

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ

Лапина Е.Е., Ахметьева Н.П., Кудряшова В.В.

**Родники долины верхней
Волги и ее притоков:
условия формирования,
режим, охрана**

Введение

Родники средней полосы России – это бесценный дар природы, который необходимо сохранять и заботиться о них. Исстари родники освящали, строили над ними часовни или церкви. Так, в г. Твери в XVIII веке была построена церковь «Живоносного источника» на месте, где бил родник с чистой прозрачной водой, обладающей целебными свойствами. Родник был каптирован в виде красивой каменной вазы, расположенной в центре храма (Архипов, 2001). Однако, в связи с интенсивным использованием подземных вод для водоснабжения города, статический уровень водоносного горизонта был понижен, и в XX веке источник иссяк.

В последние годы из-за ухудшения качества поверхностных питьевых источников исследования родникового стока очень актуальны. В ряде районов Центральной России опубликованы работы, посвященные родникам той или иной области либо мегаполиса. В монографии А. Г. Курдова на основе личных наблюдений и архивных данных проведено районирование родников Воронежской области по условиям зарождения (Курдов, 2000); в монографии В. М. Швеца и др. подробно описаны московские источники с акцентом на их культурный и рекреационный потенциал (Швец, 2002).

В Тверской области в 1999 году проводился смотр-конкурс по благоустройству родников – над ними установили срубы либо навесы, построили удобные подходы, благоустроили места отдыха у родников. В порядок приведено около 260 родников, выполнена большая работа для развития туризма и краеведения области.

Предлагаемая читателю книга о родниках юго-восточной части Тверской области (водосбор Ивановского водохранилища) имеет другую цель – объяснить с геологических позиций генезис родников, их различную степень защищенности от антропогенного влияния, указать, какие родники в настоящее время не стоит использовать для питья, а какие являются наиболее защищенными от попадания в них загрязнений.

Авторы исследовали родники водосборной площади водохранилища в течение длительного времени – с 1981 года по настоящее время, выполняя научно-исследовательские работы Института водных проблем РАН по темам: загрязнение подземных вод удобрениями, защита подземных вод от истощения и загрязнения, роль подземных вод в питании малых рек и Ивановского водохранилища.

Авторами обследовано более 60 родников, по восьми из них ведутся режимные круглогодичные наблюдения за расходом, температурой, изменением химического состава, в последние годы стали выполняться анализы с определением тяжелых металлов. Анализы воды (более 1000 проб) выполнены в гидрохимической лаборатории Ивановской НИС Института водных проблем РАН под руководством О. П. Букреевой, определение тяжелых металлов (34 образца) проведено к. б. и. Д. В. Ладониным на биологическом факультете МГУ им. М. В. Ломоносова.

В результате исследований установлены факторы и условия формирования химического состава родникового стока, выявлены и оценены тренды динамики содержаний загрязняющих веществ, определена интегральная токсичность, описаны особенности гидродинамического, гидрохимического и термического режимов родников, рассчитана доля родникового стока в подземном притоке Иваньковского водохранилища. В приложении представлены таблицы химического состава родников, атмосферных осадков, их физическая характеристика.

Глава 1 написана Н. П. Ахметьевой и Е. Е. Лапиной, подраздел «Тектоника» в разделе 1.2.1 – Н. П. Ахметьевой, раздел 1.3 – Е. Е. Лапиной и Н. П. Ахметьевой, раздел 1.4 – В. В. Кудряшовой; Глава 2, разделы 2.1, 2.2 – Е. Е. Лапиной, подраздел «Половодье» в разделе 2.2. – В. В. Кудряшовой; раздел 2.3 – Н. П. Ахметьевой, раздел 2.4 – Е. Е. Лапиной и Т. В. Ореховой; Глава 3, раздел 3.1 – Е. Е. Лапиной и Н. П. Ахметьевой, раздел 3.2 – Е. Е. Лапиной; Глава 4 – Е. Е. Лапиной, подраздел «Утраченные родники» в разделе 4.1 – Н. П. Ахметьевой.

Кроме авторов, в полевых работах в разные годы принимали участие М. В. Лола, В. П. Гуров, Г. В. Ковалышева, Е.Ф. Черепанов, О.В. Рожков, В.Т. Григорьев, В. К. Дроздов, С.В. Ерошенко.

Авторы признательны за неоценимую помощь при обсуждении работы, за советы и консультации д.г.н. А. П. Белоусовой (ИВП РАН) и д.г.-м. н. С. П. Позднякову (МГУ), а также выражают благодарность д.ф.-м.н. П. М. Ахметьеву, к.г.-м.н. Т. В. Ореховой, к.ф.-м.н. А. В. Беляеву, к.г.н. И. Л. Григорьевой, к.г.-м.н. В. А. Бакшевской за важные замечания при написании и прочтении рукописи.

Авторы благодарны организациям, их руководителям и сотрудникам, которые для проведения исследований предоставляли автомобильный и водный транспорт: руководству Национального госкомплеса «Завидово» в лице начальника научного отдела д. б. н. В. И. Фертикова и егеря С. А. Егорова; Управления эксплуатации Иваньковского водохранилища в лице начальников полигона «Верхняя Волга» А. А. Горского и Т. Н. Плахуты, Конаковского отдела ГИМС МЧС России в лице государственного инспектора С. А. Борковца, лодочной Коиаковской станции в лице Управляющего С. В. Удалова, а также добровольным помощникам, отбиравшим пробы из родников: Л. Е. Буриной, С. В. Воронину, Р. В. Гоголевой, И. А. Гудковой, А. В. Лапину, Г. Н. Любаеву, А. Т. Комиссарову, Я. П. Корчагиной, Н. А. Медведеву, Т. А. Почаевой, Ю. Я. Романову, Л. В. Сухаиновой, В.В. Шаровой.

Всем перечисленным лицам авторы выражают глубокую признательность

Авторы надеются, что книга будет полезна экологам, географам, гидрогеологам, краеведам, поскольку является источником натуральных данных, необходимых для моделирования процессов загрязнения природных вод.

Итогом книги являются рекомендации по сохранению удовлетворительного качества родников, широко используемых населением в питьевых целях.

Приятые сокращения

АО – атмосферные осадки

БнГВ – безнапорный водоносный горизонт

БПК₅ – биохимическое потребление кислорода за 5 суток, мгО₂/л

ГВ – грунтовые воды

ГУЦР – Геологическое управление Центральных районов

ЗВ – загрязняющие вещества

ИБВВ РАН – Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанова

ИВП РАН – Институт водных проблем Российской академии наук

к/з – крупнозернистый

кг д. в. – килограмм действующего вещества

К_ф – коэффициент фильтрации, м/сут

м/з – мелкозернистый

НВ – напорные воды

НИС – научно-исследовательская станция

НПУ – нормальный подпорный уровень

НРК – азот, фосфор, калий

О₂ – растворенный кислород, мгО₂/л

ОВ – органическое вещество

ПВ – инфильтрационное питание

ПГО – производственное геологическое объединение

ПДК – предельно допустимая концентрация

ПО – перманганатная окисляемость, мгО/л

р/з – разнотзернистый

с/з – среднетзернистый

СнГВ – субнапорные грунтовые воды

УГВ – уровень грунтовых вод

ЭПР – электропроводность, mS/m

Глава 1. Условия формирования родникового стока

1.1. Природно-климатические условия

В географическом отношении район исследований расположен в южной части Верхневолжской низины с Иваньковским водохранилищем в центре. На севере исследованная территория ограничивается линией Черногубово – Окулово по направлению на Кимры; западная граница проходит параллельно условной линии Черногубово - Новинки (р. Тьма) – Микулино. С востока территорию замыкает створ Иваньковского гидроузла; с юга – ломаная линия Микулино – Койдиново – Крутец. В соответствии с административным делением северо-западная часть принадлежит к территории Калининского района, а юго-восточная включает полностью Конаковский и незначительную часть Кимрского районов. Общая площадь исследованной территории составляет около 950 км².

Иваньковское водохранилище создано в 1937 году, относится к долинному типу, характеризуется как высокопроточное и мелководное. Водоем входит в каскадную систему водохранилищ Верхней Волги и на 55-60% обеспечивает Московский регион питьевой водой.

Климат района работ умеренно-континентальный, среднегодовая температура колеблется от 3.8°C в Конаковском районе до 4.2°C в Твери. Самый холодный месяц - январь (амплитуды температур от -42°C до +5°C), самый теплый месяц - июль (до 38°C). Продолжительность теплого периода со среднесуточной температурой выше 0 градусов составляет около 7 месяцев, средняя продолжительность безморозного периода составляет 123-138 суток. Зима с устойчивыми морозами наступает в конце ноября - первой половине декабря и продолжается до середины марта. Территория относится к зоне избыточного увлажнения, среднегодовая относительная влажность воздуха достигает 80%, среднегодовое количество осадков почти в 2 раза превышает испарение и составляет 600 - 720 мм. Из этого количества на холодное время года (ноябрь - март) приходится около 30%, максимальное количество осадков - на июль - август, минимум отмечается в феврале (Мирзоев, 1995).

Среднегодовое количество жидких осадков по региону составляет 476, твердых – 174 мм/год (Научно-прикладной, 1988).

Ветровой режим определяют западный перенос, вызванный общей циркуляцией атмосферы в холодный период года, и небольшие градиенты давления между Атлантическим океаном и континентом в теплую половину года (География, 1992).

Почвенный покров района формируется в условиях избыточного увлажнения на разнообразных материнских породах, представленных в основном моренными суглинками и водно-ледниковыми отложениями различного механического состава (Груздева, 1985; Назарова, 1985). Мощность гумусового горизонта колеблется в среднем от 10 до 25 см. Почвы характеризуются как гидроморфные и полугидроморфные, до 50% почв Тверской области заболочены (Почвы СССР, 1979; Зайдельман, 1991)). Если использовать как критерий разделения диапазоны содержания гумуса в пахотном слое каждой группы (1.0 - 2.5% в дерново - подзолистых, 3.0 – 6.0 % в аллювиальных почвах и свыше 10% гумуса в болотных почвах), то все встречающиеся разновидности почв подразделяются на три типа: дерново-подзолистый, аллювиальный и болотный (Штритер, 2003).

Дерново-подзолистые почвы разной степени оподзоленности составляют более 50% среди остальных типов почвенного покрова района работ и распространены по всей территории (Бочаров, 1951; Почвенная, 1985). Подзолистые почвы на суглинистых материнских породах обычно распространены на пологих склонах небольших гряд и холмов, на выровненных поверхностях.

Подзолистые почвы на песчаных и супесчаных материнских породах характеризуются как водопроницаемые, сравнительно влагоемкие, часто развиты на двучленных наносах (супесь или суглинок подстилается более тяжелыми суглинками) и на флювиогляциальных и дривисаллювиальных песках, встречаются на обширных выровненных пространствах и на вторых террасах речных долин. Почвы бедны органическим веществом, имеют низкое

содержание гумуса (0.5 – 3.5 %), кислую реакцию почвенного раствора (рН 4.0-5.5), низкое содержание подвижных форм К и Р (Природа, 1960; Доклад, 2001).

Болотный тип почв объединяет несколько подтипов: торфяно- и иловато-болотные, а также все разнообразные переходные под общим названием болотно-подзолистые (Тверская, 1994). Обширные пространства по берегам Шошинского плеса водохранилища занимают заболоченные почвы (дерново-глеевые и подзолисто-глеевые).

Торфоболотные и болотные почвы являются почвами повышенного переувлажнения, для них характерен мощный гумусовый горизонт (30 см и более), содержание гумуса до 10%, рН 4.5 – 6.0. Торфяно-болотные распространены на водоразделах и равнинах, сложенных флювиогляциальными и аллювиальными песками, формируются при грунтовом питании водами с малой жесткостью. Генетический профиль состоит из двух горизонтов. Верхний представлен бурым торфом разных стадий разложения, на глубине около 50 см он сменяется горизонтом оглесения, для которого характерна сизая окраска с ржавыми пятнами и подтеками. Величина рН 3.0-3.5, зольность торфа 2-5%. Этот подтип чаще встречается в Калининском районе. Иловато-болотные имеют значительно меньшее распространение, залегают в поймах рек, в западинах с близким к поверхности уровнем грунтовых вод (УГВ). Встречаются на правом берегу Шошинского плеса, на юге территории (с.с. Завидово, Козлово) и по левобережью водохранилища (на водосборе р. Созь, на северо - западе территории, в Кимрском районе). Эти почвы формируются при избыточном грунтовом питании жесткими водами. С поверхности этих почв залегают горизонт хорошо разложившегося торфа (степень разложения до 40%), зольность торфа до 20%, реакция рН около 5.8 – 6.8, то есть ближе к нейтральной. Болотно-подзолистые почвы формируются среди почв подзолистого типа на слабодренированных элементах рельефа, для них характерно наличие торфянистого горизонта и залегающего под ним подзолистого. Эти почвы отличаются низким содержанием гумуса (0.5 - 2.0 %), кислым рН и повышенным содержанием подвижного железа (Природа, 1960).

Аллювиальные почвы широко представлены в поймах рек (Орша, Созь, Тверца и др.). Образуются они на аллювиальных речных отложениях. Эти почвы хорошо обеспечены соединениями азота, рН колеблется от 5.0 до 7.0. В формировании аллювиальных почв существенную роль играет деятельность реки, почти ежегодно приносящей и накапливающей ил. В прирусловой части поймы почвы образуются на грубых песчаных наносах, обычно слоистые, перегнойный горизонт слабо гумусирован. В центральной части поймы почвы имеют обычно суглинистый мехсостав, содержание гумуса достигает 5-7 % , они наиболее плодородны. В притеррасной части поймы почвы обычно заболочены, тянутся узкой полосой вдоль уступов террасы (Гавеман, 1955).

Территория водосбора Иваньковского водохранилища находится в центральной части Русской равнины и относится к подзоне южной тайги и смешанных елово-широколиственных лесов (Доклад, 2002). Первичные лесобразующие породы представлены елью и сосной. Береза и осина разрастаются на месте сведенных хвойных лесов, образуя вторичные насаждения.

Описываемая местность административно относится к Тверскому лесничеству – юго-восточному району сосновых лесов Приволжской низменности. Леса здесь смешанные, с преобладанием сосны, доминирующие типы леса: сосняки-черничники, майниково-брусничные, ельники-кисличники, а также производные от коренных типов березняки и осинники. Значительные площади занимают сфагновые сосняки. Основные древесные породы представлены хвойными (ель, сосна), из широколиственных пород произрастают липа, редко клен, из мелколиственных – береза, осина, ольха, рябина; широко распространены ивовые (Государственный, 2011).

К Верхневолжской низине приурочены наиболее крупное низинное болото Озерцо-Лодкинское и верховые болотные массивы “Конаковский Мох” и “Оршинский Мох”, что, скорее всего, связано с обширным распространением в пределах низины песков, подстилаемых водоупорными горизонтами на небольшой глубине (Торфяные, 1974).

Густота речной сети на Верхневолжской низине составляет 0.12 - 0.15 км/км² (Природа, 1960). Волго - Шошинская часть низины имеет общий уклон поверхности на северо - восток, по которому и текут реки, в междуречьях уклон выражен слабее.

Охарактеризуем основные притоки Волги на отрезке Тверь - Дубна.

Река Тьма, впадающая в Волгу у д. Отмичи, берет начало в Ильиных горах (по левобережью реки исследован родник в д. Новинки). В городе Тверь в Волгу впадает справа р. Тьмака, слева - один из крупных ее притоков - река Тверца. Ниже Твери притоки Волги впадают в Ивановское водохранилище: справа - река Шоша, стекающая с северных склонов Смоленско-Московской гряды, слева - река Лама, которая до затопления впадала в Шошу, а сейчас - непосредственно в Шошинский плес Ивановского водохранилища.

Ближе к устью Шоши в плес у д. Безбородово впадает река Дойбица. По правому берегу в Ивановское водохранилище впадают следующие речки: Инюха, устье которой находится на территории Вахонинского сельского поселения; Сучок, в устье которого находится д. Вахромеево, и Донховка, протекающая по г. Конаково.

Левые притоки водохранилища - это реки Орша и Созь, которые начинаются соответственно из озер Оршино и Великое (группа Оршинско-Петровских озер) и протекают по сильно заболоченной местности. Далее, уже за Ивановской плотиной, в Волгу справа впадает река Дубна. Крупный приток Дубны р. Сестра протекает 40 км по границе Тверской и Московской областей, в нее впадает правый приток река Крутец (юго-восток изученной территории).

По условиям режима и питания реки относятся к восточно-европейскому типу с высоким весенним половодьем при таянии снега, низкой летней и зимней меженью, почти ежегодными дождевыми паводками осенью и зимой. Основной источник питания - талые снеговые воды (45 - 55%); грунтовое питание с верховодкой в теплые зимы (25 - 40%), дождевое питание составляет 15 - 20% (География, 1992). По расчетам О. В. Попова, в пределах

Верхневолжской низменности доля подземного стока (грунтовых и напорных вод) от общего речного составляет 10 - 20% (Попов, 1968).

Весеннее половодье начинается в среднем в первой декаде апреля и продолжается обычно от 15 до 60 дней. Подъем уровня происходит быстро и интенсивно. Высота подъема на разных реках различная, от 0.5 до 5 - 6 м. На большинстве рек весеннее половодье чаще всего заканчивается в третьей декаде мая, на некоторых реках – в его первой декаде (Мирзоев, 1995).

Во время половодья значительно возрастают скорости течения - до 0.8-1.0 м/сек, на отдельных участках наблюдается незначительный размыв русла. Затопливаются пойменные луга: на реке Шоша до 2.5 км, на других – до 50 - 100 м шириной. Во время половодья пойма обычно полностью затопляется, иногда – и вся долина реки. Глубина в зоне затопления достигает 1 - 1.5 м. Продолжительность затопления колеблется от нескольких дней до месяца. Период летне-осенней межени составляет в среднем 140 - 160 дней.

Модули среднего годового стока на описываемой территории в сравнении с северо - западом области снижаются до 6.0 - 6.5 л/с км² и менее. Бассейн рек Орша и Созь характеризуется модулем стока около 6.0 л/с км², что объясняется высокой заболоченностью водосбора и равнинной местностью (Природа, 1960).

1.2. Геолого-гидрогеологические условия

Бассейны основных рек центральных районов Европейской части России расположены в пределах Подмосковной палеозойской котловины, приуроченной к северной части Русской платформы. Бассейн Верхней Волги относится к западному и северо-западному склонам Подмосковной котловины (Красиццева, 1977).

Волжский водосбор характеризуется различными климатическими, орографическими и гидрогеологическими условиями, что отражается на свойствах подземных вод его территории.

По картографическим данным модули среднегодового подземного стока 50% обеспеченности от истоков Волги до Рыбинска составляют величины 2.2 – 3.4 л/с км², далее к устью р. Суры они снижаются до значений 0.8–1.8, а от устья реки Сок до устьевой части Волги величина модулей уменьшается вплоть до 0.1 л/с км² (Подземный, 1966; Ковалевский, 2003).

В таблице 1.1 показано, как меняется доля потребления подземных вод в прибрежных волжских городах от истока Волги к устью (Лапина, 2011).

