

СЕЗОНЕН МОНИТОРИНГ НА ПОДЗЕМНИ ВОДИ В ЯМБОЛСКО-ЕЛХОВСКИЯ РАЙОН

Маринела Панайотова¹, Владимир Христов², Ивайло Иванов¹, Кристина Гешева¹

¹ Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; marichim@mgu.bg

² Геологически институт, Българска академия на науките, 1113 София; vhh@geology.bas.bg

РЕЗЮМЕ. Представени са резултати от едногодишен мониторинг на естествени водоизточници от Ямболско-Елховския район. Физико-химичните изчисления показваха, че водите от всички изследвани водоизточници целогодишно са преситени спрямо карбонати на алкалоземните метали, което е условие за формиране на утаечен доломит и калцит – основни компоненти на калкретната кора, която е широко разпространена в обработваемите селскостопански земи в региона. В някои водоизточници водата е със значително съдържание на нитрати, което е резултат на антропогенно замърсяване.

SEASONAL MONITORING OF GROUNDWATER IN THE YAMBOL-ELHOVO REGION

Marinela Panayotova¹, Vladimir Hristov², Ivailo Ivanov¹, Kristina Gesheva¹

¹ University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; marichim@mgu.bg

² Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia; vhh@geology.bas.bg

ABSTRACT. Results are presented from one-year monitoring of natural water sources in the Yambol-Elhovo region. It has been found (by physical-chemical equilibriums calculations) that water from all studied sources is oversaturated with respect to carbonates of alkaline-earth metals, which is a prerequisite for dolomite and calcite precipitation. These minerals are the main constituents of the calcrete layer, which is widely spread in the agricultural land in the region. In some of the sources the water is with increased nitrates concentration as a result of the anthropogenic activity.

Въведение

Намаленото плодородие в някои случаи се дължи на формирането на отложения от преобладаващо карбонатни минерали, които се наричат "калкрет". Калкретът се образува чрез измествашо и замествашо въвеждане на карбонати (главно калциев карбонат) в почвения профил и почвената подложка в областите, където повърхностните и подземните води са преситени на карбонати. В генетично отношение се разграничават два типа калкрет: "педогенен калкрет", който се формира над нивото на подземните води, непосредствено под корените на растенията и "калкрет на подземните води", който се формира около нивото на местното водно огледало (Dimitrov et al., 2009). В Тракийската низина се срещат и двата типа.

При отлагането на калкрета голяма роля играят: а) хидродинамичният режим на подземните води, определен от релефа и от филтрационните свойства на подложката; б) хидрохимичният състав на водите в района, определен от природата на скалите и почвите, контактуващи с водите, климата, антропогенната дейност, макро и микро-флората и фауната и наличието на геохимични бариери; в) климатът – температури, количество на валежите. Нарастването на карбонатния пласт зависи от много фактори, между които са глобалното затопляне на климата, киселинността на валежните води, земеделската практика и др.

Настоящата работа представя резултатите от едногодишен мониторинг на плитките подземни води в Източно-Тракийската низина с цел установяване на взаимодействията "вода-скали-почва-почвена подложка" и приносът им към разтварянето и утаяването на карбонати, т.е. към формирането на калкретни отлагания.

Геоложки строеж на водосборните зони

В тектоно-стратиграфски аспект изследваният район попада в обхвата на Тунджанското структурно понижение. Това понижение е плитък континентален басейн, запълнен с неогенски и кватернерни утайки. Дъното на басейна е неравно, като локално на повърхността се разкриват издигнати блокове от кристалинния фундамент. Основните скални формации, определящи химизма на водите са: гранити с палеозойска възраст и кисели вулкански деривати на тези гранити; доломитни мрамори с триаска или предполагаема триаска възраст, които локално съдържат до 20% MgO, различни по размер субвулкански тела – дайки със среден до базичен състав, меот-плиоценски слабо споени континентални седименти, представени от чакъли, пясъци и глини. Глинестата spojka на теригенните частици в пясъците най-често е от минерали от бентонитовата група (Димитров и др., 2009а; 2009б). Химизмът на водите бе изследван чрез пробонабиране от описаните по-долу чешми, които представляват каптажи на естествено извиращи подземни води.

