5	81,1
ДСанПіН 2.2.4-171-10 (для родниковых вод)					≤200	≤350	≤500	≤50

Вероятным источником загрязнения по ул. Тимуровцев является свалка отходов в овраге и заболоченном понижении выше по потоку грунтовых вод, а по ул.

Командарма Уборевича – порывы канализационных систем и большой гаражный массив, расположенный выше родника по балке.

Причины высоких концентраций нитратов в подземных водах исключительно техногенные: утечки из канализационных систем, загрязненный поверхностный сток, фильтрация сточных вод предприятий, внесение удобрений, неорганизованные свалки и др.

Нитраты в родниках.

С целью более подробного изучения изменений содержания нитратов с сентября по декабрь 2014 года был произведен учащенный, ежемесячный мониторинг этого компонента в воде трех родников: Тюринском, Пантелеймоновском и роднике в парке «Юность» (район Залютино). В результате выявлено, что содержание нитратов в воде этих родников колеблется от $<0,5$ до $72,4$ мг/дм³ (при нормативе на питьевую воду - 50 мг/дм³) (рис. 2).

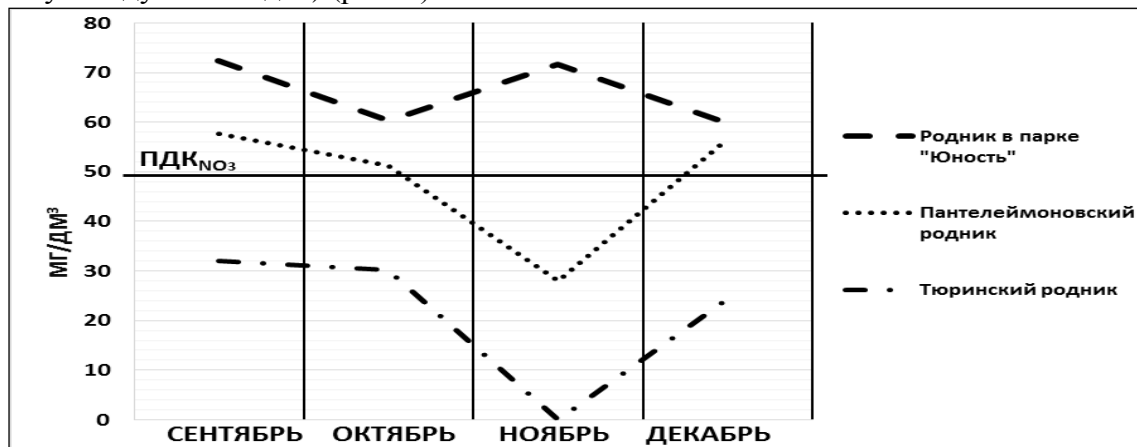


Рис. 2. Динамика содержания нитратов в родниковых водах

Но, наиболее мощный и повсеместный источник соединений азота в подземных водах Харькова – негерметичные канализационные системы. Значительными источниками загрязнения также являются не канализованные подворья на окраинах города, кладбища и несанкционированные свалки бытового мусора. Необходимо отметить, что в природных водах азот находится в виде растворимых молекул азота (N_2), аммиака (NH_3), ионов минеральных соединений: аммонийных (NH_4), нитритных (NO_2) и нитратных (NO_3), а также многочисленных органических соединений. Под воздействием различных физико-химических и биологических факторов эти формы азота способны переходить из одной в другую.

Предельное содержание нитратов (для питьевых вод >50 мг/дм³) за указанный период не превышалось в воде Тюринского родника, а вода родника в парке «Юность» все это время по содержанию нитратов для питья была непригодна. Причиной азотного загрязнения в последнем случае может быть наличие кладбища и эвтрофированного пруда в зоне питания родника [2]. Пантелеймоновский родник один из самых загрязненных, вероятной причиной чего является расположение выше по потоку грунтовых вод большого харьковского зоопарка, имеющего разветвленную систему искусственных водоемов и не имеющего канализации в вольерах животных.

Природное содержание нитратов в подземных водах обычно не превышает первых мг/дм³ [3] и с этой точки зрения родниковые воды 7-ми изученных источников Харькова даже по среднему значению имеют неприродное содержание нитратов ($9,1-25,8$ мг/дм³), т.е. техногенно загрязнены. Кроме того, повышенные содержания нитратов в грунтовых водах обычно характеризуются высокой изменчивостью во времени, что также указывает на их техногенное происхождение.

Оценка возможности использования родниковых вод на урбанизированной территории.

Оценка степени техногенного загрязнения родниковых вод города может быть выполнена путем сравнения среднего содержания главных ионов в этих водах с

действительными средними содержаниями главных ионов, полученными в результате обработки данных 259 анализов родниковых вод Харьковской области (без Харькова) [7] (табл. 2).

В результате сопоставления данных установлено, что в воде родников Харькова наблюдаются существенно более

высокие содержания хлоридов и натрия и калия, что указывает на вещество-загрязнитель – хлорид натрия (поверенная или каменная соль, или галлит), и что согласуется с гипотезой о путях привноса этих компонентов в подземную гидросферу из систем водоотведения и с зимних дорог.

Таблица 2 - Действительные величины средних содержаний макрокомпонентов в воде источников Харьковской области [7] и г. Харькова, по сравнению с нормативами для родниковых вод.