Таблица 1.1

Водопотребление в приволжских городах на 2009 год *

| Город | Население, человек | Водоснабжение | |
|---------------|--------------------|-----------------|-------------|
| | | поверхностное % | подземное % |
| Верхняя Волга | | | |
| Ржев | 61 500 | 56 | 44 |
| Тверь | 405 500 | 12 | 88 |
| Конаково | 46 000 | 3 | 97 |
| Дубна | 67 800 | 100 | - |
| Рыбинск | 216 000 | правый берег | левый берег |
| Ярославль | 605 200 | 100 | - |
| Кострома | 279 300 | 92 | 8 |
| Н. Новгород | 1 280 355 | 98 | 2 |

* Используются официальные данные с административных сайтов городов

Таким образом, на исследованном нами участке Волги от Твери до Дубны население использует воду для питьевых целей в основном из колодцев, скважин и родников.

В Твери питьевое водоснабжение из подземных источников составляет 88%, в Конаково – 97%, но уже в Дубне население использует для питьевых целей воды поверхностного происхождения.

Родники на описываемой территории широко используются населением в питьевых целях.

1.2.1. Геологическое строение

В геологическом строении водосборной площади Ивановского водохранилища принимают участие докембрийские (граниты и гнейсы) кристаллические породы, вскрытые скважиной на глубине 1738 м у пос. Редкино, а также кембрийские, силурийские, девонские, каменноугольные, пермские и юрские отложения, перекрытые мощным плащом рыхлых пород четвертичной системы.

Кембрийские отложения залегают на древней коре выветривания мощностью до 10 м (обломки каолинизированных гнейсов, песок, глина) и представлены глинами, иловатыми породами и песчаниками. В верхней части разреза в зеленовато-серых глинах обнаружены остатки кольчатых червей.

Силурийские отложения выделены условно по остаткам спор. Состоят из глин, песков и песчаников.

Отложения девонской системы представлены чередованием р/з кварцевых песков, песчаников, зеленовато-серых глин, мергелей, доломитов. Общая мощность отложений 800 - 850 м. В районе пос. Редкино девонские отложения вскрыты скважиной на глубине 350 м. Общая мощность отложений около 300 м.

Каменноугольные отложения распространены повсеместно. В центральной и западной частях района нередко картируются в естественных обнажениях.

Геологическая карта дочетвертичных отложений района работ, составленная по материалам комплексных геолого-гидрогеологических съемок Е. А. Фетищевой (1965), Г. Д. Родионовой (1966), И. И. Мещеряковой (Геологическая, 1994), представлена на рис. 1.1. На карте указаны линии схематических геолого-гидрогеологических разрезов (1 - 1, 2 - 2).

Отложения глубоко залегающего нижнего карбона нами не рассматриваются.

В среднем карбоне выделено четыре горизонта: верейский (C_2v), каширский (C_2k), подольский (C_2pd) и мячковский (C_2m). Верейский горизонт

залегает на эродированной поверхности нижнекаменноугольных известняков. В нижней части горизонта выделяется пестроцветная толща, не выдержанная по составу. Здесь встречены пески и песчаники с прослоями глин, доломитизированные известняки с кремниевыми конкрециями и прослоями мергеля.

В строении каширского горизонта принимают участие известняки светло-желтые и белые, розовые доломиты. Чистые разности известняка, мергеля и глины играют подчиненную роль. Следует отметить наличие в средней части толщи тонких прослоек мягкой глиноподобной сланцеватой породы зеленоватого цвета. В этих прослоях местами обнаруживают себя землистые скопления фиолетового ратовкита (CaF_2) – разновидность флюорита. В толще каширского горизонта преобладают доломиты.

Подольский горизонт состоит в основном из известняков и мергелей. Последние преобладают в нижней части толщи и представлены тонкоплитчатым плотным мергелем различной окраски. В известняках этой толщи присутствуют гнезда кремня. В мергелях зачастую наблюдаются прослойки сланцеватой глины, в трещинах и пустотах которой обнаруживаются друзы кристаллов кварца и кальцита. В кровле горизонта залегают чистые и доломитизированные известняки мощностью до 2-х метров.

Мячковский горизонт представлен доломитизированными известняками с прослоями мергелей и глин мощностью до 20 м.

Нерасчлененная толща подольско-мячковских отложений встречается в западной части описываемой территории.

В верхнем отделе каменноугольной системы (Лаврович, 1970) выделяют два яруса. Касимовский ярус (C_3k) в пределах изученной территории подразделяется на кривякинский C_3kr , хамовнический C_3hm и дорогомилловский C_3dr горизонты, представленные доломитами и известняками, с прослоями мергелей и глин. Мощность глинистых прослоев составляет 2 - 7 м, общая мощность яруса 30 - 50 м. Ярус перекрыт глинами щелковской толщи, в его подошве залегают кривякинские глины.

Гжельский ярус (C_{3g}) содержит два горизонта: клязьминский C_{3kl} и ногинский C_{3ng} . Отложения последнего представлены записованными, выщелоченными доломитами, мощностью 25 - 30 м, иногда до 47 м.

Клязьминский горизонт C_{3kl} представлен известняками, доломитами, в различной степени окремненными, участками трещиноватыми, с прослоями мергелисто - глинистых образований, к подошве – пестроцветными глинами и мергелями, плотными доломитами.

Пермские отложения (P) распространены в северо-восточной части Тверской области, за пределами описываемого района.

Юрская система (J) представлена отложениями среднего и верхнего отделов: бат - келловейского J_{2bt} - к, келловейского J_{2k} , оксфордского J_3o и киммериджского J_{3k} ярусов. Юрские отложения на многих участках района служат водоупором для подморенных водоносных горизонтов. Их максимальная мощность достигает 30 м, местами юрские отложения отсутствуют из-за интенсивных процессов размыва и разрушения их ледниками (например, в разрезе самоизливающейся скважины в д. Плоски).

Отложения бат - келловейского яруса представлены песками серыми и темно - серыми, слюдыстыми, глинистыми, м/з, местами р/з с гравием, приуроченными к погребенным долинам на юго-востоке территории, мощностью 10-15 м.

Отложения келловейского яруса имеют общую мощность 15 -18 м. Толща келловейских пород представлена в нижней части алевритами черными и темно-серыми, слюдыстыми, рыхлыми, мощностью 10 - 12 м. Выше залегают слои, представленные чередованием глин и алевритов, мощностью 1 - 1.5 м. Верхняя часть разреза выполнена зеленовато-серыми известковистыми глинами, местами со сростками пирита в нижней части, с конкрециями фосфоритов с окаменелыми остатками белемитов и аммонитов. Абсолютные отметки кровли колеблются от 70 до 100 м.

Отложения оксфордского яруса встречены по правобережью Шошинского плеса, близ с. Козлово и по левобережью водохранилища, в

центре района работ. В подошве отложений залегают зеленовато - серые м/з пески, которые перекрыты светло - серыми алевритистыми глинами, слюдистыми, известковистыми, с тонкой горизонтальной слоистостью. Мощность оксфордских отложений 5 - 6 м, абсолютные отметки кровли изменяются в пределах 100 - 110 м.

Киммериджские отложения встречены локально, по левобережью водохранилища вблизи д. Видогощь, залегают на оксфордских глинах. Они представлены чередованием жирных черных глин, местами вязких, со сrostками пирита, зеркалами скольжения, и алевритов, слюдистых, известковистых, глинистых, от черных до темно-серых, мощность отложений 10 - 12 м.

В геолого - структурном отношении район исследований расположен в области Московской синеклизы, не выраженной в поверхностном рельефе; в географическом – в пределах Верхневолжской низины.

Рельеф Верхневолжской зандровой низины характеризуется как слаборасчлененный, с относительной глубиной расчленения 10 - 30 м, осложненный местами отдельными холмами и грядами ледникового происхождения относительной высотой 50 - 70 м. Относительные отметки поверхности изменяются в диапазоне 124 - 178 м, достигая минимума вблизи уреза р. Волги. Максимальная абсолютная отметка 178 м находится на левобережье вблизи д. Кудрявцево (конечно-моренная гряда).

Тектоника

При описании геологического строения территории следует уделить внимание ее тектоническому строению, которое оказывает влияние на пространственное размещение родников и их физико-химические свойства. Изучение источников, их пространственного размещения и локализации в определенных природных обстановках выполнялась в юго-восточной части Тверской области (Конаковский и смежные с ним районы), а также в приграничных участках Московской области к западу от канала Москва-Волга.

Многие источники (более 15) тесно связаны с разрывными нарушениями складчатого фундамента, обновленными в неотектонический этап. Генезис и размещение источников связаны также с выходами юрских отложений на западном погружении Московской синеклизы, осевая часть которой находится восточнее Рыбинского водохранилища. Переход от юрских полей осадочного чехла, представленных глинистыми фациями, к полям, сложенным известняком карбона, также влияет на локализацию родников.

Для определения степени влияния строения складчатого фундамента, подверженного неотектоническим подвижкам, кратко рассмотрим строение его на участке Иваньковского водохранилища и смежных с ним участках к северу и югу.

Источником интерпретации геологического и тектонического строения изученного участка, расположенного севернее геоморфологической ступени, ограничивающей Клинско - Дмитровскую гряду, непосредственно параллельной долине Волги, является Космотектоническая карта масштаба 1:2500000 (Космотектоническая, 1984).

Параллельно долине Волги на участке водохранилища, непосредственно к югу от него в фундаменте прослежена четкая граница разрывов и зон трещиноватости, отделяющих юго - восточный выступ посткарельского складчатого фундамента (с возрастом моложе 2.6 миллиарда лет), от северо-западного выступа севернее водохранилища, образованного карельским комплексом Балтийского щита. Простирание складчатых структур фундамента (как докарельского, так и посткарельского), совпадает с ориентировкой самой границы, представляющей систему разломов глубокого заложения, обновленных в неотектонический этап. Обращает на себя внимание развитие менее амплитудных молодых разломов в фундаменте и чехле платформы. С большим основанием можно считать, что локализация источников, учитывая их линейное расположение, служат разрывы в складчатом фундаменте, обновленных в неотектонический этап. Выявлены широко расположенные группы источников, а также меридиональные. Они локализованы по

неотектоническим нарушениям, активизированным по нарушениям вдоль границы, разделяющей блоки с посткарельским и карельским складчатым осипованием и перпендикулярно к ним.

К первой группе источников относится хорошо известный источник «Аиия Кашииская», состоящий из трех источников, выходящих в левом борту ручья, впадающего в речку Кашиинка. Источники с запахом сероводорода издавна привлекали внимание людей. В 1884 году был открыт санаторий с «железисто-углекислой серной водой» для лечения малокровия, хронического катара желудка, геморроя, подагры, ожирения, золотухи и паралича. В настоящее время здесь лечат прежде всего язвенные болезни желудка и двенадцатиперстной кишки. Химический состав воды следующий: pH – 7.63; температура воды +7 градусов С; общая минерализация – 2.3 – 3.7 г/дм³; Са – 400-600 мг/ дм³; Mg – 100-200 мг/ дм³; HCO₃ – менее 100 мг/ дм³; SO₄ – 150-2500 мг/ дм³; Cl – 200-350 мг/ дм³. Аналогичный источник с сильным запахом сероводорода функционировал в овраге близ д. Свердлово, но в 1987 г он был засыпан при проведении земляных строительных работ.

Химизм вод источников в значительной степени зависит от строения складчатого фундамента на границе разновозрастных блоков фундамента, где параллельной цепочкой протягиваются выходы докембрийских гранитоидов, а к северу от Шошинского плеса – выходы интрузивных и пирокластических пород основного состава.

По линейному расположению родников четко выделяется разлом, проходящий в ССВ направлении через деревни Крутец – Пенье – Дмитрова Гора – Обухово. Основным показателем глубинной разгрузки родника является его особый химический состав. В родниках и колодцах перечисленных населенных пунктов отмечается повышенная жесткость 7 – 9.2 ммоль/дм³, общая минерализация тоже повышена и составляет 700 – 1000 мг/ дм³, в составе присутствуют сульфаты, составляющие 25 и более процентов в ионном составе. Вода часто имеет запах сероводорода. Как правило, значение Eh понижено, оно равно от нескольких единиц до (-30) мВ; значение pH

составляет 7.2 – 8.4 единиц. Температура воды в родниках этого типа отличается своим постоянством, составляя (+5) – (+8) градусов С. Хорошим индикатором глубинного заложения родника является содержание в воде Sr, F и В (но авторы не всегда имеют эти данные).

Другой разлом, выявленный по линейно расположенным родникам, проходит: пос. Завидово – д. Кочедыково – д. Шуклово – д. Вахонино – г. Конаково. Вода выделенных родников имеет повышенную жесткость 7 - 15.3 ммоль/л, общая минерализация воды также повышена до 1.2 г/л; рН составляет 7-8.3 единиц, Eh – единицы мВ.

Предположительно (требуются дополнительные изыскания) можно выделить разлом, проходящий по линии д. Цветково – д. Старый Погост – с. Городня. Жесткость воды в д. Цветково – 8.6, в д. Старый Погост – 12.4, в с. Городня – 8-12 ммоль/л. Минерализация воды несколько повышена. В родниках с. Городня определено высокое содержание Sr (380 и 1140 мкг/дм³), что является подтверждением разгрузки вод из известняков касимовского яруса верхнего карбона.

Нами намечен разлом, проходящий по направлению: д. Калистово – Шошинский плес, являющийся палеодолиной крупной реки (палеоВолги?) – д. Тешилово. Интересно отметить, что содержание Sr в Шошинском плесе больше, чем в Волжском плесе. В колодце д. Калистово и роднике д. Тешилово вода отличается повышенной жесткостью.

В правобережье р. Волги между городами Конаково и Дубиа обращает на себя внимание рисовка гидрографической сети малых рек – притоков р. Волги (рис. 1.4). Например, р. Крутец резко (под углом в 90 град.) меняет свое течение, наследуя древние тектонические структуры. В днище р. Крутец бьют холодные ключи, которые заметны невооруженным взглядом. Вода в речке чистая, в ней водится много рыбы, несмотря на то, что она протекает среди сельскохозяйственных полей и мелиорируемых территорий.

Другим примером может служить р. Донховка. Река меняет свое направление у д. Марьино на 90 градусов. Далее по течению через 1.7 км река

вновь резко поворачивает на север. Химический состав родника в с. Селихово, на левом берегу р. Донховка, подтверждает наличие разлома в долине реки. Родник имеет повышенную жесткость, общая минерализация воды равна 900 мг/дм³, вода всегда холодная, независимо от сезона года. В д. Марьино вода в колодцах также отличается повышенной жесткостью.

Обращает на себя внимание участок на левом берегу р. Волги близ деревень Кудрявцево, Нестерово, Окулово, речек Шипиловка и Чернавка. Здесь родниковые воды, как правило, имеют отрицательные значения Е_h, повышенные содержания сульфатов, температура воды всегда не более 5 градусов, общая минерализация несколько повышена и составляет около 1 г/л.

Выявление родников, приуроченных к тектоническим нарушениям, имеет практическое значение. Именно здесь, в зонах повышенной трещиноватости известняков карбона, можно ожидать высокие дебиты скважин, порядка 1 - 5 л/с, или 100 - 500 м³/сут, достаточные для водоснабжения небольших деревень или животноводческих комплексов. Кроме того, надо иметь в виду, что родники, приуроченные к тектоническим зонам, защищены от антропогенного загрязнения в большей степени, чем грунтовые. В населенных пунктах, где степень загрязнения территории бытовыми отходами и фекальными водами высокая, следует использовать родники глубинной разгрузки или бурить скважины на воду. Обычные родники грунтового питания меняют свой химический состав в зависимости от антропогенной нагрузки, и в случае каких-либо аварийных ситуаций использовать эту воду опасно.

Рельеф. Современный рельеф территории, прилегающей к Ивановскому водохранилищу, сформировался в основном в среднем плейстоцене за счет аккумулятивной деятельности ледника и его талых вод. Наиболее крупные генетические типы рельефа - гляциальный и флювиогляциальный. Гляциальный тип выражен конечно-моренными крупнохолмистыми формами рельефа и слабо всхолмленными моренными равнинами в сочетании с долинообразными понижениями, межрядовыми западинами и ложбинами. Флювиогляциальный рельеф представлен

обширными зандровыми и озерно-ледниковыми равнинами, флювиогляциальными террасами рек, озерами и камами.

В долине р. Волги от Твери до Дубны отмечены три надпойменные террасы. Пойма и I терраса распространены по обоим берегам Шошинского плеса и в верховьях водохранилища; а в пределах Ивановского плеса они практически затоплены. Вторая надпойменная терраса развита повсеместно, она цокольная, в цоколе залегают морены. Ширина ее 2 - 8 км, высота цоколя над естественным уровнем р. Волги 8 - 10 м, мощность аллювия 4 - 6 м. От водораздела и третьей надпойменной террасы она отделяется уступом высотой 1 - 2 м. Поверхность террасы плоская, местами донная, грунтовые воды (ГВ) залегают на глубинах 1.0 - 10.0 м и практически не используются населением (Ахметьева, 1991).

Третья надпойменная цокольная терраса имеет широкое распространение, ширина ее достигает 3-х км, высота цоколя над естественным уровнем р. Волги 18 - 20 м, мощность аллювия около 4 м. От коренного берега она отделяется уступом высотой 1 - 3 м.

Четвертичные отложения распространены повсеместно.

Среди них преобладают ледниковые, водноледниковые и аллювиальные, менее распространены озерные и болотные. Территория испытала воздействие трех оледенений – окского, днепровского и московского (Оценка, 1978). Наиболее часто встречается тип строения четвертичных отложений, представленный двумя горизонтами моренных суглинков (московского и днепровского возраста), между которыми залегают днепровско-московские флювиогляциальные пески.

Геологический разрез Верхневолжской зандровой низины характеризуется широким развитием московских флювиогляциальных песчаных отложений, залегающих на плотных московских моренных суглинках. Глубокие погребенные долины выполнены ледниковыми и флювиогляциальными отложениями, водоупор из юрских отложений в древних переуглубленных долинах обычно отсутствует (Голодковская, 1988).

Строение четвертичной толщи обусловлено рельефом подошвы. Если это участок древнего водораздела, то мощность четвертичных отложений небольшая и строение простое; если это древние погребенные долины - строение сложнее. Иногда в местах древних погребенных долин и конечно-моренных гряд мощность четвертичных отложений достигает 100 – 150 м, а в среднем до 50 - 70 м. В нижней части разреза древних долин, как правило, залегают окско-днепровские флювиогляциальные и аллювиальные отложения.

На рис. 1.2 представлен схематический геолого-гидрогеологический разрез по линии 1-1 (Гидрогеологические, 1967 – 1985; Ахметьева, 1991). На разрезе видно, что аллювиальные отложения первой террасы целиком затоплены водами водохранилища. Четвертичные отложения залегают на размытой поверхности пород верхнего карбона и юры.

Геологическая карта распространения четвертичных отложений в районе работ представлена на рис. 1.3. Карта составлена по материалам съемок масштаба 1: 200 000 Н. Г. Бородина (Пояснительная, 1976), Н. Н. Пронина и Г. П. Корнеевой масштаба 1: 1 000 000 (Пронин, 1987). Также использованы карты четвертичных отложений Тверской области масштаба 1: 500 000, составители З.И. Григорьева, О. Н. Лаврович, Л. И. Левченко (Геология, 2000).