Чешма при с. Генерал Инзово (югозапад) – намира се на около 700 m югозападно от с. Инзово. Каптажът е развит в изветрителната зона на метоморфозирани кисели вулкански тела с предполагаема пермска възраст. Водите в чешмата са акумулирани частично чрез филтрация през плиоценски пясъци и глини и частично са от изветрителната зона на гранитите. Преобладаващият минерален състав на водосборната зона е кварц, кисел плагиоклаз и микроклин, метаморфна слюда, глини от бентонитов тип и лидити от ниско метаморфни скали с юрска, триаска и палеозойска възраст.

Чешма при с. Генерал Инзово (северозапад) – разположена е на около 400 m северозападно от с. Инзово. Във водосборната зона са представени две различни литоложки разновидности, а именно – плиоценска алтернация от пясъци и глини и доломитни мрамори с вероятна триаска възраст. Спецификата на релефа показва, че първоначално водите са акумулирани на плиоценската заравненост, която е разположена хипсометрично върху мраморите. Мраморите дренират водите от плиоценските седименти и ги повеждат по карстови пътища в посока югоизток. Въз основа на релефа и геоложката карта може да се направи обоснована интерпретация, че преобладаващата карстова система в мраморите следва напластяването и е с посока северозапад-югоизток, а дължината на карстовите канали е минимум няколко метра. Чешмата е разположена в подножието на нарегламентирано сметище.

Чешма в с. Дряново (Аязмото) – дренира масив от доломитни мрамори със средно съдържание на MgO от около 18%. Локално мраморите са процепени от диорит порфирови интрузии. По контактите на тези интрузии се наблюдават тесни зони от хидротермални изменения. Тъй като обемно диоритовите порфирити са подчинени на мраморите, то може да се очаква, че химизмът на водите е предопределен от карстовите пътища.

Чешма в с. Дряново (селска) – подобно на Аязмото тази чешма, която е разположена вътре в с. Дряново, дренира масив от доломитни мрамори, процепени от диоритови порфирити.

Чешма в с. Бояново (Бялата чешма) – намира се в село Бояново. Каптажът е разположен в горницето на пласт от базален калкрет с дебелина няколко метра. Калкретът е преобладаващо калцитен, но някои проби показват, че локално съдържа до няколко процента MgO. Водосборната зона е широка полегатата област, заета от неогенски седименти. При дренирането си в склона на местна рекичка, водите неизбежно се филтрират през плиоценските пясъци и контактуват с калкретния пласт.

Чешма в с. Скалица – тази чешма събира води от два различни типа водосборни зони. Едната водосборна зона е доминирана от доломити и диорити (Скалица – лав чучур). Другата водосборна зона е плиоценската заравненост, западно от с. Скалица (Скалица – десен чучур). Водите от тази заравненост се инфилтрират през пласт от педогенен калкрет и се дренират в долината, която частично е оводнена от язовир Овчарица.

Хидрогеология на водосборните зони

Ямбол-Елховският район е част от Тунджанския басейн, който е запълнен с алувиални неогенски и кватернерни отложения на р. Тунджа и нейните притоци: Поповска, Калница, Араплийска река и Явуз дере.

Основен водоносен хоризонт за района е алувиалният. Дебелината на терасните наслаги варира от 8 до 25 m като чакълесто-пясъчният слой е малко повече от половината. Останалата част се изгражда от глини, които заемат различни части на разреза. Водопроводимостта се изменя в широк диапазон и достига $1000-1200 \text{ m}^2/\text{d}$, а нивоподаването – $5,5 \cdot 10^3 \text{ m}^2/\text{d}$. Подхранването на водоносния хоризонт става предимно за сметка на валежите. Предполага се, че в подхранването вземат участие и разтоварващите се в долината пукнатинни и пукнатинно-карстови води от коренните скали (подложката).

Неогенските отложения като правило са по-слабо водоносни. Изключение прави районът на град Елхово, където в разреза на Елховската свита участват умерено водоносни пясъци с водопроводимост до $80 \text{ m}^2/\text{d}$. Съдържащите се в тях подземни води имат напорен характер. Прокараните сондажи в Елховския каменновъглен басейн, край Изгрев, Пчела и др. разкриват подземна вода на самоизлив с дебити 4-5 l/s (Йотов, 2000). Подхранването на подземните води става главно от кристалинната подложка и валежите в контурните части на плиоценските тела.