Показатели качества воды	Действительные средние содержания [7]	Средние содержания в г. Харькове	ДСанПіН 2.2.4-171-10 (для родниковых вод)
Кальций Ca^{2+} , мг/дм ³	98,09 - 131,56	113,9	не регламентируются
Магний Mg^{2+} , мг/дм ³	23,69 - 38,43	33,3	не регламентируются
Натрий + Калий $Na^{+}+K^{+}$, мг/дм ³	81,17 - 125,51	136,3	не более 200
Хлориды Cl^{-} , мг/дм ³	31,63 - 69,24	83,5	не более 350
Сульфаты SO_4^{2-} , мг/дм ³	176,07 - 335,29	266,0	не более 500
Нитраты NO_3^{-} , мг/дм ³	15,94 - 32,43	26,8	не более 50

Учитывая данные табл. 1, где указаны максимальные значения величин, можно говорить, что в городских родниках наблюдались существенные отклонения от средних действительных содержаний (по Харьковской области) по натрию и калию (в родниках по ул. Тимуровцев, по ул. Командарма Уборевича и Тюринском (254, 299 и 239 мг/дм³, соответственно); по хлоридам в роднике по ул. Командарма Уборевича (423 мг/дм³) и нитратам – там же (92 мг/дм³). Сульфаты существенно превышены в воде родника по ул. Тимуровцев 652 мг/дм³ и 577 мг/дм³ в роднике по ул. Командарма Уборевича, что также свидетельствует о большем техногенном влиянии на подземные воды в пределах города по сравнению с фоновыми территориями.

Таким образом, только два из 7 изученных родников Харькова - Шатиловский и Алексеевский изливают воду, в которой максимальные значения содержания всех 6 исследованных компонентов за 10-летний период никогда не превышали

нормативных значений для питьевых (родниковых) вод. Однако и в этих родниках вода по содержанию нитратов (в среднем 9,1 и 24,1 мг/дм³, соответственно) не является природной. Это говорит о возможности нахождения в воде родников других техногенных веществ, потенциальный спектр которых в индустриальном городе весьма широк. Если учесть, что по результатам прошлых исследований [3] Шатиловский родник среди всех харьковских источников отличался устойчиво наиболее высоким питьевым качеством воды, то можно уверенно говорить о непригодности или потенциальной не пригодности воды всех харьковских родников для питьевых целей.

В тоже время, учитывая неубывающую популярность родников среди населения в Харькове целесообразно организовать постоянный контроль качества родниковых вод и при более детальном исследовании микроэлементного состава воды и соответствующей их очистке использо-

вание отдельных родников вод как альтернативного источника децентрализованного питьевого водоснабжения принципиально возможно.

В связи с потенциальной опасностью загрязнения подземных вод города очень широким спектром техногенных веществ, в том числе и токсичных в перечень контролируемых показателей качества целесообразно включить такой интегральный показатель биотестирования стандартизованными методами по ДСТУ 4173-2003 и ДСТУ 4174-2003.

Для уменьшения техногенного влияния на подземные воды города необходимо устранить утечки из канализационных систем, существенно улучшить ливневое водоотведение с площади города, найти замену использования поваренной соли на зимних дорогах и благоустроить зоны санитарной охраны родников.

Выводы

В воде родников, зоны питания которых расположены в пределах г. Харьков наблюдаются значительные колебания концентрации макрокомпонентов по таким показателям как хлориды, натрий и калий, сульфаты и нитраты, что указывает на разнообразное техногенное влияние на подземные воды. Средние содержания хлоридов, натрия и калия по сравнению с водой загородных территорий существенно превышены, что обусловлено привнесением хлорида натрия, используемого в быту и при посыпке зимних дорог. Эффективной эмиссии хлорида натрия в окружающей среде способствует его высокая растворимость.

Использование воды родников для питьевых целей в перспективе возможно только при постоянном контроле санитарной службы города и соответствующей очистке от техногенных веществ.

Эффективное уменьшение антропогенного влияния на подземные воды возможно при ликвидации утечек из систем

канализационных систем, обеспечении ливневого водоотведения с площади города, уменьшении использования поваренной соли на дорогах и благоустройстве зон санитарной охраны родников.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Виставна Ю.Ю., Яковлев В.В., Дядін Д.В., Вергелес Ю.І., Чистикова А.В., Жидких І.О. Дослідження нітратного забруднення гідросфери у трансграничному районі басейну Сіверського Дінця. - Восточно-Европейский журнал передовых технологий 6/10 (72) 2014.
2. Державні санітарні правила і норми «Гігієнічні вимоги до питної води, призначеної для споживання людиною» ДСанПін 2.2.4-171-10 – 2010.
3. Дмитренко Т.В., Костенко Н.В., Яковлев В.В., Экологические аспекты использования родниковых вод урбанизированных территорий для питьевого водоснабжения (на примере г. Харькова) // Науковий вісник будівництва. – Харків: Вип. 21. – 2003. – С. 209-224.
4. Миклашевский Н.В., Королькова С.В. Чистая вода. Системы очистки и бытовые фильтры. ВHV - Санкт-Петербург: Арлит, 2000. – 240 с.
5. Чистикова А.В., Жидких І.О., Виставна Ю.Ю. Оценка потенциала водных ресурсов Харьковского региона. – Регіон 2014: Стратегія оптимального розвитку, ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2014. – с. 318-321.
6. Экологическая геология Украины: Справ. пособие / Шнюков Е.Ф., Шестопапов В.М., Яковлев Е.А. и др. - К.: Наукова думка, 1993. – 407 с. (АН Украины, Ин-т геол. наук).
7. Яковлев В.В. Джерельні води Харківської області як джерело питного водопостачання.
8. Yuliya Vystavna, Valeriy Yakovlev, Dmytro Diadin, Yuriy Vergeles & Felix Stolberg. Hydrochemical characteristics and water quality assessment of surface and ground waters in the transboundary (Russia/ Ukraine) Seversky Donets basin. – Environmental Earth Sciences ISSN 1866-6280 Environ Earth Sci DOI 10.1007/s12665-015-4060-0