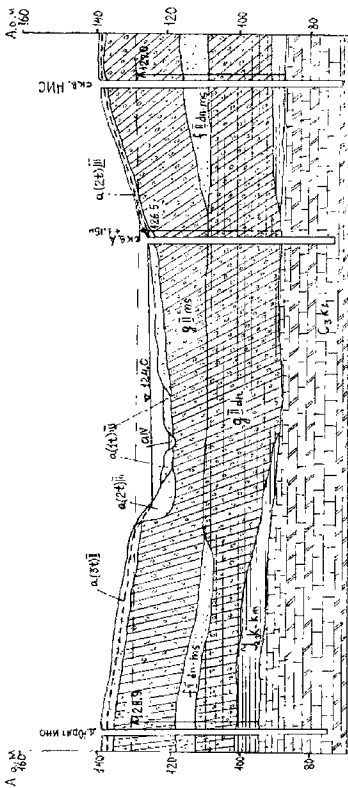
Рассмотрим четвертичные отложения в стратиграфической последовательности.

Современные отложения

Болотные отложения hIV

Современные болотные отложения широко распространены в западной и северной частях региона, на плоских междуречных пространствах и на пологих склонах речных долин. В их разрезе, кроме торфа, встречаются глины, пески, иловатые суглинки.

Мощность болотных отложений 2 - 5 м, максимальная мощность (у Коровинского залива) до 10 м. Встречаются низинные, верховые и переходные болота, преобладают верховые.



Условные обозначения

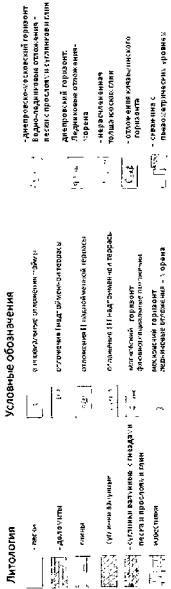


Рис.1.2. Схематический геолого-гидрогеологический разрез по линии 1-1

Аллювиальные отложения поймы и комплекс водноледниковых озерных отложений верхнечетвертичного возраста а III - IV

Пойма в зоне распространения подпора Иваньковского водохранилища затоплена полностью. Пойменный аллювий прослеживается вдоль всех притоков р. Волги выше зоны распространения подпора водохранилища. Отложения представлены чаще всего суглинками и глинами сероватыми или буровато - коричневыми, иногда встречаются торфяные прослойки. Суглиники чередуются с м/з песками, а иногда смеяются ими по простиранию. Мощность этой пачки составляет 2-3 м. Ниже по разрезу преобладают пески, от м/з до к/з, крупность зерна возрастает вниз по разрезу, попадаются гравелистые и галечные включения. Пойменный аллювий подстилается различными ледниковыми отложениями. Мощность современных аллювиальных отложений изменяется в широком диапазоне от 2 - 5 м в оврагах до 7 - 12 м в среднем и нижнем течении крупных рек.

Верхнечетвертичные отложения

Аллювиальные отложения первой надпойменной террасы а (1t) III

Распространены в западной части территории (Шошинский и Волжский плесы), где частично затоплены и имеют ширину до двух км. Залегают на моренных отложениях днепровского или московского оледенений. В районе Иваньковского плеса поверхность затоплена водами водохранилища. Отложения представлены песками желтыми, коричневыми или серыми, р/з кварцевыми, часто в верхней части среди песков встречаются тонкие прослои и лиизы суглинков желтовато - коричневого опесчаненных. Мощность аллювия первой надпойменной террасы 12 - 13 м.

Аллювиальные отложения второй надпойменной террасы а (2t) II

Отложения прослеживаются на всем протяжении р. Волги. Ширина террасы 2 - 8 км, высота над естественным уровнем реки 12 - 16 м. Терраса цокольная, высота цоколя 8-10 м, мощность аллювия 4 - 6 м. В цоколе, как правило, залегают морена московского оледенения, реже межморенные днепровско-московские флювиогляциальные отложения. Поверхность террасы иногда

осложнена дюнами, местами заболочена. Аллювий представлен почти исключительно песками. Пески серые, буровато-серые и желтые, м/з и с/з, кварцево-полевошпатовые, встречаются прослойки к/з песков и гравия. Иногда в песках, особенно в нижней части, встречаются галька и валуны.

Среднечетвертичные отложения

Аллювиальные отложения третьей надпойменной террасы а(3т) II

Отложения имеют широкое распространение, представлены песками с гравием и галькой, мощностью до 4-х м, в среднем 1 - 2 м. Залегают на цоколе террасы, представленной суглинками.

Нерасчлененный комплекс водно-ледниковых, аллювиальных и озерных отложений f,a,I II

Комплекс имеет незначительное распространение, встречен фрагментарно на севере и юге района. Представлен песками, супесями и суглинками, общей мощностью до 15 м.

Нижнесреднечетвертичные отложения

Московский горизонт

Водноледниковые отложения f IIms времени отступления московского ледника, распространены на значительной части территории. Залегают на размывтой поверхности морены московского оледенения, но отсутствуют в пределах конечно - моренных гряд. Отложения представлены песками желтыми, серыми или коричнево - бурыми, различной крупности, но чаще мелкими, слабглинистыми. В песке встречается гравий и галька различных пород. Мощность песков 1 - 2 м, иногда 3 - 4 м.

Ледниковые отложения g II ms. Распространены повсеместно, за исключением речных долин, где они размывты. Представлены суглинками буровато-коричневыми (в верхней части разреза красновато - бурыми) грубо песчаными, с галькой и валунами гранита, кварцита, сланцев, известняка, реже кремня. В морене часто встречаются линзы и прослойки песка мощностью 1 - 2 м и валунно-галечных отложений мощностью до 7 м. Также встречаются линзы шоколадно-коричневых озерно-ледниковых ленточных глин. Общая мощность московской

морены 15 - 40 м, редко 60 м.

Днепровско-московский горизонт

Водноледниковые, аллювиальные и озерно-болотные отложения

f Пdn-ms. Распространены почти на всей территории, за исключением возвышенностей дочетвертичного рельефа. Залегают на днепровской морене, редко - на окско-днепровских и дочетвертичных породах. Иногда вскрыты в бортах речных долин. Представлены песками светло-серыми и серовато-желтыми, преимущественно кварцевыми, разнозернистыми. Реже встречаются линзы супесей и суглинков. Мощность 2 - 12 м, максимальная 27 м.

Днепровский горизонт

Ледниковые отложения g II dn. Распространены почти повсеместно. Залегают на дочетвертичных породах, или на окско-днепровских отложениях. Вскрываются в некоторых речных долинах. Отложения представлены суглинками коричневыми и темно-коричневыми, плотными, грубо песчаными, содержащими в большом количестве гальку и валуны известняка (до 60-70%), кварца, гранита, кристаллических сланцев и др. пород. Часто встречаются прослойки и линзы песчано-гравийных отложений. Мощность морены изменяется в зависимости от дочетвертичного рельефа от 3 до 10 м в приводораздельных частях до 40 - 60 м в долинах.

Окско-днепровский горизонт

Водноледниковые, аллювиальные и озерно-болотные отложения

f I ok-dn. Сохранились в некоторых дочетвертичных долинах, залегают на дочетвертичных породах, иногда на окской морене. Представлены песками светло-серыми, серовато-желтыми, преимущественно кварцевыми, р/з с большим количеством гравия. Иногда встречаются прослойки зеленовато-серых и серых тонкопесчаных слюдястых глин и суглинков. Мощность от 1 - 2 м до 38 м, в среднем 5 - 15 м.

Нижнечетвертичные отложения.

Окский горизонт

Водноледниковые f I ok.

Это наиболее древние отложения, которые залегают на дочетвертичных породах под окской мореной. Представлены песками желтыми, кварцево-полевошпатовыми, м/з и т/з, в основании с/з, с крупными зернами кварца, рыхлыми. Встречены на склонах дочетвертичных долин, мощность отложений 6 - 8 м.

Ледниковые отложения g Iok.

Сохранились только в наиболее глубоких частях дочетвертичных долины, представлены сугликами зеленовато - бурыми и буровато - серыми, с многочисленными включениями гальки и валунов гранита, сиенита, кристаллических сланцев, реже встречаются известняки и отторженцы юрских и пермских глин мощностью до 0.5 м. Мощность морены 2-26 м.

1.2. 2. Гидрогеологические условия

Исследование гидрогеологических условий описываемого района для проектирования канала начато в 1932 г. В. Г. Хименковым. В 1932 - 1934 годах в долине Волги работали Г.Ф. Мирчинк и Д. В. Соколов, которые выделили две надпойменные террасы. Изучение непосредственно вод четвертичных отложений описываемой территории продолжила Л. И. Березкина, составившая в 1936 году карту водоносных горизонтов Тверской губернии. Исследование всего комплекса подземных вод зоны активного водообмена досконально развернулось в 30-ых годах, когда молодая страна приступила к проектированию и строительству канала Москва - Волга. В работах П. М. Кузина (1933), А. В. Иванова (1934,1935), Ф. Л. Маин (1934,1935), Е.В.Шандера (1938) содержится большой фактический материал, в том числе описания многочисленных буровых скважин, пройденных в долине р. Волги. В этот период Д. В. Соколовым составлен Каталог буровых скважин на артезианскую питьевую воду (1940). В период с 1952 по 1982 год территория Тверской области покрыта геолого - гидрогеологической съемкой масштаба 1: 200 000 (Гладков, 2000; Доклад, 2002). В 1960 году Московской гидрогеологической режимной партией организуются работы по изучению режима подземных вод

на территории Московской и смежной с ней Тверской области. Сведения о режиме подземных вод помещались в Гидрогеологических ежегодниках и отчетах режимной партии (Отчет, 1992). В 1962 - 1963 годах на большей части территории Клинской гидрогеологической партией проведена комплексная гидрогеологическая и геологическая съемка масштаба 1 : 200000 под руководством О. Н. Лаврович. В тот же период (1963 - 1964) северо-западная часть описываемой территории обследуется Конаковской геолого-гидрогеологической партией под руководством П. А. Дворцова.

В 1962 году Б. И. Куделин составил карты подземного стока для южного крыла Московской синеклизы. Описываемая территория согласно этим картам входит в район дренирования реками вод флювиогляциальных отложений со среднегодовым модулем подземного стока 1.5 – 2.0 л/с с км² и среднегодовым слоем стока 50 - 60 мм, где подземный сток в реки составляет 20 - 30% от общего стока рек (Подземный, 1966).

В дальнейшем вопросами взаимосвязи поверхностных и грунтовых вод занимался А. И. Гавеман (1953 - 1964), проблемам подтопления береговой зоны водохранилища уделяли внимание А. Г. Емельянов (1968-1975 г.г.), Н. П.Ахметьева и Ю. А.Медовар (1983). В 1964-1965 С. А. Киселевым и В. А. Бовенко выполнена комплексная гидрогеологическая съемка территории Калининского района масштаба 1: 50000, в результате которой составлен каталог обнаруженных источников.

В 1973 - 1979 годах проведено широкомасштабное исследование Верхне-Волжского региона на предмет загрязнения тяжелыми металлами поверхностных и подземных вод, используемых для питьевых целей, с применением комплекса ядерно-физических методов элементного и изотопного анализа. Эти исследования в пресных водах Московского артезианского бассейна позволили установить их возраст, скорость движения воды по водоносным горизонтам и долю атмосферных осадков в общем балансе подземных вод (Павлов, 1980).

В середине 70-х годов также выполнена большая работа по изучению

формирования минерального состава вод Ивановского водохранилища, его притоков и питающих подземных вод МосводоканалНИИпроектом, ИВП и Институтом геохимии им. Вернадского (Красинцева, 1977).

В 1978 - 1982 годах комплексные исследования взаимосвязи химического состава в системе поверхностные воды - атмосферные воды – грунтовые воды - напорные воды проведены Г. И. Романовой и А. И. Кадукиным (Баланс, 1980; Ромаиова, 1987). С 1980 года загрязнением ГВ компонентами удобрений в водоохранной зоне Ивановского водохранилища занимались М. В. Лола и Н. П. Ахметьева, которые исследовали пути миграции биогенных веществ – азота, фосфора и калия в окружающей среде (Лола, 1984).

С начала 1989 года работы по изучению режима подземных вод в пределах Тверской области передаются Калининской геологоразведочной партии, которая территориально располагалась в пос. Эммаус Калининского района. Согласно отчетам, режим в нарушенных условиях наблюдается в зоне действия Медновского, Тверецкого, городского водозаборов г.Твери. К основным методам наблюдений за состоянием подземных вод относятся замеры их уровня и температуры, а также гидрохимическое опробование (Отчет, 1992).

На момент передачи объекта по Тверской области режимная сеть насчитывала порядка 50 наблюдательных водопунктов (скважины на грунтовые, артезианские воды, колодцы), затем функции мониторинга администрация области возложила на геологический отдел Министерства охраны природы Твери. В настоящее время работы по ведению мониторинга геологической среды, куда входит и курирование состояния подземной гидросферы, выполняет обособленное структурное подразделение ТЦ «Тверь-Геомониторинг» - ОАО «Геоцентр-Москва» (Гладков, 2000; Государственный, 2013).

С иачала XXI века следует отметить опубликованную в 2001 году работу, выполненную преподавателем Тверского Государственного Технического Университета В. В. Кузовлевым под эгидой Тверского областного отделения

Всероссийского общества охраны природы. В работе подробно описано 16 родников, с определением в каждом наиболее важных компонентов химического состава воды по действовавшему до 1997 года ГОСТу 2874-82 «Вода питьевая», представлены результаты инвентаризации родников Тверской области порайонно, с указанием количества обустроенных и недостаточно обустроенных родников в каждом районе (Балицкая, 2001). В 2010 году выходит монография с участием В. В. Кузовлева, в которой один из разделов посвящен описанию родников северо-западной части Тверской области (Экология, 2010).

Таким образом, юго - восток Тверской области в аспекте исследований общих закономерностей формирования родникового стока и гидрогеологических предпосылок разгрузки подземных вод на данный момент времени остается практически неизученным.

Большую роль в формировании родникового стока играют особенности залегания юрских отложений. Их максимальная мощность достигает 30 м. Местами юрские глины отсутствуют из-за интенсивного размыва и разрушения их ледниками. (например, в разрезе самоизливающейся скважины в д. Плоски, в южной части Озерецко – Лодкинского болота, в пределах Оршинского Мха и др). Часто среди юрских отложений обнаруживаются гидрогеологические «окна», по которым воды карбона поступают в четвертичные отложения.

Водоносный горизонт в известняках и реже доломитах карбона распространён повсеместно под четвертичными и юрскими отложениями. Это напорные пластово-трещинные воды Московского артезианского бассейна. На протяжении Волги от Твери до выхода из Шошинского плеса первым дочетвертичным водоносным горизонтом является касимовский, далее к востоку - клязьминский (Ковалевский, 2001). Касимовский водоносный горизонт C_3k_{sm} приурочен к отложениям хамовичского и дорогомилковского горизонтов касимовского яруса верхнего карбона C_3k , представлен переслаиванием доломитов, известняков с мергелями и глинами. Мощность отложений колеблется в пределах 5 - 80 м, величина напора над кровлей 4 - 75

м (Ахметьева, 2008).

Глубина залегания клязьминского водоносного горизонта $C_3 k1$ колеблется в пределах 30 - 70 м, горизонт приурочен к отложениям клязьминского горизонта гжельского яруса верхнего карбона C_3g . Ногинский водоносный горизонт C_3ng тянется узкой полосой от д. Перетрусово на север. Отложения представлены известняками и доломитами, в различной степени окремненными, участками трещиноватыми, с прослоями мергелисто - глинистых образований. Мощность горизонта обусловлена зоной развития трещиноватости, нижняя граница которой не превышает 100 - 120 м от поверхности земли. Региональным водоупором служат глины шелковской толщи.

Величина напора составляет 20 - 60 м, мощность горизонта – от 5 до 50 м (Ахметьева, 1991). Пьезометрический уровень устанавливается на абсолютных отметках около 130 м в верховье водохранилища; 125.5 - 127.0 м – в районе д. Плоски и 121 м - в низовье. Таким образом, в прибрежной части водохранилища до устья р. Сось уровни устанавливаются выше НПУ (124.0 м), и напорные воды питают водохранилище, а далее статические уровни превышают уровень водохранилища лишь в зимний период.

Подземные воды четвертичных отложений

Поскольку происхождение родников в описываемом районе связано не только с водоносными известняками карбона, но и с водовмещающими породами четвертичных отложений, остановимся на комплексе ГВ более подробно.

В современных речных долинах разрез обычно начинается со слоя аллювиальных песков с близким залеганием ГВ, иногда не более 0.1 м в летнюю межень (родниковый колодец в д. Долинки). Более глубокое залегание уровня наблюдается на отдельных участках высоких надпойменных террас в долине р. Дойбицы и Волги. Под аллювиальными песками залегает маломощный слой флювиогляциальных песков, подстилаемых моренными московскими суглинками. Изредка суглинки подстилают непосредственно

аллювиальные пески.

В целом на изученной территории глубина залегания зеркала ГВ в западинах и заболоченных поймах меняется в пределах 0.3 - 1.5 м, на высоких террасах и водоразделах достигает 17 - 18 м. Преобладающая глубина УГВ составляет 3 - 5 м.

Формирование вод четвертичных отложений связано с постоянным, достаточно интенсивным водообменом их с поверхностными водами. Основным источником питания являются атмосферные осадки (АО). Питание является очень важной гидрогеологической характеристикой, определяющей возможность проникновения загрязнителя с поверхности земли в ГВ. Наличие на территории больших массивов водопроницаемых и полупроницаемых почвогрунтов в сочетании с замкнутыми котловинами, слабой дренированностью и избытком влаги приводит к значительному поглощению осадков. По указанным причинам фактические размеры питания ГВ в районе работ больше, чем полученные расчетным путем. Располагая данными режимных наблюдений за УГВ скважин, вскрывающих ГВ при различной зоне аэрации, можно посчитать годовое питание ГВ ($W_{инф}$) при суглинистой, песчаной, супесчаной и торфяной зоне аэрации. При расчетах используется известная формула Н.Н. Биндемана (Ковалевский, 2001)

$$W_{инф} = \varphi \Delta h_i \cdot \mu \quad (1.1)$$

где Δh_i – это амплитуды подъемов УГВ в разные периоды в течение года (мм), а μ – недостаток насыщения каждой из разновидностей пород в зоне аэрации. При расчетах величины питания мы принимали μ для песков среднезернистых 0.15 - 0.2; для песков тонкозернистых и супесей – 0.15 - 0.1; для суглинков – 0.08 - 0.1; для торфа – 0.05 - 0.08 (Справочник, 1968; Буряков, 1978). Наблюдения за УГВ в 1980 - 1988 показали, что питание зависит от температурных и влажностных условий года и колеблется в пределах 160 - 400 мм, что не противоречит полученным позже данным (Ахметьева, 1991).