Пукнатинните и пукнатинно-карстовите водоносни хоризонти, развити в кристалинния фундамент (представен от гранити; доломитни мрамори, дайки и др.) са слабо водообилни. По данни на Антонов и Данчев (1980) подземните води в пукнатинната среда на коренните скали имат модули на подземния отток от порядъка на $0,1-0,25 \text{ l/s/km}^2$.

Методи и материали

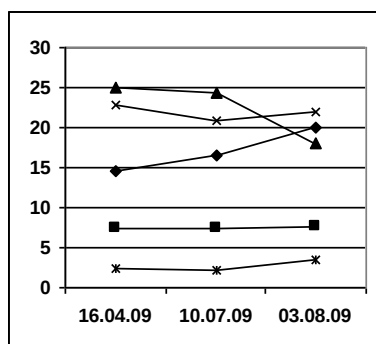
Интегралните хидрохимични параметри на водата (температура, показател за киселинност – pH, специфична електропроводимост – χ) бяха определени на място с помощта на комбиниран тестер. На място, чрез използване на стандартни методи, бяха определени и неутрализационните капацитети. Концентрацията на Cl^- бе определена титриметрично. Концентрацията на метални йони (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) и на SO_4^{2-} бе определена с помощта на ICP-AES, а на NO_3^- – спектрофотометрично, като и двата вида анализ бяха направени от ЦНИП “Геохимия” на Минно-геоложкия университет.

Резултати и дискусия

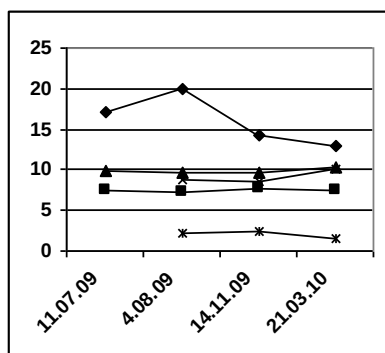
Резултатите от измерванията на интегралните хидрохимични параметри на изследваните води са представени на фиг. 1-7. На същите фигури са дадени и минерализацията на водите – TDS, както и изчислените коефициенти на насищане на водата спрямо калцит – K_s^{C} и спрямо доломит – K_s^{D} (за релевантните случаи). На фиг. 8-14 е представен съставът на анализираниите води през различните сезони.

Чешма при с. Генерал Инзово (югозапад)

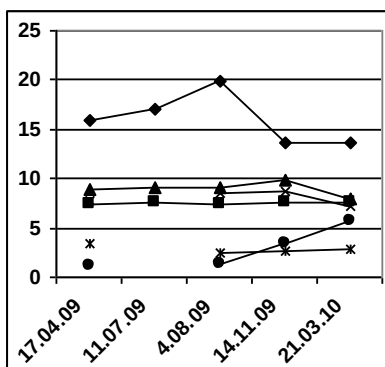
Индексът на насищане на водата спрямо CaCO_3 (K_s^c) е по-голям от единица при всички проби, независимо от сезона, показвайки склонност към утаяване на калцит. K_s^c нараства с повишаване на pH и температурата. Повишаването на температурата вероятно води до утаяване на малко разтворими съединения и от там – до намаляване на минерализацията и електропроводимостта на водата. С повишаването на средно дневните температури (от пролет към лято) нараства количеството на $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и на Cl^- във водата за сметка на намаляването на концентрацията на Ca^{2+} , HCO_3^- и SO_4^{2-} , което най-вероятно е свързано с тяхното утаяване под формата на CaCO_3 и CaSO_4 . Количеството на NO_3^- нараства от пролетта към лятото, което според нас се дължи на интензивното торене в района. През летните месеци е приблизително 2 пъти над ПДК.



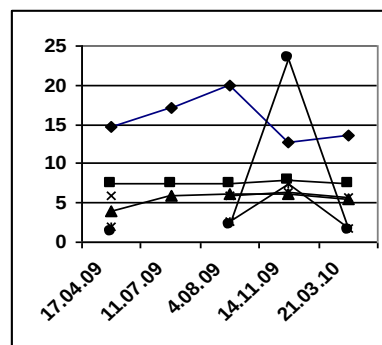
Фиг. 1. С. Генерал Инзово (юз) ♦ температура ■ pH стойност $\Delta \times 10^{-2} \mu\text{S/cm}$ X $\text{TDS} \times 10^{-2}, \text{mg/L}$ ✕ K_s^c



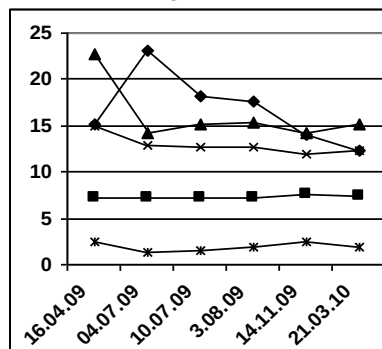
Фиг. 2. С. Генерал Инзово (сз) ♦ температура ■ pH стойност $\Delta \times 10^{-2} \mu\text{S/cm}$ X $\text{TDS} \times 10^{-2}, \text{mg/L}$ ✕ K_s^c



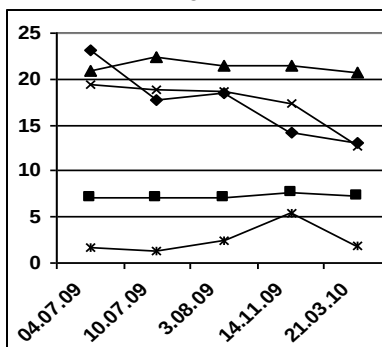
Фиг. 3. С. Дряново (селска чешма) ♦ температура ■ pH стойност $\Delta \times 10^{-2} \mu\text{S/cm}$ X $\text{TDS} \times 10^{-2}, \text{mg/L}$ ✕ K_s^c • K_s^D



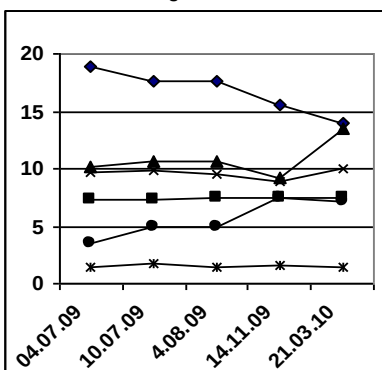
Фиг. 4. С. Дряново (Аязмото) ♦ температура ■ pH стойност $\Delta \times 10^{-2} \mu\text{S/cm}$ X $\text{TDS} \times 10^{-2}, \text{mg/L}$ ✕ K_s^c • K_s^D



Фиг. 5. С. Скалица (десен чучур) ♦ температура ■ pH стойност $\Delta \times 10^{-2} \mu\text{S/cm}$ X $\text{TDS} \times 10^{-2}, \text{mg/L}$ ✕ K_s^c



Фиг. 6. С. Скалица (ляв чучур) ♦ температура ■ pH стойност $\Delta \times 10^{-2} \mu\text{S/cm}$ X $\text{TDS} \times 10^{-2}, \text{mg/L}$ ✕ K_s^c

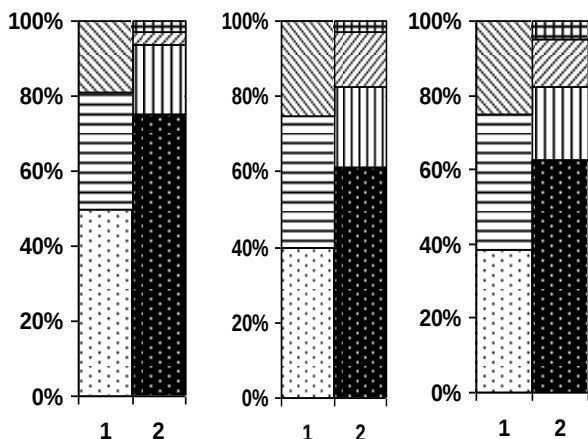


Фиг. 7. С. Бояново (Бялата чешма) ♦ температура ■ pH стойност $\Delta \times 10^{-2} \mu\text{S/cm}$ X $\text{TDS} \times 10^{-2}, \text{mg/L}$ ✕ K_s^c • K_s^D

Чешма при с. Генерал Инзово (северозапад)