В таблице 1.2 представлены фактические величины годового инфильтрационного питания, рассчитанные по режимным данным, для зоны

аэрации разного литологического состава в период 1997 – 1999.

Расчет годового питания упрощенным методом по количеству суммы осадков в холодный период года (Чубаров, 1991) для 1997, 1998 и 1999 годов составляет 98, 106 и 130 мм соответственно, что не противоречит расчетам по формуле (1.1). Полученные величины, конечно, будут варьировать год от года в зависимости от количества осадков, температуры, сложности строения зоны аэрации. При расчетах можно принимать следующие средние величины питания: для аллювиальных песков 100 - 120, для супесей 80 - 90, для суглинков – 30 - 50 и для торфа порядка 20 мм в год.

Таблица 1.2

Фактическое инфильтрационное питание (мм в год) грунтовых вод (террасовый режим) при зоне аэрации разного сложения за период 1997-1999

| 1997 год / 750 мм * | 1998 год/ 620 мм | 1999 год/ 470 мм |
|--|------------------|------------------|
| Зона аэрации сложена аллювиальными песками | | |
| 150- 200 | 120-180 | 80-90 |
| Зона аэрации сложена супесчаными отложениями | | |
| 80-100 | 70-95 | 65-80 |
| Зона аэрации сложена суглинками | | |
| 68 | 53 | 44 |
| Зона аэрации представлена торфом | | |
| 36 | 22 | 18 |

*В графе первая цифра – год замеров УГВ, через косую черту – годовые осадки.

Воды четвертичных отложений в зоне активного водообмена имеют минерализацию в среднем 0.1 - 0.5 г/дм³. В местах разгрузки загипсованных вод карбона и высоких антропогенных нагрузок она достигает 1.5 г/ дм³. По химическому составу воды в основном гидрокарбонатно-кальциевого или гидрокарбонатного кальциево - магниевое типа (при типизации воды учитываются компоненты в количестве 10 % - экв и более, преобладающий ион пишется первым; основными считаются ионы с содержанием от 25 %-экв).

Воды приурочены к разнообразным по генезису и литологическому составу породам. Это безнапорные грунтовые (БнГВ) и межпластовые напорные воды (субнапорные СнГВ), для которых характерны небольшие запасы и небольшая глубина залегания (Олли, 1978).

На основе изучения гидрогеологических карт и карт четвертичных отложений различных авторов (П. А. Дворцов, 1967; Е. И. Авдошин, И. А. Дончев, И. А. Пантелеев, 1974; Н. Г. Бородин, Г. Д. Родионова, 1976; Гладков, 1985) в отложениях четвертичного возраста изученной территории нами выделены следующие водоносные горизонты, для которых характерна родниковая разгрузка.

Современный аллювиальный водоносный горизонт а IV.

Горизонт распространен в пределах пойменных террас рек Волги, Орши, Сози и их притоков, широко распространен к западу от Шошинского плеса, по Шоше и Ламе. В долине Волги к востоку от п. Ново-Мелково горизонт затоплен водами водохранилища. Водовмещающие породы представлены супесями, м/з песками с единичными гравийными зернами и мелкой галькой, плохо сортированными, с прослоями и линзами супесей, суглинков и торфа. Мощность горизонта в долине Волги достигает 8.0 - 10.0 м, по малым рекам и оврагам 2.0 - 5.0 м.

У горизонта нет выдержанных водоупоров, на большей площади распространения он подстилается валунными суглинками московской морены, в около Городни и Судиминок – отложениями днепровской морены.

В террасированных долинах рек Орши и Сози в подошве горизонта залегают аллювиальные пески I надпойменной террасы, с водами которой водоносный горизонт образует единый комплекс. Дебит скважин, вскрывших водоносный горизонт в долине Волги, составил 0.21 и 0.27 л/с (соответствующие понижения 1.95 и 2.81 м). Дебиты колодцев по правому берегу Волги, вскрывающих водоносный горизонт, достигают 0.1 л/с. Коэффициент фильтрации варьирует от 0.8 до 3.5, в среднем 1.0 м/сут. Глубина залегания воды от 0.5 до 1.5, в засушливый период до 3.5 м.

Питание осуществляется за счет инфильтрации АО и притока поверхностных вод во время половодья или паводков, когда уровень воды в поверхностных водотоках располагается гипсометрически выше УГВ. Водоупорный горизонт обычно не имеет, кроме случаев вод, залегающих в аллювиальных отложениях мелких рек и ручьев. Долины этих водотоков, как правило, лежат в московской морене, которую можно рассматривать как относительный водоупор.

На больших реках горизонт гидравлически связан с водоносными горизонтами аллювиальных надпойменных террас.

В долине Волги, сток которой зарегулирован Ивановской плотной, уровень режим водоносного горизонта относительно постоянен, а в долинах притоков сезонные колебания составляют 2 - 4 м. Разгрузка происходит за счет дренирования реками. Уклон зеркала направлен к руслу и вниз по долине.

По химическому составу воды пресные, гидрокарбонатно - кальциевого и гидрокарбонатно - кальциево - магниевые состава, с минерализацией 0.2 - 0.6 г/л и общей жесткостью 4.6 - 9 ммоль/л. Водоносный горизонт практически не используется для водоснабжения.

Верхнечетвертичный аллювиальный водоносный горизонт а III.

Горизонт широко распространен в долине Волги и приурочен к I и II надпойменным террасам. Он прослеживается в виде вытянутых вдоль русла полос шириной до 5 км. К востоку от д. Горки в долине горизонт затоплен водами Ивановского водохранилища. В долинах Орши и Соши он имеется только в крупных излучинах, на правобережье Волги распространен на отдельных участках аллювиальных террас в г. Конаково и ниже по течению.

Водовмещающие породы представлены аллювиальными песками, в основном м/з и с/з, в основании с гравийно - галечным слоем мощностью до 1.5 м, в кровле часто с линзами суглинков. В южной части района, в междуречье Волги и Шоши - озерными и озерно - ледниковыми песками, м/з и с/з, с редкими прослоями суглинков и глин.

В верхней части коэффициент фильтрации небольшой, варьирует в

пределах 0.1 – 1.5 м/сут, для нижней части разреза, выполненной гравийно-галечными породами, он достигает 30 м/сут, преобладает K_f 0.5 – 5 м/сут.

Максимальная мощность горизонта составляет 12 – 15 м, она встречена в пределах I надпойменной террасы, средняя мощность горизонта – 6 – 10 м. В основной части распространения водоносный горизонт залегает первым от поверхности, в прирусловых частях долины – под современным аллювиальным водоносным горизонтом, с которым имеет тесную гидравлическую связь.

На междуречье Волги и Шоши, где находится обширный Озерецко-Лодкинский болотный массив, и на левобережье Волги горизонт перекрыт обводненными торфяниками. Так как у торфа очень низкая водоотдача, взаимосвязь между водоносным горизонтом аIII и водами торфяника либо отсутствует, либо очень слабая. Нижним водупором являются моренные суглики, а близ деревень Мелково, Семеновское, в долинах рек Орши и Сози водоносный горизонт подстилается межморенными песчаными отложениями днепровско - московского возраста, то есть здесь происходит гидравлическая связь двух водоносных горизонтов, которые на остальной территории разделены водупорным слоем.

Водоносный горизонт вскрыт многочисленными колодцами, глубина залегания составляет 1.0 – 5.0 м, в основном это 2 - 3 м. Максимальные УГВ приурочены к бровкам террас, участкам береговых валов и дюнных всхолмлений. Водообильность не равномерная, удельные дебиты составляют 0.01 – 1.4, в среднем 0.2 – 1.0 л/с. Питание горизонт получает за счет АО, паводковых вод, благодаря дренированию московско-днепровского водоносного горизонта.

Разгружается в реки, а также путем перетекания в современный аллювиальный водоносный горизонт. Местами менее водопроницаемые пойменные отложения создают подобие небольших барражей, способствуя образованию на контакте двух водоносных горизонтов родников переливающегося типа. Такие родники в 60-х годах прошлого века описаны в отчете П. А. Дворцова в долине п. Ново-Мелково; дебит их составлял 0.1 л/с. В

ходе маршрутных обследований берегов Волги авторами эти родники не выявлены.

Основное движение горизонта происходит в направлении русловых частей речных долин. Неровная поверхность нижнего водоупора обуславливает различия приречного режима водоносного горизонта. Если река подмывает первую аккумулятивную террасу, воды горизонта имеют тесную гидравлическую связь с рекой, а на участках подмывания рекой второй цокольной террасы такая связь отсутствует, и в этом случае по кровле водоупора часто наблюдается пластовая разгрузка. Хорошо выраженный пластовый выход водоносного горизонта наблюдается между п. Карачарово и г. Конаково, где цокольная II надпойменная терраса Волги на протяжении почти 3-х км подмывается водохранилищем. Моренный цоколь террасы возвышается над урезом водохранилища на 0.5 – 2.5 м, и в 60-х годах почти вдоль всего берега из аллювиальных песков второй террасы струйками сочилась вода. Подсчитанный тогда общий расход пластового выхода составил 100-120 л/с.

На большей части региона кровля нижнего водоупора располагается ниже уреза воды в реках, и между речными и подземными водами осуществляется тесная гидравлическая связь. Положение УГВ горизонта зависит от режима поверхностного стока. В долине р. Волги колебания УГВ не превышают 1.0 м.

Таким образом, горизонт, за исключением прирусловых и перекрытых торфяниками частей, является первым от поверхности, что в сочетании с тесной гидравлической связью с поверхностными водами при неплохой фильтрационной способности водовмещающих пород увеличивает его уязвимость к загрязнению. По химическому составу воды пресные, чаще всего гидрокарбонатно - кальциево-магниевого состава, с минерализацией 0.1 - 0.6 г/дм³, иногда с высокими содержаниями фосфатов и нитратов (на сельскохозяйственных территориях).

Надмосковский флювиогляциальный водоносный горизонт f II ms.

Представлен водоносными линзами во флювиогляциальных отложениях равнинных и долинных задров. Приурочен к водноледниковым отложениям

московского оледенения. Водовмещающие породы представлены песками м/з и т/з, глинистыми, неоднородными. Мощность горизонта редко превышает 3 м (в бассейне р. Созь 3 м), преобладающая глубина залегания составляет 1.0 - 2.5 м. Коэффициент фильтрации водовмещающих пород изменяется в пределах 0.1 - 5.3, преобладает величина 0.5 - 1.5 м/сут. Маломощные песчаные отложения горизонта прорезаны практически до водоупорного слоя даже самыми мелкими реками, и в меженный период полностью дренированы.

Питание осуществляется за счет инфильтрации АО, разгрузка происходит в реки и эрозионные врезы, что обуславливает направление потока воды к врезам. На всей площади горизонт залегает первым от поверхности, водоупорной кровли у горизонта нет, нижним водоупором повсеместно являются суглинки московской морены. Дебит колодцев 0.02 – 0.11 л/с (при понижениях уровня на 0.6 – 1.2 м). Воды горизонта пресные гидрокарбонатные кальциево - магниевые, с общей минерализацией 0.5 – 0.8 г/л, рН обычно близок к нейтральному. Местами отмечается повышенное содержание в воде нитратов, сульфатов, хлоридов. Для горизонта характерны родники эрозионного типа.

Верхнесреднечетвертичный аллювиально-флювиоглициальный водоносный горизонт (надморенный) а, ф III-IV.

Распространен почти повсеместно, за исключением долины р. Донховки, верховьев рек Сучок, Созь, Орша и Иноха. Водовмещающие породы на водоразделах представлены водо-ледниковыми отложениями времени отступления московского ледника (а, ф III ms). Это пески р/з, слабо глинистые, слоистые, с включениями гальки и гравия различных пород. Мощность горизонта 1.0 – 2.0 м, иногда 3.0 – 4.0 м. K_f изменяются от 0.1 до 1.0 м/сут, дебиты колодцев составляют 0.1 – 0.3 л/с.

В долине р. Волги водовмещающими породами являются аллювиальные отложения первой и второй надпойменных террас, представленные песками м/з и с/з с галькой и гравием. В верхней части разреза иногда встречаются тонкие прослой и линзы суглинков. Мощность водоносного горизонта до 5.0 м,

а в пределах первой террасы - до 12.0 м. K_{ϕ} пород по данным откачек составляет 10 – 16 м/сут, а по лабораторным определениям 0.7 – 5.0 м/сут. Питание воды получают за счет инфильтрации АО, что возможно в пределах всей площади распространения водоносных горизонтов, и перетекания вод из вышележащих горизонтов.

На участках, где пьезометрическая поверхность напорных вод устанавливается выше уровня грунтовых, возможно питание за счет восходящей фильтрации из нижележащих водоносных горизонтов путем перетекания через разделяющий пласт или гидрогеологические «окна». Поглощение поверхностных вод возможно во время половодья или паводков, когда уровень воды в поверхностных водоемах располагается гипсометрически выше УГВ. На большей части территории водоупором служит московская морена. Региональный поток ГВ направлен к Ивановскому водохранилищу, но по пути он дренируется малыми реками. УГВ изменяется от 0 до 10 м, но чаще не более 2.0 – 3.0 м.

Разгружается водоносный горизонт в современную речную сеть и испарением с УГВ на заболоченных низинах. На участках, где УГВ залегает гипсометрически выше пьезометрической поверхности более глубоких подземных вод (центральные части междулучных пространств) за счет перетекания в нижележащие горизонты.

По химическому составу воды гидрокарбонатные кальциево- магниевые, с общей минерализацией 0.1 – 0.5 г/дм³, рН обычно несколько ниже 7.0, воду используют для питья и хозяйственных целей.

Водоносный горизонт спорадического распространения в московской морене g Пms.

Распространен почти повсеместно в разрезе валунных суглинков московской морены практически без каких-либо закономерностей в разрезе и по площади. Воды приурочены к трещинам и порам самих суглинков, а также к изолированным линзам песков, супесей и галечников, мощность отдельных обводненных участков варьирует от долей метра до 2.0-3.0 м. Глубина

залегания УГВ от 5.0 до 15.0 м, K_{ϕ} водовмещающих пород варьирует от 0.1 до 3.0 м/сут.

Преобладающая глубина залегания водоносных линз, широко используемых для водоснабжения, составляет 6 – 15 м. Воды линз имеют в основном слабый напор.

По словам местных жителей, в большей части колодцев уровень устанавливался на несколько метров выше кровли песчаного прослоя. Глубина установившегося уровня составляет от 0.1 м до 26.0 м.

Питание осуществляется за счет АО и перетекания из вышележащего водоносного горизонта. Обеспеченность питания часто недостаточна, что приводит к медленному восстановлению уровня после полной откачки колодца. Колебания уровня находятся в пределах 3 – 4 м.

Разгрузка происходит в эрозонных врезках, где образующиеся мочажины дают начало небольшим водотокам с расходом до 0.5 л/с. Значительная доля потока разгружается искусственно колодцами, частично – в области расположения конечно – моренных гряд, а также воды фильтруются в московско-днепровский водоносный горизонт.

Воды пресные, гидрокарбонатные кальциевые и гидрокарбонатно-магниевые-кальциевые, с минерализацией 0.4 – 1.0 г/дм³, общая жесткость воды родников иногда высокая (до 12 – 14 ммоль/ дм³).

Московско-днепровский аллювиально-флювиогляциальный водоносный горизонт (межморенный) а, f II dn–ms.

Распространен почти повсеместно, за исключением западной части района. Приурочен к песчано-гравийным отложениям, залегающим между московской и днепровской моренами на глубине 25 – 40 м.

Водовмещающие породы представлены песками м/з и с/з, с включением гравия и мелкой гальки, местами с линзами супесей и суглинков. Мощность горизонта не превышает 20 м, преобладает 6 – 10 м. K_{ϕ} изменяются от 1.5 до 5.0 м/сут. Питание осуществляется за счет притока вод из московской морены, фильтрующихся через песчаные «окна».

На отдельных участках, где имеет место обратное соотношение напоров, может иметь место подток из окско-днепровского водоносного горизонта. Нередко в разрезе присутствует только морена мощностью до 90 м. Такие участки вскрыты скважинами в г. Конаково, Городище и Плоски.

На междуречье Волги и Шоши, где мощности днепровского и юрского водоупоров сокращаются до нескольких метров, не исключена возможность интенсивного питания родников водами верхнего карбона. Горизонт перекрыт суглинками московской морены и подстилается суглинками днепровской морены. Днепровские суглинки считают практически водоупорными из-за значительной мощности (до 10.0 м) и низких K_f .

Величина напора колеблется от 3.0 до 25.0 м. В долине реки Волга, местами – Сози и Орши, на участках развития пойм и I надпойменной террасы московская морена часто размыва, и водоносный горизонт тесно связан с аллювиальными водами. Здесь он дренируется аллювиальным горизонтом и лишь в паводки иногда получает питание.

Выходы родников наблюдаются в долине р. Волги, в эрозионных уступах II надпойменной террасы близ д. Горохово и Городня на небольших по протяжению участках.

Глубина залегания кровли составляет от нескольких метров до 40 м, преобладающая глубина залегания 10 – 15 м, кровля не ровная.

Пьезометрические уровни горизонта устанавливаются на глубине 1.5 – 5.0 м от поверхности.

В долинах рек и ручьев при отсутствии тесной гидравлической связи горизонта с поверхностными и аллювиальными водами может происходить самоизлив в виде маленьких грифончиков. На дневную поверхность горизонт выходит у Горохово и Городни, его кровля и подошва залегают выше современного уровня воды в реке, и воды водоносного горизонта здесь безнапорные.

У д. Горохово в уступе II надпойменной террасы по кровле днепровского водоупорного слоя на высоте 6 - 7 м над урезом Волги имеется пластовый

выход воды. Выход тянется на 100 м, фиксируется по смене травостоя на влаголюбивую растительность. Ориентировочный расход выхода составляет 10 - 15 л/с.

В долинах Волги и ее притоков Созь, Орша, Донховка, Инюха имеются сосредоточенные родники, приуроченные к участкам напорной разгрузки восходящих вод через маломощную московскую морену, с дебитами порядка 0.2 л/с.

В целом разгрузка происходит в древние речные долины, в Волгу, за счет перетекания в выше и ниже залегающие горизонты. Поток подземных вод движется к Иваньковскому водохранилищу, уклон пьезометрической поверхности составляет около 0.0003.

Дебиты обследованных родников не превышают 0.11 л/с, преобладает дебит 0.02 л/с. Воды горизонта пресные, $\text{HCO}_3 \text{ Ca} - \text{Mg}$ состава, с общей минерализацией 0.2 – 0.9 г/л, колебания общей жесткости составляют 1.8 – 9.0 ммоль/л.

В некоторых пробах воды из родниковых колодцев минерализация достигала 1.2 г/л, величина общей жесткости – до 19.4 ммоль/л.

Днепровско-окский флювиогляциальный водоносный горизонт (подморенный) f II ди- ок.

Горизонт имеет локальное линзовидное распространение в северной и юго-восточной части района работ, приурочен к понижениям дочетвертичного рельефа. Вскрыт скважинами в районе Шуклово.

Водовмещающие породы представлены песками р/з с включением гравия, глин и суглинков. Мощность горизонта изменяется от 1.0 - 2.0 до 38.0 м, в среднем 5.0 - 15.0 м. K_f изменяются от 0.2 до 13.0 м/сут.