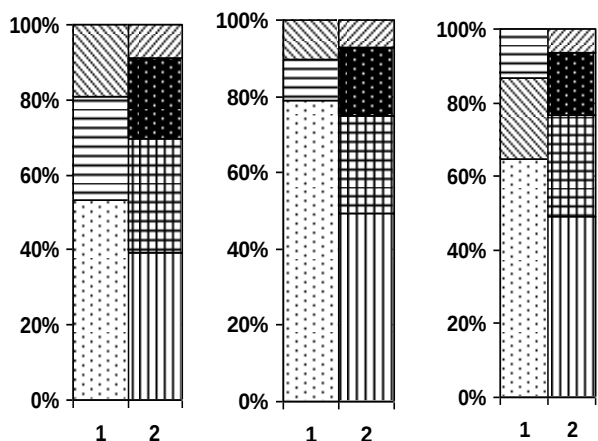
Индексът на насищане на водата спрямо CaCO_3 (K_s^c) е по-голям от единица при всички проби, независимо от сезона, показвайки склонност към утаяване на калцит. Най-високи стойности на K_s^c се наблюдават при най-високи pH стойности и най-ниски стойности на температура.

турата, минерализацията и електропроводимостта. Подоб-

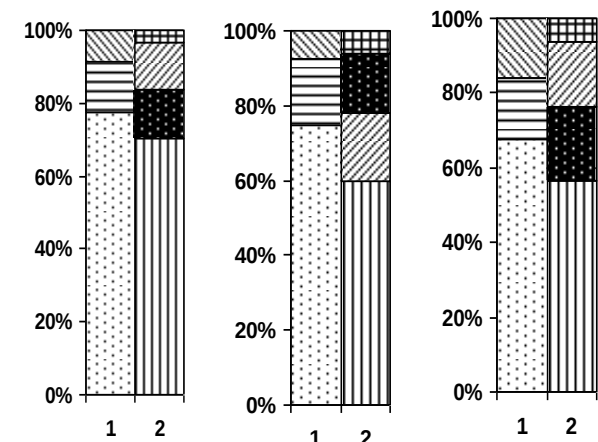


на зависимост от рН и независимост от температурата е наблюдавана от Golterman и Meyer (1985) за твърди речни води.

Фиг. 8. с. Ген Инзово (юг) – от ляво на дясно: А – пролет, В – лято, юли, С – лято, август; 1 – катиони, 2 – аниони; Ca^{2+} Mg^{2+} $\text{Na}^{+}\text{K}^{+}$ HCO_3^{-} SO_4^{2-} Cl^{-} NO_3^{-}



Фиг. 9. с. Ген . Инзово (северозапад) – от ляво на дясно: А – пролет, В – лято, С – есен; 1 – катиони, 2 – аниони; Ca^{2+} Mg^{2+} $\text{Na}^{+}\text{K}^{+}$ HCO_3^{-} SO_4^{2-} Cl^{-} NO_3^{-}



Фиг.10. с. Дряново (селската чешма) – от ляво на дясно: А – пролет, В – лято, С – есен; 1 – катиони, 2 – аниони; Ca^{2+} Mg^{2+} $\text{Na}^{+}\text{K}^{+}$ HCO_3^{-} SO_4^{2-} Cl^{-} NO_3^{-}

Установена бе постоянна висока стойност на концентрацията на NO_3^{-} (4-5 пъти над ПДК), което определено може да се свърже с антропогенно въздействие (наличие на нерегламентирано сметище над част от водосборната зона).

Чешма в с. Дряново (селска)

Индексът на насищане на водата спрямо CaCO_3 (K_s^C) и доломит (K_s^D) е по-голям от единица при всички проби, независимо от сезона, показвайки склонност към утаяване на тези съединения. Най-високи стойности на K_s^C се наблюдават при най-високи рН стойности. С повишаването на средно дневните температури (от пролет към лято) нараства количеството на $\text{Na}^{+}\text{K}^{+}$ и на Cl^{-} във водата за сметка на намаляването на концентрацията на Ca^{2+} и HCO_3^{-} , което най вероятно е свързано с тяхното утаяване под формата на CaCO_3 . Количеството на NO_3^{-} нараства от пролетта към есента, което според нас е свързано с интензивното торене в района, но е в рамките на ПДК.

Чешма в с. Дряново (Аязмо)

Индексът на насищане на водата спрямо CaCO_3 (K_s^C) и доломит (K_s^D) е по-голям от единица при всички проби, независимо от сезона, показвайки склонност към утаяване на тези съединения. Най-високи стойности на K_s^C се наблюдават при най-високи рН стойности и най-ниски стойности на температурата, минерализацията и електропроводимостта. Концентрациите на макрокомпонентите на водата остават практически постоянни в различните сезони. Наблюдава се само леко покачване на концентрацията на NO_3^{-} (но през цялото време под ПДК) в резултат на излужване на почви от наторени ниви.

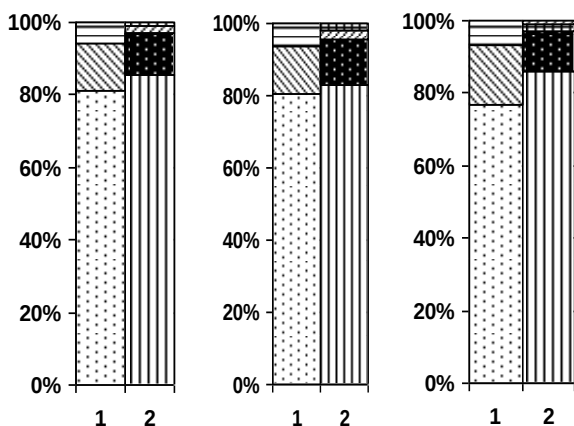
Чешма в с. Бояново (Бялата чешма)

Индексът на насищане на водата спрямо доломит (K_s^D) и калцит (K_s^C) е по-голям от единица при всички проби, независимо от сезона, показвайки склонност към утаяване на тези минерали. Целогодишно концентрацията на Mg^{2+} е по-висока, в сравнение с концентрацията на Ca^{2+} , съответно – целогодишно е по-висок K_s^D , в сравнение с K_s^C , което показва по-голяма склонност към утаяване на CaCO_3 . MgCO_3 . Най-високи стойности на K_s^C и K_s^D се наблюдават при най-високи рН стойности и най-ниски стойности на температурата, минерализацията и електропроводимостта. Наблюдаваното повишаването на електропроводимостта с понижаване на температурата се свързва с по-високата концентрация на Cl^{-} , които имат най-висока електропроводимост от анионите-макрокомпоненти (Krawczyk, 1995). Нитратите са вторият по количество анион-макрокомпонент, което говори за силно антропогенно замърсяване (3-4 пъти над ПДК). Водата се използва всекидневно за питейни нужди на хора и животни, което е недопустимо при тези концентрации на NO_3^{-} .

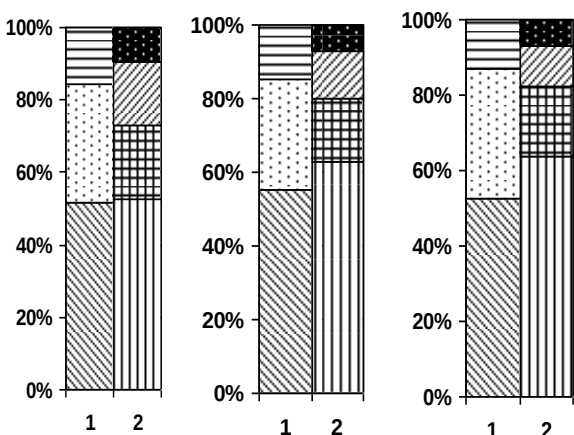
Чешма в с. Скалица (десен чучур)

Индексът на насищане на водата спрямо CaCO_3 (K_s^C) е по-голям от единица при всички проби, независимо от сезона, показвайки склонност към утаяване на калцит. Най-високи стойности на K_s^C се наблюдават при най-високи рН стойности и най-ниски стойности на температурата, минерализацията и електропроводимостта. Слабо повишената концентрация на Ca^{2+} през лятото, в сравнение с другите сезони, би могла да се