Верхний разделяющий слой представлен моренными отложениями днепровского оледенения, а нижний - оксфорд - келловейскими юрскими глинами или моренными отложениями окского оледенения, реже известняками верхнего карбона.

Воды горизонта почти всюду обладают напором высотой в среднем 25 м.

Удельные дебиты находятся в пределах 0.02-3.4 л/с, при понижениях 5-21 м.

Питание водоносного горизонта происходит за счет перетекания из выше и ниже расположенных горизонтов через гидрогеологические окна.

Разгрузка горизонта осуществляется в древние дочетвертичные долины. Поток подземных вод движется к Ивановскому водохранилищу. Воды пресные гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава, с общей минерализацией до 0.6 г/л.

В таблице 1.3 представлено сводное краткое описание водоносных горизонтов рыхлых отложений с указанием дебитов родников, приуроченных к этим отложениям (с привлечением данных Гидрогеология, 1976).

Таблица 1.3

Краткое описание водоносных горизонтов рыхлых отложений с указанием дебитов родников (Гидрогеология, 1976)

| Индекс | Описание отложений | H*, м | Дебит, (л/сек)/общая жесткость (ммоль/дм ³) | Местоположение |
|----------------|--|--------------------------|---|---|
| hIV | Современные болотные и озерные отложения. Торф, илы, пески м/з и т/з | 1.0 - 9.0/ 1.0 - 4.0 | 0.1 - 0.5 / 0.4 - 1.0 | Повсеместно в поймах современных водотоков |
| aIV | Пески р/з с гравием и галькой, прослой глины, суглинков и супесей | 0 - 3.0/ - | 0.01 - 0.1/ 1.2 - 9.4 | Повсеместно на площадях развития болот и озер |
| a (1т+ 2т) III | Отложения I и II надпойменных террас. Пески от м/з до т/з с прослоями супесей, суглинков, глины с галькой и гравием | 0 - 10.0/ 1.0 - 3.0 | 0.01 - 0.2 / 0.38 - 18.0 | По лево- и правобережью Волги и ее крупных притоков |
| a (3т) II | Отложения III надпойменной террасы. Пески м/з и т/з с прослоями супесей, суглинков, глины с галькой и гравием | 0.5 - 2.0/ 3.0 - 5.0 | 0.001 - 0.01/ 1.1 - 15.0 | На право- и левобережье Водохранилища у Федоровского залива |
| f, a, I II | Комплекс ледниковых, аллювиальных и озерных отложений. Пески р/з с гравием и галькой, прослой супесей, суглинков и глины | 0 - 20.0 / 1.0 - 5.0 | 0.1 - 1.0 / 0.2 - 10.3 | В бассейнах рек Волга, Шоша, Тверца |
| f II ms | Флювиогляциальные пески р/з с гравием и галькой; озерно-ледниковые – пески т/з и м/з, переслаивающиеся с глиной | 0.2 - 24.0/ 3.0 - 7.0 | 0.1 - 1.0 / 1.8 - 14.1 | Лево- и правобережье водохранилища, бассейны рек Тверца и Волга |

| | | | | |
|-----------|--|---------------------------|----------------------------|--|
| g II ms | Валунные суглинки с линзами и гнездами песков и супесей основной морены; песчано-гравийные отложения конечной морены | 1.0 - 50.0/ 5.0 - 15.0 | 0.01 - 0.1/ 2.5 - 12.0 | Повсеместно на всей водосборной площади Иваньковского водохранилища |
| fII dn-ms | Флювиогляциальные пески р/з с гравием и галькой; озерно-ледниковые – пески т/з и м/з, переслаивающиеся с глиной | 1.0 - 83.0/ 5.0 - 25.0 | 0.1 - 1.0 / 1.2 - 12.0 | Распространен повсеместно, перекрыт вышележащими породами |
| gII dn | Валунные суглинки с линзами и гнездами песков | 1.0 - 40.0/ 5.0 - 10.0 | 0.01 - 0.3 / 0.7 - 29.0 | Распространен повсеместно, перекрыт вышележащими породами |

Примечание: *глубина залегания кровли.

В числителе диапазон минимальный – максимальный, в знаменателе – наиболее часто встречающийся.

Анализ результатов площадной гидрогеохимической съемки показал, что в исследуемом регионе преобладают воды пресные гидрокарбонатные кальциево - магниевые, с минерализацией 0.3 - 0.8 г/л. Менее распространены гидрокарбонатные кальциево - натриевые. Вблизи очагов локального загрязнения встречены воды гидрокарбонатно - хлоридные кальциево - натриевые и гидрокарбонатно - сульфатные кальциево-магниевые.

1.3. Общая характеристика изученных родников

Описываемая территория захватывает водосборную площадь Иваньковского водохранилища (от Твери до Дубны).

На рис. 1.4 представлена карта фактического материала, выполненная на основе маршрутных обследований авторов. На карте значками показано расположение родников в долине Волги и ее притоков от Твери до Дубны; номера родников, вынесенные на карту, указаны в Приложении 1, где дано местоположение родника и даны его географические координаты.

Режимные наблюдения с частотой один раз в декаду – два раза в месяц (гидрохимические характеристики воды, дебит и температура) велись за опорными родниками, наблюдения за остальными родниками проводили один-

два раза в сезон либо эпизодически (только несколько раз за последнее десятилетие).

Большинство изученных родников и родниковых колодцев выявлено в ходе маршрутных обследований долины Волги, во время экспедиционных выездов и при опросе местных жителей. Можно отметить, что в естественном виде остались те источники, которые располагаются вдали от населенных мест.

В основном используемые ключи каптированы бетонными кольцами либо трубами (желобами) для стока, имеют вид колодцев, оборудованных деревянными дощками, от родника проведена водоотводная канавка.

Часть родников разгружается непосредственно в колодцы (пьезометрический уровень не достигает поверхности земли), и хозяева гордо сообщают, что у них «ключи», поэтому уровень воды в колодце не меняется.

Родники встречаются в бортах надпойменных террас, тыловых швах, в мочажинах и западных рельефа, прирусловых валах поймы. В долине р. Волги выход родников приурочен главным образом к освоенным II и III цокольным террасам. Эти террасы возвышаются над современным уровнем водохранилища на 10 - 15 м.

Террасы сложены сверху аллювиальными отложениями, мощностью около 4-х м, представленными песками с редкой галькой. Пески залегают на моренных суглинках. От коренного берега террасы отделяются уступом высотой 1 - 3 м, они развиты в верхней и средней части водохранилища.

В настоящее время сводной классификации родников, которая бы увязала в единое целое их условия выхода, режим, взаимосвязь с разными типами подземных вод, не существует.

Есть отдельные классификации по признакам: гидродинамическим, по величине дебита, по температуре, по признаку постоянства существования, по признаку выхода на поверхность.

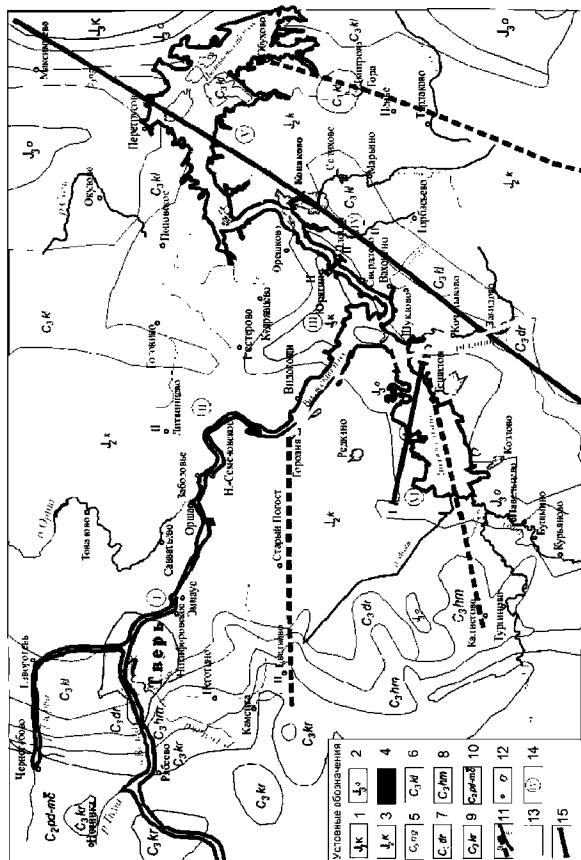


Рис. 1.1. Схематическая карта дочетвертичных отложений территории
 Составлена Е.Е. Лапиной, техническое исполнение С.В. Ерощенко

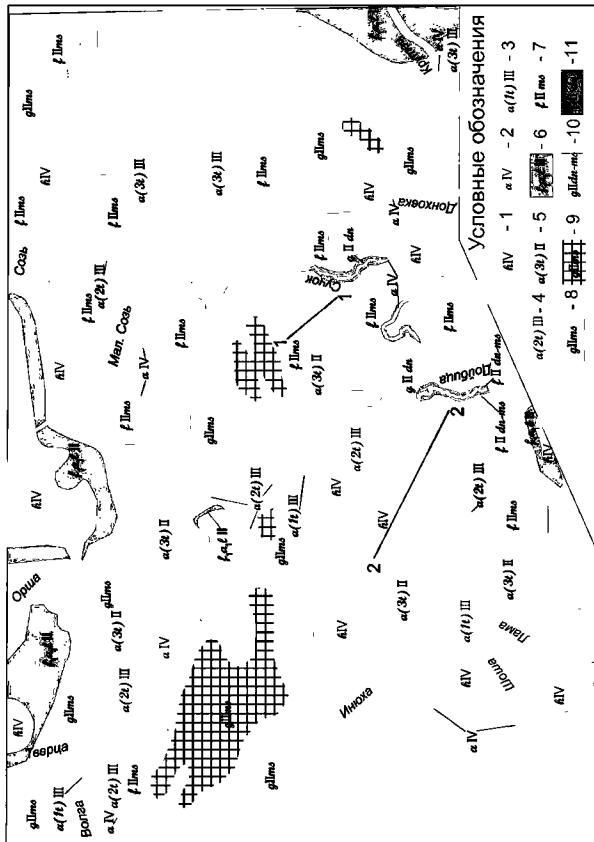


Рис. 1.3. Схематическая карта четвертичных отложений территории
 Составлена Е.Е. Лапиной, техническое исполнение С.В. Ероценко

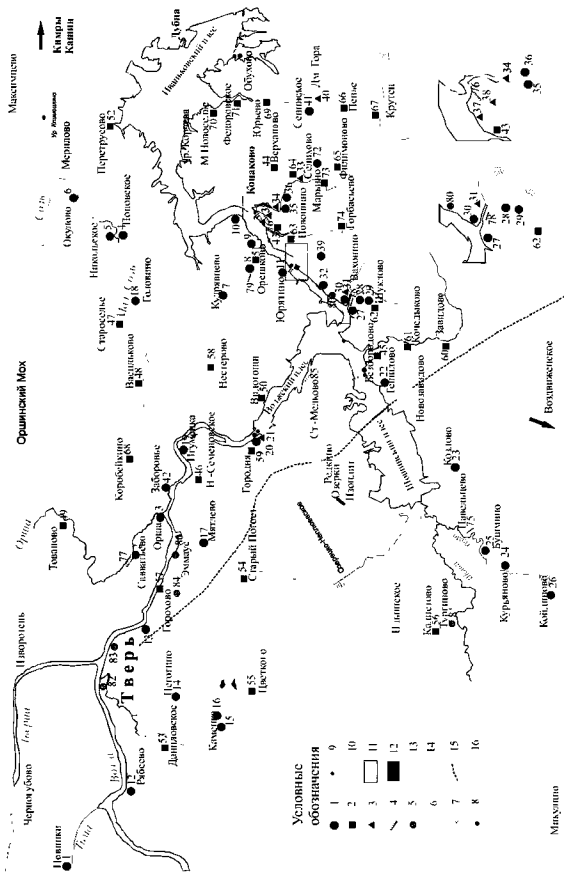


Рис. 1.4. Карта фактического материала района работ

Условные обозначения

**к схематической карте дочетвертичных отложений района работ
(рис. 1.1, масштаб 1: 580 000)**

Юрская система

верхний отдел

1 – киммериджский ярус. Алевриты, глины;

2 – оксфордский ярус. Глины;

средний отдел

3 – келловейский ярус. Глины с прослоями мергелей;

4 – батский ярус. Пески с прослоями глин.

Каменноугольная система

верхний отдел

Гжельский ярус

5 – ногинский горизонт. Доломиты загипсованные выщелоченные белые и светло-серые;

6 – клязьминский горизонт. Доломиты, известняки, мергели.

Касимовский ярус

7 – дорогомилловский горизонт. Переслаивание доломитов, известняков, мергелей и глин;

8 – хамовнический горизонт. Мергели, глины, известняки, доломиты;

9 – кревкинский горизонт. Глины, мергели, известняки;

средний отдел

Московский ярус

10 – мячковско-подольский горизонт. Доломиты и известняки с редкими прослоями мергелей.

Прочие обозначения

11 – разломы глубокого заложения в складчатом фундаменте

а – предполагаемые, б – установленные;

12 – населенные пункты;

13 – дороги;

14 – номер участка для расчета подземного стока в Иваньковское водохранилище;

15 – линии гидрогеологических разрезов.

Условные обозначения

**к схематической карте четвертичных отложений
района работ (рис. 1.3, масштаб 1: 500 000)**

Современный горизонт

1 – болотные отложения. Торф, иловатый суглинок с прослоями песков и глин;

2 – аллювиальные отложения поймы. Пески разнозернистые, супеси, суглинки, глины, иногда с прослоями торфа;

Верхнечетвертичные отложения

3 – аллювиальные отложения первой надпойменной террасы. Пески разнозернистые, супеси, глины, редко – прослойки суглинков;

4 – аллювиальные отложения второй надпойменной террасы. Пески с прослоями глины и суглинков.

Среднечетвертичные отложения

5 – аллювиальные отложения третьей надпойменной террасы. Пески, супеси, суглинки;

6 – озерные, аллювиальные, флювиогляциальные отложения. Пески, супеси, суглинки.

Нижнесреднечетвертичные отложения

7 – московский горизонт, флювиогляциальные отложения времени отступления ледника. Пески, супеси;

8 – московский горизонт, ледниковые отложения – основная морена. Суглинки, супеси, пески, гравий;

9 – московский горизонт, ледниковые отложения – конечная морена. Суглинки

10 – днепровско – московский горизонт, водноледниковые, аллювиальные и озерно-болотные отложения. Пески и супеси;

11 – днепровский горизонт, ледниковые отложения. Моренные суглинки, иногда с обломками известняка и прослоями песков.

Условные обозначения

к карте фактического материала района работ (рис. 1.4, масштаб карты 1: 580 000, масштаб врезок 1: 290 000)

1 – родники;

2 – ключевые колодцы;

3 – опорные родники;

4 – пойменные высачивания;

5 – иссякшие родники;

6 – режимный створ;

7 – створы, январь-март 1994-1996;

8 – створы, январь-март 2012;

9 – створы, летняя межень 2012;

10 – населенные пункты;

11 – детальный участок «Плоски»;

12 – водоемы;

13 – болота;

14 – автомобильные дороги;

15 – железная дорога;

16 – метеопосты.

Приведем здесь классификацию источников по дебиту (Михайлов, 1985).

Таблица 1.4.

Классификация источников по дебиту

| Тип | Класс | Дебит, л/с | Характеристика |
|-----|-------|------------|---------------------|
| I | 1 | 0.001 | Наименьшие |
| | 2 | 0.001-0.01 | Весьма малые |
| | 3 | 0.01-0.1 | Малые |
| | 4 | 0.1-1.0 | Незначительные |
| II | 5 | 1.0-10.0 | Значительные |
| III | 6 | 10-100 | Весьма значительные |
| | 7 | 100-1000 | Большие |

В соответствии с таблицей характеристика дебитов изученных родников залегает в диапазоне «наименьшие - значительные». Значительные дебиты сосредоточенного выхода зафиксированы нами только на нескольких объектах (Мятлево, Заборовье, Койдиново). В среднем измеренные расходы варьируют в пределах 0.06 - 0.3 л/с.

Родники, за редким исключением, изливаются круглогодично.

Термин «источник» употребляется при характеристике выхода любых подземных вод: термальных, пресных, минеральных (Михайлов, 1985). Родник как термин в общем понимании относится к выходам пресных вод и определяется как сосредоточенный естественный выход подземных вод на дневную поверхность или под водой (Чеботарев, 1970). В данной книге авторы придерживаются мнения, что термины «родник», «источник» и «ключ» являются синонимами.

Фактически родник – это способ разгрузки подземных вод, который происходит в виде родника, грифона, пластового выхода или фильтрацией в дно водоема (Всеволожский, 1991).

По условиям выхода родников на дневную поверхность в регионе преобладают контактовые, приуроченные к долинам рек. На поверхности террас иногда встречаются эрозионные источники.

Контактовые выходят в отрицательных формах рельефа, на контактах

хорошо проницаемых пород (в нашем случае – аллювиальных песков и супесей речных террас) со слабопроницаемыми или водоупорными породами (моренные суглинки), залегающими наклонно либо горизонтально. Эрозионные врезы вскрывают контакт грунтового водоносного горизонта с подстилающими породами. Иногда разгрузка контактового типа имеет вид рассредоточенного высачивания, когда вода постоянно тонкими струйками льется вниз, маркируя границу (Савватьевские родники). По характеру выхода контактовые источники всегда нисходящие (Всеволожский, 1991).

Эрозионные источники образуются в результате активных эрозионных процессов, вскрывающих грунтовые водоносные горизонты не до водоупора; в засуху, при понижении УГВ, такие родники пересыхают (родник в селе Никольское).

По берегам Волги в прошлом веке встречены переливающиеся источники, которые имеют восходящее движение в месте выхода на поверхность, что обусловлено развитием слабопроницаемого делювия на склонах оврагов или фациальной изменчивостью водовмещающих отложений (Михайлов, 1985). В ходе полевых работ источников этого типа по берегам Волги и притоков не выявлено. Встречаются как групповые выходы (Савватьевские родники; в Конаковском сосновом бору, именуемый нами «Бор»), так и одиночные; последние преобладают.

По температуре вод изученные родники относятся к группе II и III (таблица 1.5).

Таблица 1.5

Классификация источников по температуре (Михайлов, 1985)

| Класс | Характеристика | Температура, °С |
|-------|------------------------|-----------------|
| I | Исключительно холодные | Ниже 0 |
| II | Весьма холодные | 0-4 |
| III | Холодные | 4-20 |
| IV | Теплые | 20-37 |
| V | Горячие | 37-42 |
| VI | Весьма горячие | 42-100 |

Родников с температурой выше 20 °С на территории нами не обнаружено.

Для характеристики дебита родников часто применяется коэффициент динамичности, который характеризует изменение интенсивности вытекания струи родника на поверхность в течение заданного промежутка времени. Коэффициент, который некоторыми гидрогеологами определяется просто как «динамичность», равен отношению максимального дебита объекта к минимальному за определенный период времени (Ковалевский, 1994). Классификация родников по величине коэффициента динамичности (по А.М. Овчинникову) представлена в таблице 1.6 (Михайлов, 1985).