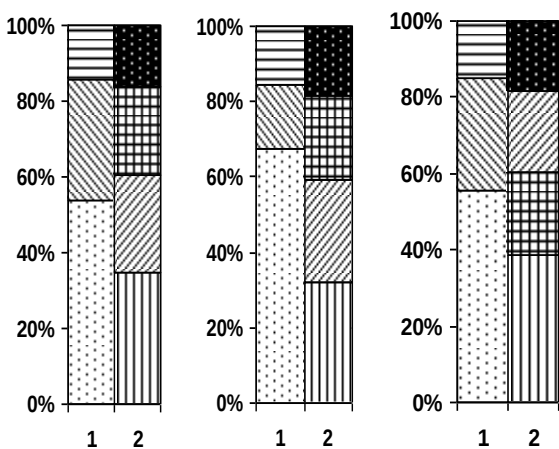
свърже със слабо повишената концентрация на Cl^- . Наблюдава се целогодишно замърсяване на водата с нитрати, което говори за силно антропогенно замърсяване



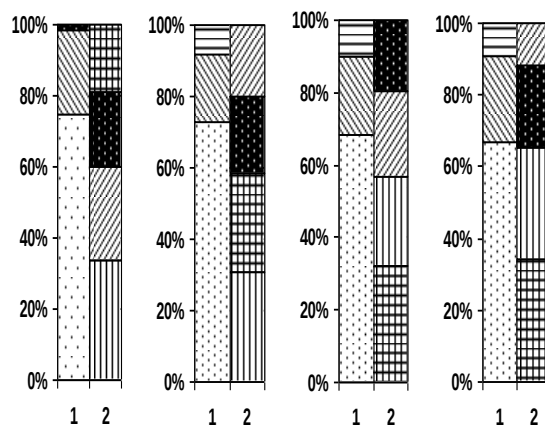
Фиг. 11. С. Дряново (Аязмото) – от ляво на дясно: А – пролет, В – лято, С – есен; 1 – катиони, 2 – аниони;
 Ca^{2+} Mg^{2+} $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$ HCO_3^{-} SO_4^{2-} Cl^{-} NO_3^{-}



Фиг. 12. С. Бояново (Бялата чешма) – от ляво на дясно: А – пролет, В – лято, С – есен; 1 – катиони, 2 – аниони;
 Ca^{2+} Mg^{2+} $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$ HCO_3^{-} SO_4^{2-} Cl^{-} NO_3^{-}



Фиг. 13. С. Скалица – десен чучур – от ляво на дясно: А – пролет, В – лято, С – есен; 1 – катиони, 2 – аниони;
 Ca^{2+} Mg^{2+} $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$ HCO_3^{-} SO_4^{2-} Cl^{-} NO_3^{-}



Фиг. 14. С. Скалица (ляв чучур) – от ляво на дясно: А – пролет, В – лято-юли, С – лято-август, D – есен; 1 – катиони, 2 – аниони;

Ca^{2+} Mg^{2+} $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$ HCO_3^{-} SO_4^{2-} Cl^{-} NO_3^{-}

(4-5 пъти над ПДК) – най-вероятно свързано с изхвърлянето на отпадъци от намиращата се наблизо краевеферма. Водата се използва всекидневно за питейни нужди на хора и животни, което е недопустимо при тези високи концентрации на NO_3^{-} .

Чешма в с. Скалица – ляв чучур

Индексът на насищане на водата спрямо CaCO_3 (K_s^C) е по-голям от единица при всички проби, независимо от сезона, показвайки склонност към утаяване на калцит. Най-високи стойности на K_s^C се наблюдават при най-високи рН стойности. С повишаването на средно дневните температури (от пролет към лято) нараства количеството на $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$ и на Cl^{-} във водата за сметка на намаляването на концентрацията на Ca^{2+} , HCO_3^{-} и SO_4^{2-} , което най-вероятно е свързано с тяхното утаяване под формата на CaCO_3 и CaSO_4 . Количеството на NO_3^{-} нараства от пролетта към есента (като се движи в рамките 2.5-5.5 над ПДК), което би могло да се свърже основно с излужването на нитрати от силно наторените почви от водосборния район.