Динамичность изученных родников колеблется от 1.3 до 35,0 то есть встречаются практически все указанные в таблице градации, кроме весьма постоянных. По гидродинамическим признакам выхода встреченные на дневной поверхности источники на изученном нами отрезке Волги восходящие и нисходящие.

Таблица 1.6

Классификация источников по изменению их дебита

| Класс | Характеристика | Коэффициент динамичности |
|-------|--------------------------|--------------------------|
| I | Весьма постоянные | 1:1 |
| II | Постоянные | 1:2 |
| III | Переменные | 2:10 |
| IV | Весьма переменные | 10-30 |
| V | Исключительно переменные | 30-100 |

Установлено, что химический состав родниковых вод значительно варьирует. Он обусловлен сочетанием геолого - гидрогеологических условий местности и наличием на водосборной площади родника различных очагов загрязнения. Даже если очаг давно ликвидирован, как, например, склад удобрений в с. Вахонино или птицефабрика в с. Городня, последствия высокой антропогенной нагрузки по азоту и фосфору сказываются на химическом составе родников в течение десятилетий (Ахметьева, 2008).

По своему составу воды в основном пресные, нейтральные, либо слабощелочные. Воды преимущественно гидрокарбонатного кальциево-магниевого типа, в северо-восточной части региона встречены гидрокарбонатно-сульфатные воды (д. Максимцево), по правобережью Шошинского плеса вдоль линии разлома Завидово – Шуклово хлоридные воды, иногда гидрокарбонато - хлоридные натриево - магниевые.

Минерализация родниковых вод колеблется в широких пределах – в среднем от 82 до 1800 мг/дм³. По содержанию макрокомпонентов в целом воды родников соответствуют требованиям ГОСТа к питьевой воде (Требования, 1996).

В отдельных родниках и ключевых колодцах (д. Старый Погост, Речицы, Максимцево), где основное питание происходит за счет восходящих некондиционных вод водоносных известняков карбона, величина общей жесткости иногда достигает 11 – 15 ммоль/дм³. Общая жесткость в питьевой воде для нецентрализованного водоснабжения допускается до 10.0 ммоль/дм³ (Санитарная, 2003), такая вода обычно используется населением только в хозяйственных целях. Более подробная характеристика химического состава дается в разделе 2.2.

Воды известняков и доломитов характеризуются повышенной жесткостью, что служит отличительным признаком питания родников восходящими водами.

В тех родниках, где величина общей жесткости небольшая, она колеблется в незначительных пределах (например, в роднике Окулово амплитуда колебаний составляет 0.4 ммоль/дм³, тогда как в роднике села Городня амплитуда – 4.0 ммоль/дм³).

Одной из важнейших характеристик состава воды является окислительно-восстановительный потенциал E_h , который характеризует соотношение окисленных и восстановленных форм всех содержащихся в ней элементов. В силу особенностей условий формирования родниковых вод долины Волги E_h также отличается непостоянством: почти во всех родниках зафиксированы его

колебания в диапазоне от (- 53) до 170 мВ.



Рис. 1. 5. Динамика Eh, родник Бор, январь-март 2010

На рис. 1.5 показаны колебания Eh в роднике Бор в период возрастания сработки водохранилища в январе-марте 2010 года. Величина Eh менялась при каждом замере, размах колебаний залегал в интервале от (-81) до (+78) мВ.

В то же время в опорном роднике Парк наблюдался всегда отрицательный Eh, величина которого колебалась в небольшом диапазоне от (-80) до (-160) мВ. Редокс - потенциал воды самоизливающейся скважины (C₃k1) в д. Плоски тоже всегда отрицательный, но меняется с меньшей амплитудой (-110) – (-120) мВ. В связи с таким разбросом показателей возникли определенные трудности по классификации исследованных родников.

Очевидно, что на изученной территории Волга является самой крупной дренажной, куда разгружаются все водоносные горизонты зоны активного водообмена. Родниками дренируются воды аллювиальных, флювиогляциальных, озерно - ледниковых, моренных, межморенных и подморенных водоносных горизонтов, по тектоническим нарушениям происходит разгрузка не только водоносных горизонтов карбона, но и залегающих значительно ниже вод хлоридного типа.

На большей части изученной долины абсолютные отметки пьезометрических уровней напорных водоносных горизонтов карбона

устанавливаются выше отметок зеркала ГВ. На таких участках питание родников осуществляется за счет восходящей фильтрации из ниже залегающих водоносных горизонтов путем перетекания через разделяющий пласт или гидрогеологические «окна».

Восходящие воды глубоких водоносных горизонтов смешиваются с субнапорными водами межморенных горизонтов. Верхним разделяющим пластом служат моренные московские суглинки, однако иногда они отсутствуют, и тогда образуется тесная гидравлическая связь надморенного и межморенного водоносных горизонтов. Нижним разделяющим пластом являются моренные отложения днепровского оледенения (плотные суглинки с галькой и валунами, встречаются прослойки и линзы песка).

В районе г. Конаково, д. Городище, д. Плюски в разрезе присутствует только морена мощностью до 90 м. Химический анализ воды из двух колодцев одинаковой глубины в д. Плюски (один в 400 м от уреза, а второй на той же линии – в 650 м), позволил установить, что ближний к урезу колодец является родниковым. Его вода характеризуется величиной общей жесткости 11.4 ммоль/дм³, концентрации иона гидрокарбонатов составляют 10.1, азота нитратов – 0.8 мг/дм³, тогда как в дальнем колодце эти величины составляли 7.8, 9.1 и 7.6 соответственно. Сочетание относительно высоких значений общей жесткости до 9.0 – 11.2 ммоль/дм³ и низких содержаний нитратного азота является основным признаком восходящей глубокой разгрузки в этой части изученного региона.

Питание родников также может происходить за счет поверхностных вод во время половодья или паводков, когда уровень воды в поверхностных водоемах располагается гипсометрически выше уровня разгружающихся ГВ.

Восходящей фильтрации нижележащих межморенных вод и вод карбона способствуют резкая фациальная изменчивость четвертичных отложений, широкое распространение на исследованной территории погребенных долин, наличие разломов и невыдержанность юрской водоупорной толщи.

Такая фильтрация происходит на участках речных долин, в геологическом строении которых принимают участие юрские глины, мощностью не более 3-5 м.

На рис. 1.2, где представлен разрез по линии 1-1, проходящий в субмеридиональном направлении через Иваньковское водохранилище, хорошо видно, что пьезометрический уровень клязьминского водоносного горизонта выше уровня грунтовых вод и НПУ водохранилища.

Показателем питания родников глубокими напорными водами описываемого района, кроме суммы солей кальция и магния, является стронций (Sr), присутствующий в составе водовмещающих пород карбона как минерал целестин и в рассеянном виде (Злобина, 2013).

По данным (Красинцева, 1977), его содержание в водоносных горизонтах нижнего карбона составляет в среднем 5.5 мг/дм^3 , а в водоносных горизонтах верхнего - в среднем 0.8 мг/дм^3 . Летом 2006 года в воде водохранилища содержание Sr составило 0.093 мг/дм^3 , в реке Орша - 0.11, а в воде родника с. Дмитрова Гора (на водосборной площади которого мощность юрского водоупора составляет 5 – 10 м) – 0.17 мг/дм^3 . В мае 2014 года в роднике Городня обнаружено содержание стронция 1.14 мг/дм^3 , что прямо указывает на приток восходящих напорных вод из отложений нижнего карбона.

Результаты определения микрокомпонентов в воде опорных родников показали, что в питающихся преимущественно АО родниках содержится немного стронция, а в тех, где геологическое строение указывает на наиболее вероятное питание восходящими водами, его больше на порядок.

В образованиях земной коры стронций является геохимическим аналогом кальция: элементы имеют близкие значения радиусов ионов, констант устойчивости комплексных соединений, растворимости соединений с анионами подземных вод (Крайнов, 1987). Исследованиями, проведенными в конце 1980-х годов на р. Даугава, установлено, что соотношения кальция и стронция для региона небольшой площади (с равными климатическим и прочими условиями) практически постоянно (Стронций, 1979). Таким образом, и стронций, и кальций могут служить маркерами напорных вод верхнего карбона.

Анализ результатов гидрогеохимической съемки описываемой территории показал, что основная часть родников относится к гидрокарбонатному кальциево - магниевому типу вод. На северо - востоке группируются родники гидрокарбонатно - сульфатног кальциевого или гидрокарбонатно - сульфатного магниевое - кальциевого химического состава. В южной части (Завидово, Тешилово, Гаврилково) отмечаются родники хлоридно - гидрокарбонатного типа с меняющимся катионным составом. К западной части района, где отсутствует толща юрских глин, приурочены наиболее минерализованные родники сульфатного и хлоридного типов; на первой и второй надпойменных террасах преобладают родники с водами гидрокарбонатного кальциево-магниевого типа. На юго - востоке встречены родниковые колодцы гидрокарбонатного кальциево - натриевого типа.

Описываемая территория – это часть Верхневолжской низины, пониженный участок, где наблюдается низкое положение уровней ГВ, а статический уровень напорных вод устанавливается местами выше поверхности земли.

Изучение химического состава и гидродинамического режима родников подводит к очевидному выводу о преимущественно напорном питании основной части исследованных родников и колодцев долины верхней Волги.

Вышеописанные факты позволили положить в основу предложенной ниже Сводной классификации (таблица 1.7) одновременно гидродинамический и гидрохимический принципы.

Все изученные родники условно подразделены на пять групп: I – питание верховодкой и АО, II – питание безнапорными ГВ (БнГВ) и АО с малой долей питания субнапорными (СнГВ) и напорными водами (НВ), III группа - БнГВ, СнГВ и незначительное питание НВ, IV- смешанное питание БнГВ, СнГВ, НВ в колеблющихся пропорциях, часто с преобладанием субнапорных и напорных, V группа – питание восходящими напорными водами с малой долей СнГВ и БнГВ.

**Сводная классификация родников водосборной площади
Иваньковского водохранилища**

| Генезис | Восходящие | | Нисходящие | | |
|--|--|--|--|--|---|
| | напорные | Грунтовые | | верховодка | |
| Вид излива | Самоизлив, разгрузка в колодцы | грифон | Высачивание, струйный, «скипение» | струйный | струйный |
| Тип питания | НВ | НВ+СнГВ+ БнГВ | СнГВ+БнГВ+ АО | БнГВ + АО | АО |
| Дебит | 0.01 – 0.3 | 0.03 – 0.33 | 0.001 – 0.78 | 0.04-0.2 | До 1.0 |
| Химический состав по типу воды | SO ₄ -Ca, SO ₄ -HCO ₃ -Ca-Mg, Cl-HCO ₃ -Ca(Mg) HCO ₃ -Na-K, HCO ₃ -Cl (Ca-Mg), HCO ₃ -Ca-Na | HCO ₃ - Ca-Mg, HCO ₃ -Mg-Ca, HCO ₃ -Mg – Na | HCO ₃ -Ca-Mg, HCO ₃ -Mg- Ca, HCO ₃ - Ca-Na, HCO ₃ -SO ₄ -Ca, HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Mg | HCO ₃ -Ca-Mg, HCO ₃ -SO ₄ -Ca, HCO ₃ -Ca | HCO ₃ -Ca-Mg, HCO ₃ -Mg - Ca, HCO ₃ -NO ₃ - Ca-Mg, HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Na |
| Общая жесткость, ммоль/дм ³ | 8.0 – 16.0 | 8.0 – 12.0 | 3.5-8.0 | 2.0 – 4.0 | 0.8 – 2.5 |
| Минерализация, г/дм ³ | До 2.1 | 0.6 – 1.5 | 0.3 – 0.5 | До 0.4 | До 0.25 |
| pH | 5.74 – 7.2 | 6.7 – 7.5 | 6.05 – 7.8 | 5.8 – 8.2 | 5.89 - 6.9 |
| Sr, мг/дм ³ | 0.8 – 1.4 | 0.30 – 1.1 | До 0.45 | До 0.08 | 0 |
| Группа | V | IV | III | II | I |

Установить группу родника сразу после нескольких замеров трудно. Один и тот же родник в зависимости от сезона, климатических условий года, меняющихся антропогенных нагрузок может время от времени переходить в соседнюю по характеристикам группу, но по сути относиться он будет к одной и той же группе.

Поэтому определять группу следует по совокупности сведений, которые можно получить только при достаточно длительном периоде наблюдений за объектом.

Например, для V группы в целом определен диапазон Eh от (-13) до (+ 40 мВ), в III группе в одних родниках диапазон Eh составляет (-120) – (-180) мВ, в других от 30 до 140 мВ. Однако использовать величину редокс - потенциала как признак напорного питания родников некорректно, поскольку пропорции установленных источников питания родников разных групп не являются постоянной величиной, чем и объясняются «скачки» Eh в воде родника Бор (рис. 1.5). Кроме того, если у колодца сруб деревянный и давно не менялся, дерево начинает гнить, и из-за интенсивно протекающих процессов гниения искажаются показания прибора (иногда в десятки раз).

В родниках, чья вода формируются в основном за счет разгрузки межморенных горизонтов, содержание марганца обычно составляет 0.2 – 0.4 мг/дм³, но это – тоже неоднозначный признак, поскольку в половодье концентрации марганца снижаются (но не всегда).

В таблице 1.8 представлено процентное соотношение количества родников разных групп во всем массиве источников.

Среди исследованных родников преобладают источники III группы, в выборке «родниковые колодцы» - IV группы, в целом в изученных водных объектах больше всего родников III группы.

Таблица 1.8

Количественное соотношение родников разных групп, %

| Выборка | I | II | III | IV | V |
|--------------------|-----|------|------|------|------|
| Все объекты | 5.2 | 10.4 | 41.5 | 35.1 | 7.8 |
| Родники | 4.8 | 11.9 | 50.0 | 31.0 | 2.4 |
| Родниковые колодцы | 6.3 | 6.3 | 28.1 | 43.8 | 11.9 |

Групповая принадлежность родников и ключевых колодцев, общая жесткость и минерализация представлены в Приложении 2, таблицы 1 и 2.

После того, как мы классифицировали родники изученной территории, кратко охарактеризуем опорные родники, многостороннее изучение которых позволило создать предложенную выше классификацию (таблица 1.9). В первом столбце таблицы указаны названия опорных родников, которые мы используем в работе (по населенному пункту или местоположению).

Таблица 1.9

Характеристика опорных родников

| Родник | Дебит | Группа | Местоположение | t°С |
|---------------|--------------------------|--------|-------------------------------|--------|
| Городня | Весьма переменный | IV | Село вдоль федеральной трассы | 9 - 11 |
| Школа | Исключительно переменный | IV | Город Конаково, за школой № 6 | 2 - 16 |
| Бор | Переменный | II | Сосновый бор | 0 - 15 |
| Парк | Переменный | III | Сосновый бор | 4 - 8 |
| Селихово | Переменный | IV | Село | 7 - 9 |
| Раздолье | Весьма переменный | III | База отдыха, березовый лес | 6 - 13 |
| Дмитрова Гора | Переменный | IV | село | 7 - 10 |
| Юрятино | Переменный | III | Деревня, дачи | 4 - 12 |

Родник «Городня» выходит в эрозионных уступах II террасы в с. Городня, близ действующей шатровой церкви XIII века Рождества Богородицы, и носит то же название. Родник широко используется местными жителями для питья, каптирован, к нему проложена удобная дорожка (фото 1). Сюда приходят паломники, посещающие церковь, приезжают жители пос. Редкино, недовольные качеством воды собственных водопроводных сетей. Наблюдения за родником проводятся с 1997 по настоящее время. С другой стороны церкви, в тыловом шве этой террасы, в 30 м от уреза Волги, выходит еще один источник, оборудованный бетонным кольцом и колодезным домиком. Из-за неудобного подхода (очень крутой спуск) им пользуются только жители ближних домов.

Родник «Школа» находится в г. Конаково, близ школы № 6, на правом берегу Донховки, в 7.5 м от уреза воды, на 0.6 м выше уровня воды в реке,

наблюдается больше 10 лет (с 2003 года). Источник каптирован бетонным кольцом, сверху положена асфальтовая плита, освящен в честь Георгия Победоносца. Вода вытекает из двух металлических трубок, расположенных на разных уровнях. Из-под кольца и из обеих трубок течет вода, иногда течет только из нижней трубки; зимой 2010 года с января по март стока из трубок не было, родник бил из земли ключом.

Родник «Бор» находится в сосновом бору г. Конаково в 125 м от уреза Волги (фото 2). Представляет собой групповой выход из трех труб, установленных по сторонам ложбины шириной 250 м, расположенной на крутом склоне и спускающейся к Волге. По дну ложбины в Волгу течет вода, которая сочится вдоль берега по контакту суглинков и песков по поперечнику ложбины. Наблюдения за самым ранним каптированным выходом ведутся круглогодично с 1997 года. Родник освящен в честь пророка Илии и очень популярен у жителей города. К нему проложена «Тропа здоровья», волонтеры регулярно убирают водосборную площадь родника, по мере необходимости меняют желоба и мостки.

Родник «Парк» находится при входе в городской парк г. Конаково. Родник представляет собой несколько грифончиков, бьющих из-под земли, образуя «лужу». Высота грифонов, их количество и интенсивность разгрузки постоянно меняются, родник не пересыхает, зимой не замерзает. За родником ведутся наблюдения в течение последних 15 лет.

Родник «Селихово» находится в селе Селихово, в 5 км от г. Конаково (фото 3). Расположен на левом берегу р. Донховка, на пойме, в нескольких метрах от уреза воды. Родник каптирован в виде колодца, активно используется местными жителями. Дебит родника переменный, родник не пересыхает и не замерзает. Пользуется популярностью как «святой источник». За родником ведутся наблюдения с 1994 года.

Родник «Раздолье» расположен на территории базы отдыха «Раздолье», в 10 км от г. Конаково (фото 4). Выход воды приурочен к основанию второй надпойменной террасы р. Волга, в 60 м от уреза воды Ивановского

водохранилища. Вода стекает по желобу, родник оборудован деревянным домиком и бетонным кольцом; используется отдыхающими базы и жителями пос. Свердлово. За родником велись круглогодичные посезонные наблюдения с 1997 по 2012 г.

Родник Дмитрова Гора расположен в центре поселка, используется местными жителями для питья. Выход воды приурочен к зоне тектонического нарушения, дебит переменный, источник находится в ложбинке.

Родник Юрятино расположен на краю деревни Юрятино, выход родника приурочен к нижней части второй надпойменной террасы р. Волги, в нескольких метрах от уреза воды водохранилища. Дебит родника переменный, вода хорошего качества, используется для питья.

Кроме опорных родников, приводим описание других источников, представляющих интерес для разработки выше приведенной классификации. Химический состав всех изученных ключей представлен в Приложении 2 (таблицы 3, 4) и Приложении 3 (таблицы 1, 2).

Савватьевские родники расположены на правом берегу р. Орши у пос. Савватьево, в 8 км на восток от Твери (фото 5). Освящены в честь святого Савватия, проживавшего в этой местности в XVIII веке. Представляет собой крупный пластовый выход (фото 6). Вода сочится из аллювиальных отложений террасы по контакту валунных суглинков и супесей на протяжении 200 м. Здесь оборудовано три сосредоточенных выхода. В половодье родник затапливается, верхняя часть террасы в настоящее время начинает сползать вниз.

Никифоровский родник находится на юго - востоке Твери, в 50 м от с. Никифоровское, на левом берегу ручья, впадающего в р. Волгу; 0.4 м выше меженного уровня воды в ручье (в половодье родник затапливается). Родник оборудован бетонным кольцом, вода льется по трубе из нержавеющей стали (Балицкая, 2001). Дебит 0.075 – 0.125 л/с, температура колеблется от +6°C до +10.6 °C. Сюда за водой приезжают жители Твери и ближних поселений.

Койдиновский родник расположен на левом берегу Ламы, на плоской части надпойменной террасы, в 500 м от уреза реки. Освящен в честь Святителя

Николая Чудотворца, украшен валунами и клумбами цветов, при роднике оборудована мозаичная купель.

Родник близ д. Игумеика освящен в честь Казанской Божьей матери, выходит в крутом борту II надпойменной террасы в 650 м от уреза Волги, на правом берегу. Родник обложен окатанной галькой, вода стекает из пластиковой трубы. Дебит колеблется в пределах 0.02 - 0.04 л/с, редокс-потенциал - от 45 до (-30) мВ.

Родник Тешилово расположен на правом берегу Шошнинского плеса, в тыловом шве I надпойменной террасы. Терраса по условиям образования цокольная, с плоской поверхностью, имеющей незначительный уклон к реке. Верхняя часть террасы выполнена водно-ледниковыми отложениями верхнечетвертичного возраста, ниже и в цоколе I террасы залегают московские суглинки с линзами глин. Родник освящен в честь Святителя Николая Чудотворца.

1.4. Химический состав атмосферных осадков за многолетний период

Наблюдения за химическим составом осадков сотрудниками Ивановской НИС ведутся более двух десятков лет, с 70-х годов по наши дни. До начала 80-х годов наблюдения входили в состав комплексных исследований экологического состояния водоохранной зоны Ивановского водохранилища (Романова, 1987). С 1981 до 1995 гг. стационарного поста наблюдения за осадками не было, наблюдения велись эпизодически.

В 1996 году авторами на Ивановской НИС оборудуется пост наблюдения за АО согласно требованиям Гидрометеорологической службы. Пост расположили в 1.2 км от здания станции НИС (СНТ «Ремонтник»), установили осадкомер Третьякова. Для определения температуры и влажности воздуха использовали психрометр МВ-4М. Количество осадков определялось по возможности сразу после выпадения, одновременно снимались показания влажности и температуры воздуха.

В 2006 году станцию НИС перенесли в г. Конаково, в связи с чем приняли

решение о перемещении осадкомерного поста в северо - восточный промышленный район города. Наблюдения на данном месте проводились по 2013 год включительно.

Весь цикл наблюдения поделен на три периода: с 70-х годов до 1995 года (наблюдения велись эпизодически), 1996 - 2007 годы (пост СНТ «Ремонтник»- объект сельскохозяйственного воздействия), 2008 - 2013 годы (пост северо-восточный промышленный район – объект индустриального воздействия). Местоположение постов указано на рис. 1.4. Анализ первого периода не информативен, т.к. не был оборудован стационарный пост наблюдения. Исключением стал только 1991 г. (д. Новошино), поэтому нами рассмотрен 1991 г. в первом квартале. Анализ данных по 1991 г. приведен ниже, по второму - третьему периодам наблюдения представлен в Приложении 4.

Участок д. Новошино (1991 г.)

Отбор проводился рядом с д. Новошино Конаковского района, места отбора: лес, поле, дорога.

Ниже представлена таблица химического состава АО за март 1991 г. (таблица 1.10).

Таблица 1.10

Химический состав АО, март 1991

| места отбора | Цветность градусы | pH | HCO ₃ | Ca/Mg | SO ₄ | Na/K | Cl | NH ₄ | NO ₃ | PO ₄ |
|--------------|-------------------|------|------------------|--------------------|-----------------|-------|-----|----------------------|-----------------|----------------------|
| | | | | мг/дм ³ | | | | мг N/дм ³ | | мг P/дм ³ |
| дорога | 0 | 6.15 | 6.1 | 3.0/сл. | 9.0 | 0/0.5 | 5.3 | 0.96 | 0.62 | 0.22 |
| лес | 0 | 4.89 | 3.0 | 1.0/сл. | 3.5 | 0/0.1 | 2.1 | 0.96 | 1.2 | 0.25 |
| поле | 0 | 5.59 | 3.0 | 3.4/0.4 | 8.0 | 0/0.4 | 4.6 | 1.41 | 0.8 | 0.44 |

Примечание: в пятом столбце сл. – следы.

Из таблицы видно, что pH осадков в местах отбора - кислый и слабо кислый, величины сульфатов, хлоридов, кальция, калия выше у дороги и в поле, чем в лесу. Исключением являются концентрации фосфатов и гидрокарбонатов, их величины соответственно выше, чем рядом с дорогой и такая же, как в поле. Величина цветности и концентрации натрия постоянны.

СНТ «Ремонтник» - объект сельскохозяйственного воздействия.

Пост располагался на территории дачного поселка, окруженный другими такими же поселениями и сельскохозяйственными полями.

Химический состав АО (дождь, снег), период 1996 – 2007, представлен в Приложении 4, таблица 1.

Осадки в течение 13 лет не отличались постоянством химического состава компонентов, сильно варьировали от десятых долей до целых чисел. Показатель pH в целом колебался от кислого до щелочного (от 5.77 до 7.21 - дождь, от 5.54 до 8.22 - снег).

При исследовании химического состава осадков обратим внимание на закисление, показателем которого является величина водородного показателя pH. Осадки считаются «кислотными» при pH менее 5.0 (Кислотные, 1990; Голубев, 1999).

В таблицах 3 и 4 Приложения 4 представлена динамика показателя pH в твердых и жидких осадках за 2003 и 2004 годы, из которой видно, что в ноябре 2004 года зафиксированы наиболее кислые за два года подряд осадки с величиной pH 5.14. Если в 1991 году осадки в лесу характеризовались как кислотные (pH 4.89), то за описываемый период наблюдений кислотных осадков на площади СНТ не обнаружено.

Максимальная величина концентраций сульфатов для дождя – 17 мг/дм³, минимальная - 0.3 мг/дм³, максимальная величина сульфатов для снега – 19.6 мг/дм³, минимальная - 0.5 мг/дм³.

Северо-восточный промышленный район – объект промышленного воздействия.

Пост находился на территории бывшего ПМК-15, в промышленной зоне города Конаково, в 1.5 км от завода механизированного инструмента. Химический состав АО (дождь, снег), период 2008-2013, представлен в Приложении 4, таблица 2.

До 2009 года преобладали кислые осадки, затем pH изменялся от слабо кислого до слабо щелочного с преобладанием последнего. Круглогодичная динамика показателя pH в твердых и жидких осадках за 2010 и 2011 годы

представлена в таблицах 5 и 6 Приложения 4. Минимальной величиной за два года подряд является рН 6.1. Сульфаты изменялись на десятые доли, не достигая целых единиц. Отдельно рассмотрим результаты наблюдений за осадкамн на водосборной площади четырех опорных родников (Бор – II группа, Раздолье – III, Дмитрова Гора и Школа – родники группы IV).

Таблица 1.11

Макрокомпонентный состав снега водосборной площади опорных родников и родниковых вод в разные гидрологические фазы года

| Родник | рН | Na | K | Ca | Mg | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | M* |
|-------------------|------|--|------|------|------|------------------|-----|-----------------|------|
| | | Снег, мг/дм ³ | | | | | | | |
| Бор | 6.9 | - | 0.5 | 1.2 | 0.5 | 6.0 | 1.2 | 1.5 | 13.6 |
| Раздолье 16.02.02 | 5.4 | 0.6 | 0.33 | 0.31 | 0.12 | 6.1 | 0.1 | 1.6 | 12.5 |
| Школа | 5.0 | 2.5 | 0.5 | 0.0 | 1.83 | 6.1 | 0.0 | 10.0 | 25.5 |
| Дмитрова Гора | 5.64 | 0.2 | 2.6 | 1 | 1.0 | 6.1 | 1.0 | 1.2 | 14.9 |
| | | Родниковые воды, зимняя межень, мг/дм ³ | | | | | | | |
| Бор | 7.5 | - | - | 44 | 7.2 | 159 | 3.5 | 14 | 260 |
| Раздолье | 7.35 | 1.9 | 0.5 | 60 | 18 | 244 | 3.2 | 11 | 339 |
| Школа | 7.2 | 34 | 6.5 | 148 | 36 | 464 | 53 | 131 | 879 |
| Дмитрова Гора | 7.44 | 24 | 25 | 110 | 31 | 390 | 55 | 38 | 748 |
| | | Родниковые воды, половодье | | | | | | | |
| Бор | 8.1 | - | - | 40 | 7.2 | 153 | 2 | 14 | 220 |
| Раздолье | 7.5 | 2.1 | 0.9 | 58 | 18 | 244 | 5 | 4 | 332 |
| У школы | 7.2 | - | 3.5 | 144 | 37 | 439 | 74 | 106 | 779 |
| Дмитрова Гора | 7.61 | 75 | 82 | 118 | 31 | 378 | 25 | 67 | 776 |

Примечание: * - общая минерализация.

Состав снега и родниковых вод почти у всех источников имеет вид (по Курлову) HCO₃71-82/ Ca 54-70, за исключением снега на водосборе родника у школы (HCO₃45SO₄41/ Ca56Mg36, рН 5.0). Во всех случаях у снега рН оказался более кислый, чем в воде родников. Рассмотрим, как меняется содержание биогенных и органических веществ по пути с дневной поверхности на УГВ и далее – на выходе источника (таблица 1.12).

Общие характеристики и концентрации биогенных веществ в сиеге близ опорных родников и родниковых вод, зимняя межень и половодье

| Родник | Ca+ Mg, ммоль/ дм ³ | ЭПР, мS/m | Цвет ность | ПО мгО/ дм ³ | PO ₄ | P _{общ} | NH ₄ | NO ₃ | NO ₂ |
|--|---|--------------|---------------|-------------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | | | Сиег, мг/дм ³ | | | | |
| Бор | 0.1 | 1.2 | 3 | 1.4 | 0.01 | 0.02 | 0.52 | 1.7 | 0.01 |
| Раздолье | 0.025 | 1.5 | 0 | 1.13 | 0.03 | 0.1 | 0.22 | 1.9 | 0.07 |
| У школы | 0.15 | 1.85 | 7 | 2.38 | 0.04 | 0.1 | 0.74 | 1.9 | 0.05 |
| Дмитрова Гора | 0.13 | 1.73 | 0 | 7.92 | 0.01 | 0.07 | 0.89 | 1.3 | 0.11 |
| Родниковые воды, зимняя межень, мг/дм ³ | | | | | | | | | |
| Бор | 2.7 | 28.6 | 5 | 0.9 | 0.24 | 0.48 | 0.02 | 0.15 | 0.011 |
| Раздолье | 4.5 | 43.2 | 7 | 2.97 | 0.01 | 0.02 | 0.18 | 16.2 | 0.003 |
| Школа | 10.4 | 142.3 | 1 | 0.9 | 0.02 | 0.03 | 0.16 | 1.35 | 0.002 |
| Дмитрова Гора | 8.4 | 89.6 | 33 | 3.17 | 0.22 | 0.33 | 0.49 | 13.8 | 0.009 |
| Родниковые воды, половодье | | | | | | | | | |
| Бор | 2.6 | 27.3 | 5 | 0.8 | 0.26 | 0.45 | 0.15 | 0.1 | 0.02 |
| Раздолье | 4.4 | 43.2 | 8 | 1.32 | 0.01 | 0.02 | 0.32 | 12.3 | 0.02 |
| Школа | 10.3 | 102 | 2 | 1.2 | 0.02 | 0.07 | 0.01 | 2.8 | 0.004 |
| Дмитрова Гора | 8.4 | 92 | 10 | 2.87 | 0.22 | 0.28 | 0.04 | 5.7 | 0.03 |

В случае, если на водосборной площади родника наблюдается повышенная антропогенная нагрузка (Дмитрова Гора), даже сиег несет явные следы загрязнения органическими веществами (ПО сиега порядка 8 мг/дм³). Однако благодаря питанию родника глубокими напорными водами химический состав родниковых вод остается сбалансированным. Значительное изменение химического состава родников в результате поступления талых вод на УГВ имеет место только у источников I группы. На химический состав родников остальных групп АО не влияют.

В таблице 1.13 представлены средние величины показателей

химического состава осадков за оба периода.

Таблица 1.13

Средние величины показателей химического состава АО за периоды 1994 – 2007 и 2008 - 2013 годы

| Показатель | Дождь | | Снег | |
|--------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| | СНТ «Ремонтник» | Северо-восточный промышленный район | СНТ «Ремонтник» | Северо-восточный промышленный район |
| рН | 6.11 | 6.82 | 6.31 | 6.71 |
| ЭПР, мS/m | 4.81 | 5.1 | 2.0 | 4.3 |
| SO ₄ , мг/дм ³ | 7.7 | 6.0 | 7.6 | 4.9 |
| NH ₄ , мг/дм ³ | 0.83 | 0.67 | 0.67 | 0.93 |
| NO ₃ , мг/дм ³ | 2.34 | 1.6 | 1.6 | 1.68 |

АО на разных участках наблюдения характеризуются непостоянством состава, отличаются доминирующими анионами. В 2003 году несколько раз выпадали осадки SO₄-Ca-Mg состава, в 2009 году – HCO₃ - SO₄ – Ca - Mg состава. На участке СНТ среднегодовая величина рН в снеге больше, чем в жидких осадках, в промышленном районе – наоборот.

Содержание аммонийного и нитратного азота в целом на сельскохозяйственной территории выше, чем в промышленной зоне, несмотря на то, что в последнем периоде наблюдений значительно возросло количество личных единиц транспорта – источника поступления в атмосферу оксидов азота.

Глава 2. Анализ режима родниковых вод

Под режимом понимаются процессы пространственно-временной изменчивости основных характеристик разгружающихся водных потоков: гидродинамических, геохимических и геотермических (Гордеев, 1990). Такая изменчивость обусловлена режимобразующими факторами (геологическими, антропогенными, метеорологическими, биологическими) и условиями, под которыми подразумеваются рельеф, литология водовмещающих толщ, тектонические особенности. Условия во время наблюдений не меняются, но именно они определяют характер воздействия режимобразующих факторов на разгрузку подземных вод (Ковалевский, 1994). Сначала рассмотрим характеристики гидродинамического и геотермического, затем - гидрохимического режимов.

2.1. Режим изменения дебитов и температур родников

Наиболее детально изучен гидродинамический режим родников II и IV групп. Рассмотрим основные особенности режима опорного родника Бор, который по классификации относится к группе II.

Родник наблюдается эпизодически с 1997 года, как режимный - с 2004. За этот период его минимальные дебиты варьировали в пределах 0.04 – 0.104 л/с, максимальные – в диапазоне 0.09 – 0.216 л/с при средних значениях 0.05 – 0.14 л/с (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Изменение среднегодовых минимальных и максимальных дебитов родника «Бор» за период 2006 – 2013

Из рисунка видно, что среднегодовые минимальные величины дебитов стремятся к возрастанию, а максимальные – к убыванию.

Рассмотрим внутригодовую динамику среднемесячных дебитов родника вместе с осадками, представленную на графиках (рис. 2.2).

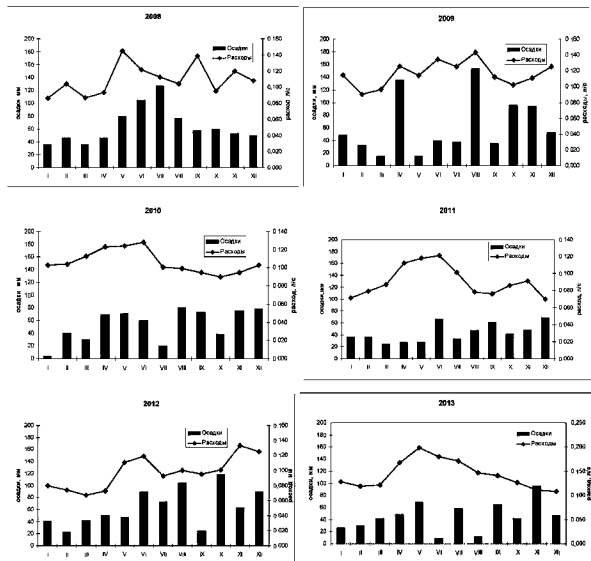


Рис. 2.2. Серия ходов кривых внутригодовых колебаний дебитов и количества месячных осадков родника «Бор» за 2008 – 2013 годы

Анализ представленных кривых, а также аналогичных данных за предыдущие годы позволил установить следующие особенности. Режим характеризуется наглядно выраженным внутригодовым изменением дебита. Максимальные его величины наблюдаются в апреле-мае и сентябре-октябре, то есть приурочены к половодью и осенним паводкам, пики слегка запаздывают

(на 2-3 недели). Приуроченность экстремума к тому или другому месяцу колеблется от года к году в зависимости от климатических условий самого года и водности предшествующих лет.

Приращения дебита родника связаны с количеством выпадающих АО, но связь не является прямой. В многоводные годы, когда породы зоны аэрации характеризуются высокой естественной влажностью, экстремумы запаздывают по отношению к пикам на кривой количества АО не более чем на 5 – 6 суток.

Выбранный в качестве опорного родник Раздолье (III группа) в силу дальнего расположения наблюдался с 1999 ежемесячно, в период 2001–2003 – раз в сезон, в последующие годы эпизодически. На рис. 2.3 представлена сезонная динамика расходов родника.



Рис. 2.3. Сезонные изменения дебита родника Раздолье, 2001 – 2003 годы

Гидродинамический режим этого родника в целом зависит от поступления талых вод во время оттепелей или половодья: в марте - апреле расход возрастает, летом уменьшается. В холодные зимы экстремумы иногда запаздывают на несколько месяцев, как в 2002 году (несмотря на жаркое лето, расход родника выше, чем в 2001).

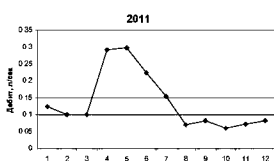
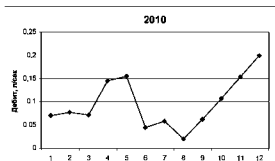
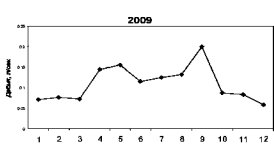
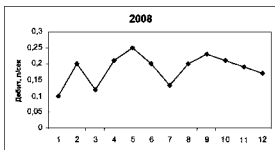
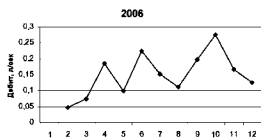
В 2004 году началась реконструкция базы отдыха (проведение коммуникаций и строительство новых домиков). Видимо, эти работы нарушили баланс между компонентами геологической среды, и расход родника снизился до значений маловодного 2002 года. В 2006 году на момент измерения дебита в конце июля слой осадков за месяц был в 2 раза выше среднееголетних величин, однако измеренный расход составил 0.005 л/с

против 0.011 л/с в 2002 году. В то же время дебиты других режимных родников, чьи водосборные площади не подвергались негативным воздействиям, не изменились.