Получените данни от проведения от нас мониторинг на подземни води (акумулирани в алувиалните отложение) показват, че преобладаващите статични водни нива варират най-често от 1-2 m до 8-10 m дълбочина от повърхността. Наблюдава се значителна промяна на тези нива през сезоните и в областите, където подземните води се експлоатират и използват предимно за напояване. Коефициентът на вариация на дебита на естествените водоизточници (извори и чешми) е приблизително от 2 (Бялата чешма – с. Бояново) до 20 (чешма при с. Генерал Инзово – северозапад). Голямата промяна на дебита през различните сезони, установена за чешмата при с. Генерал Инзово (северозапад) – от 0,1 l/s (11.07.2009 г.) до 2,0 l/s (08.04.2010 г.), се дължи на интензивността на валежите и хидрогеоложките условия на водосборната зона на този водоизточник. Подземните води се формират, акумулират и дренират в плиоценски пясъци и триаски доломитни мрамори, които имат висока водопроводимост. От друга страна – почти постоянния дебит през различните сезони, измерван на водоизточник “Бялата чешма” – с. Бояново се

дължи на неогенските седименти (пясъци, глини, глинести пясъци, пясъчливи глини) и калкретни пластове със значителна дебелина от няколко метра, които са с много ниска водопроводимост. Тази среда (с незначителни филтрационни свойства) играе роля на "подземен изравнител", който предопределя и малките промени в дебита на водоизточниците в нея. Повърхностните води и валежите, които подхранват този водоносен хоризонт, много по-дълго време се инфилтрират и контактуват с вместващите отложения (взаимоотношението "вода-скала"), което благоприятства отлагането на карбонатни (калкретни) отложения в тях. Резултатите от останалите наблюдавани водоизточници, които заемат междинно място, също показват, че най-благоприятните условия за отлагане на калкрет се наблюдават в порьозна среда със сравнително ниски филтрационни свойства.

Заклучение

Всички води от областта са преситени спрямо CaCO_3 . Водите, контактуващи с доломит или с калцит с относително високо съдържание на Mg са преситени и спрямо доломит. Индексите на насищане на водите от района спрямо калцит и доломит показват склонност към отлагането на карбонатите в почвата, контактуваща с тях.

Основният интегрален параметър, влияещ върху стойността на коефициентите на насищане на водите с калцит и доломит, т.е. върху вероятността за утаяване на тези минерали е pH на водата.

В резултат на антропогенна дейност, във всички изследвани водоизточници има значими концентрации на NO_3^- . Не се превишава ПДК само във водата от чешмите в с. Дряново. Обезпокоително високи са концентрациите на NO_3^- във водата от Бялата чешма – с. Бояново и десния чучур на чешмата в с. Скалица, тъй като те се използват всекидневно за питейни нужди на хора и животни.

В проучвания район най-подходящата геоложка среда за отлагане на калкрет е представена от отложения (глинести пясъци, глини и пясъчливи глини), които са със сравнително ниски филтрационни характеристики.

Благодарности. Изследванията са финансирани от проект Д002 89/13.12.2008 г. към фонд "Научни изследвания". В частта "Геоложки строеж на водосборните зони" получихме значителна помощ от гл. ас. д-р Иван Димитров, за което му благодарим.

Литература

- Антонов, Х., Д. Данчев. 1980. *Подземни води в НРБ*. С., Техника, 360 с.
- Димитров, И., М. Панайотова, Е. Колева-Рекалова, Е. Анастасова. 2009а. Начални геохимични и физикохимични наблюдения на засегнати от калкретизация райони в Източно-тракийската низина. – *Год. МГУ*, 52, св. I, *Геология и геофизика*, 55-60.
- Димитров, И., Д. Съчков, Б. Вълчев, К. Василева. 2009б. Геохимична характеристика на карбонатните почви от Тунджанското понижение, югоизточна България. – *Спис. Бълг. геол. д-во*, (под за печат).
- Йотов, И. 2000. Генерални схеми за използване на водите в районите за басейново управление. Източно-беломорски район, т. IV. Генерална схема за използване на водите на поречието на р. Марица. – *Геофонд на МОСВ*.
- Dimitrov, I., M. Panayotova, D. Sachkov. 2009. Calcrete in southeast Bulgaria a study in progress. – *International Multidisciplinary Scientific Conference SGEM 2009. Conference Proceedings*, II, 457-464.
- Goltermann H. L., M. L. Meyer. 1985. The geochemistry of two hard water rivers, the Rhine and the Rhone. Part 2: The apparent solubility of calcium carbonate. – *Hydrobiologia*, 126, 1, 11-19.
- Krawczyk, W. E. 1995. *International Journal of Speleology. Handbook 1. Physical Speleology*. University of Silesia, Poland, 50 p.

Препоръчана за публикуване от
Катедра "Химия", МТФ