Родник «Школа» относится к IV группе. Расположен на заднем дворе школы № 6 г. Конаково, по левому берегу реки Донховка, на высокой пойме. Расстояние до уреза в меженный период 7.5 м. Высота над уровнем воды в реке составляет 0.65 м, расстояние до тылового шва надпойменной террасы –15 м.

Родник наблюдается в качестве режимного с 2005 года. За этот период его минимальные дебиты варьировали в пределах 0.002 – 0.125 л/с, максимальные – 0.125 – 0.333 л/с при средних значениях дебита 0.07 – 0.16 л/с.

Максимальные коэффициенты динамичности изменялись в пределах 5.4 – 22.2 при среднемноголетнем значении 9.8. На рис. 2.4 приведены графики



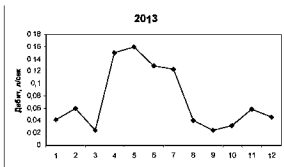
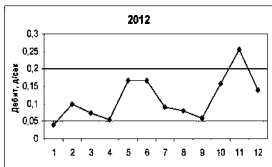


Рис. 2.4. Серия кривых внутригодовых колебаний дебитов родника Школа, 2006 – 2013 годы

внутригодовых колебаний его дебитов за 2006 – 2013 годы, построенные по среднемесячным данным.

Из-за того, что родник расположен в месте повышенного риска загрязнения коммунально-бытовыми стоками, внутригодовое распределение его расходов носит хаотический характер. В одни годы экстремальные расходы связаны с половодьем, в другие – с осенними паводками, причем второй пик несколько запаздывает.

Родник имеет гидравлическую связь с водами реки Донховка, которая в половодье его питает. На рис. 2.5 представлен совмещенный график ежедневных измерений расхода родника у школы и относительного уровня Донховки (замер производился с моста, расположенного в 250 м от места выхода родника).

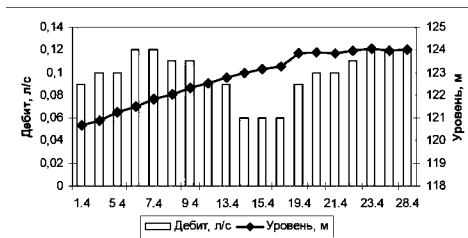


Рис. 2.5. Совмещенный график дебита родника «Школа» и уровня воды Донховки, апрель 2010 года

Анализ кривых дебитов родника указывает на возможную связь с климатическими особенностями года. В маловодные 2007 и 2013 годы максимальные дебиты не превышали 0.20 и 0.16 л/с соответственно, а в многоводные 2008 и 2013 максимальные дебиты достигали 0.28 и 0.25 л/с.

В 2010 году с января по март сток из трубок родника отсутствовал. Сам родник в виде грифона выбивался из-под земли у бетонного кольца, которым каптирован. На рис. 2.6 показан годовой ход кривых динамичности родника (K_{max}) и месячных величин АО за 2013 год.



Рис. 2.6. Динамика среднемесячных величин $K_{max} \cdot 10$ и месячных осадков (мм слоя) по роднику «Школа», 2013 год

Во время половодья талые воды интенсивно инфильтруются на водосборную поверхность родника, и пик динамичности, аналогичный пику АО, только на несколько недель запаздывает. В летний период дебиты не зависят от количества осадков, поскольку на величину дебита этого родника влияет совокупность многих других факторов в силу расположения на урбанизированной территории. Это утечки из водопроводных и канализационных сетей, достигающие 7 – 15 % от водоподачи (Ковалевский, 1994); высокая температура воздуха, полив улиц и др.

Родник в с. Городня – тоже представитель IV группы, наблюдается с 1994 года. За время наблюдений минимальные дебиты варьировали в пределах 0.03 – 0.42 л/с, максимальные от 0.1 до 0.16 л/с при средних значениях дебита 0.07 л/с. Среднемноголетнее значение максимального коэффициента динамичности составляет 5.1. На рис. 2.7 представлена кривая дебитов родника в год средней

водности, когда выпало 688 мм осадков при норме 650 мм.



Рис. 2.7. Изменение дебитов родника Городня, 2006 год

На графике хода кривой дебитов видно, что расходы близки к средним и достаточно стабильны. Кривая дебитов пологая, имеет только один значительный экстремум, приуроченный к декабрю.



Рис. 2.8. Изменение дебитов родника Городня, 2013 год

На рис. 2.8 представлены кривые дебитов родника в Городне в 2013 году, которому предшествовал многоводный 2012 (выпало 770 мм осадков). Экстремумы представленной кривой, приуроченные к половодью и паводку, запаздывают по отношению к гидрологическим фазам уже на два – три месяца, что может быть связано с серией предшествующих маловодных лет и аномально жарким 2010 годом, когда горели торфяники.

На следующем рисунке представлен совмещенный график за 2011 год кривых дебитов родников II и IV типов (Бор и Городня).

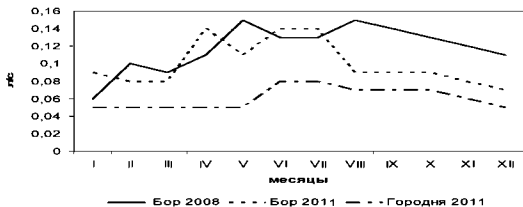


Рис. 2.9. Совмещенный график кривых расходов родника в бору (2008, 2011) и в Городие (2011)

Кривые колебаний дебитов построены по среднемесячным данным. Анализ кривых показывает, что в закономерностях внутригодовых колебаний родников выделенных групп имеются определенные различия.

Примем за характеристику внутригодовых колебаний дебита максимальный коэффициент динамичности K_{\max} , равный отношению максимального расхода к минимальному в течение года регулярных наблюдений (Ковалевский, 2001). Посмотрим, как меняется K_{\max} опорных родников разных типов в зависимости от метеорологических условий (таблица 2.1).

Таблица 2.1

Средние годовые дебиты (Q , л/с) и K_{\max} родников в годы разной водности

| Название | Группа | 2002* (-) | | 2008 (+) | | 2010 (N) | |
|----------|--------|-----------|------------|----------|------------|----------|------------|
| | | Q | K_{\max} | Q | K_{\max} | Q | K_{\max} |
| Бор | I | 0.05 | 2 | 0.09 | 3 | 0.08 | 3.1 |
| Раздолье | III | 0.03 | 4.1 | 0.04 | 3.65 | 0.04 | 1.3 |
| Школа | IV | 0.1 | 4.4 | 0.17 | 8.3 | 0.11 | 5.4 |
| Городня | IV | 0.06 | 3 | 0.061 | 1.8 | 0.09 | 2.4 |
| Вахонино | V | 0.001 | 3.8 | 0.01 | 1.8 | 0.01 | 6.9 |

Примечание. * знак (-) означает маловодный год, знак (+) – многоводный, N – норма.

В целом можно сказать, что водность года не оказывает значительного влияния на динамичность исследованных родников. Возможное влияние предшествующих многоводных лет можно предположить при анализе динамики дебитов по всему массиву данных. Например, 2002 год являлся резко засушливым, при малом количестве осадков (490 мм при норме 650 мм) горели торфяники, в воздухе стоял смог. Удушающая атмосфера способствовала высокому дефициту влажности и испарения. В следующем году (2003) мы наблюдали минимальные дебиты родника Бор, хотя осадков выпало значительно больше нормы (776 мм), зато в 2004 году, хотя год был маловодным, дебиты родника до минимальных значений не снижались.

Эти выводы подтверждаются ходом кривых дебита родника Бор за 2011 - 2013 годы (рис. 2.9). 2011 год характеризуется как год средней водности, в 2010 осадков выпало больше нормы. Но сам год был очень засушливым, сильно горели торфяники. Дебит в начале 2011 года минимален, и только в 2013 году расходы родника увеличились.

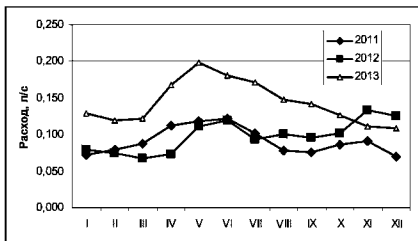


Рис. 2.10. Кривые дебита родника Бор за 2011-2013 годы

Режим родников I и большинства II группы связан с количеством выпадающих осадков: экстремумы родникового стока и атмосферных выпадений находятся почти в одной фазе. Минимум наблюдается в ноябре-феврале, максимумы приурочены к апрелю - маю (половодье) и к сентябрю - октябрю (осенние паводки).

В зависимости от метеорологических условий года экстремумы могут смещаться на 1.5 – 2 месяца.

В родниках других групп внутригодовая изменчивость более слабая, кривые дебитов имеют сглаженный вид и один максимум, связанный с половодьем, который постепенно снижается. Отдельные части кривой представляют собой плато.

Расходы родников III - V более постоянны, максимум родникового стока наблюдается спустя 1.5 – 2 месяца после прохождения пика половодья, в более редких случаях – на 3 месяца.

Таким образом, анализ гидрохимического режима показал, что родниковый сток изученной местности по сути является результатом взаимодействия системы АО – зона аэрации – грунтовые воды – водовмещающие породы – напорные воды, на время половодья в систему включаются воды притоков и водохранилища. Однако роль поверхностных вод в формировании химического состава большинства родников незначительна, она проявляется только в течение двух – трех недель в период половодья.

Основу взаимодействия системы составляет соотношение уровней водоносных горизонтов. Меняются соотношения – меняются и пропорции между НВ, СнГВ и БнГВ, после чего изменяется и химический состав родниковых вод.

Почти все изученные нами родники не имеют гидравлической связи с Волгой, корреляция между дебитами и НПУ отсутствует.

Температурный режим родников тесно связан с источниками питания. Родники I – II группы зависят от климатических условий на дневной поверхности. Температура воды этих родников зимой опускается иногда до (-1°C), летом повышается до $+15.0^{\circ}\text{C}$ (Савватьевские родники, Оршинский, Бор).

Пределы колебаний температуры зависят от климатических условий года и предыдущих лет.

Например, в 2006 году в начале сентября вода в роднике Бор прогрелась до $+15.6^{\circ}\text{C}$, а в 2012 – 2013 годах максимальная температура летом оказалась всего лишь $+10.1^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.11).

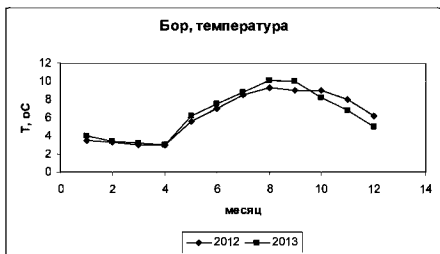


Рис. 2.11. Годовой ход кривых среднемесячных температур, родник Бор, 2012 и 2013 годы

В 2009 году температуры родника снизились с $+6^{\circ}\text{C}$ (15 ноября) до 0°C (22 января) 2010 года и держались в пределах $+1-2^{\circ}\text{C}$ вплоть до 18 мая, когда поднялись до $+5^{\circ}\text{C}$. Только 26 мая температура установилась на уровне $(+8) - (+10)^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.12).

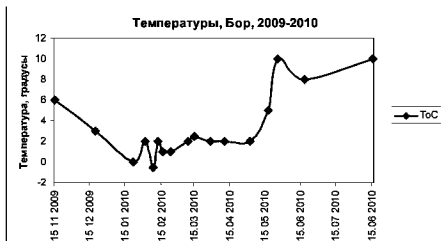


Рис. 2.12. Динамика температур воды родника Бор в 2009-2010 годах

В 2013 году наблюдалась иная картина, уже 25 января температура составила $+4^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.13).

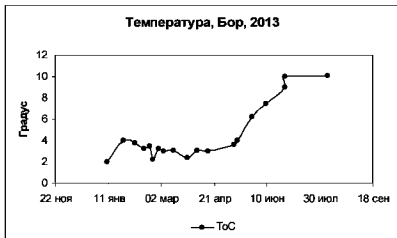


Рис. 2.13. Нарастание температур воды родника Бор в 2013 году

В родниках третьей группы разброс температур больше, но не всегда. В Раздолье температура за все годы наблюдений колебалась в пределах 6.8 – 13.6 °С; в Никифоровском роднике – от 6 до 10.6 °С. Родник Парк имеет практически постоянный диапазон температур от +5 °С до +8 °С (в особенно жаркие дни).

На рис. 2.14 приведен годовой ход кривой температуры родника Городня. Здесь пики температур приурочены к лету, но годовые амплитуды залегают лишь в пределах 3 – 7 °С.

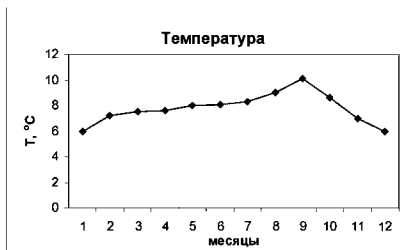


Рис. 2.14. Годовой ход кривой среднемесячных температур. Городня, 2011 год

За все годы наблюдений в роднике Городня температура колебалась в пределах от +3 °С до + 11.4 °С; в 2011 году она не поднялась выше +10 °С.

Годовой ход кривых температур родников одной и той же группы сходен, например, в группе IV кривая имеет только один экстремум в летний месяц.



Рис. 2.15. Динамика температур родника Школа, 2013 год

В период январь – апрель 2013 года родник Школа получал питание от восходящих водоносных горизонтов, наблюдалась практически постоянная температура воды (3 – 4 °С), однако с поступлением на водосборную площадь просочившихся талых вод в августе температура воды поднялась до +15 °С.

Наблюдения за температурным режимом родников показали: чем выше степень питания родника восходящими водами, тем более постоянна температура.

Считается, что ниже 20 м от дневной поверхности начинается зона постоянных температур, а температуры ГВ при УГВ до 20 м залегают в диапазоне +3 °С – +15 °С (Гордеев, 1991).

Воды касимовского водоносного горизонта при самонзливе, по нашим наблюдениям, имеют температуру (+7) – (+7.5) °С, клязьминского – (+7.0) – (+9.5) °С.

Однако прямые сопоставления температур и размеров расхода не дают конкретного ответа на вопрос о пространственных гидравлических связях источника.

Для более успешной идентификации питающих родник водоносных горизонтов необходима информация о химическом составе родниковых вод и временной динамике компонентов состава.

2.2. Особенности режима химического состава родниковых вод

Исследования гидрохимического состава родникового стока включали определение электропроводности (ЭПР), ионного состава, pH и Eh, биогенных элементов, цветности и перманганатной окисляемости (ПО).

Солевой состав, или главные ионы (HCO_3^- , Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-}) и биогенные вещества ($\text{Fe}_{\text{общ}}$, $\text{P}_{\text{общ}}$, ионы NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- , PO_4^{3-}) определялись в гидрохимической лаборатории НИС по стандартным методикам (Унифицированные, 1973; Методы, 1990).

Цветность определена колориметрически по Pt-Co шкале, ПО - по Кубелю. Определенные хлоридов (Cl^- -иона) проведено аргентометрически, сульфатов (SO_4^{2-} -иона) – турбидиметрически с BaCl_2 . После ориентировочного определения сульфатов точное количество определяли с этиленгликолем для диапазона измеряемых концентраций 2.0 – 10.0 мг/дм³ и с глицерином – для диапазона 10.0 – 1000.0 мг/дм³. Концентрации натрия (Na^+) и калия (K^+) проанализированы методом пламенной фотометрии в нефилтрованных пробах на приборе ПФМ-Т.

Биогенные вещества анализировались фотометрически: общее железо $\text{Fe}_{\text{общ}}$ определяли по методике с применением фенантролина, аммонийный азот NH_4^+ - с реактивом Несслера, нитратный азот NO_3^- – с салицилатом натрия, нитритный NO_2^- – с реактивом Грисса; фосфор общий $\text{P}_{\text{общ}}$ и минеральный фосфор PO_4^{3-} – с аскорбиновой кислотой, в фильтрованных пробах.

Замер величин окислительно-восстановительного потенциала Eh и водородного показателя pH производили *in situ* (портативными приборами для полевых исследований) или в лаборатории потенциометром pH-673.

За годы исследований накоплен обширный аналитический материал, привести его в полном объеме в представленной работе невозможно. В разделе рассматриваются опорные родники разных групп, а также те родники, химический состав которых в дальнейшем будет фигурировать в разделе 4.1.

Химический состав I группы близок к составу АО. В этих родниках наблюдаются наиболее низкие общая минерализация, цветность и ЭПР. В воде

родника Оршинский величина ЭПР летом составила 12.4 мS/m (средняя в АО – 4.8), общая жесткость – 1.2 ммоль/дм³ (в АО – 0.33).

Однако, если родник расположен на селитебной территории, за счет поступления с дневной поверхности ЗВ в его воде отмечаются повышенные концентрации соединений азота, фосфора, калия (в родниковом колодце д. Видогощи в паводок содержание нитратного азота составило 18.6 мг/дм³ при ПДК 9.1).

В Бушмииском роднике, расположенном на островке посреди Шошинского плеса на территории заповедника, величина общей минерализации колеблется в диапазоне 70 – 100 мг/дм³ (в АО средняя величина – 38.0), вода относится к категории ультрапресных, в ней обнаружен минимум органических веществ (цветность 0 градусов), величина показателя pH колеблется от слабокислого до слабощелочного.

Родниковые воды II группы более минерализованы. Если родник находится в лесу, в его воде содержится очень мало ЗВ (биогенных и органических веществ, сульфатов, хлоридов).

Природные воды почти всегда содержат органические вещества (ОВ), которые по сути состоят из водорода, кислорода и углерода. Образуются ОВ прежде всего в результате биохимического распада растительных и животных остатков, которые могут находиться в воде в растворенном состоянии, коллоидном или взвешенном (Никаноров, 1989).

Содержание ОВ характеризуют по количеству кислорода O₂ в миллиграммах, которое расходуется на его окисление в 1 л пробы воды и называется окисляемостью.

В родники ОВ поступают с водосборной площади, но могут образовываться и в водовмещающих породах. АО, фильтруясь на УГВ, вымывают из лесной почвы, опада, перегоня часть продуктов распада ОВ, и они попадают на зеркало ГВ.

За общие характеристики химического состава родников авторы принимают водородный показатель pH, ЭПР, ПО, цветность и общую

минерализацию.

Величины цветности и ПО показывают, какое количество легкоокисляемого органического вещества содержится в воде родника. Под минерализацией воды понимается количество растворенных в ней минеральных веществ, выраженное в виде общей минерализации: суммы всех найденных при химическом анализе минеральных веществ (Никаноров, 1989).

Колебания указанных характеристик вод опорных родников в диапазоне максимум – среднее – минимум за весь период наблюдений представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

Среднеголетние общие характеристики (максимум/среднее/минимум) по опорным родникам за весь период наблюдений

| Показатель | pH | ЭПР | ПО | цветность | Минерализация |
|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|-----------|---------------------|
| Ед. измерения Родник | | mS/m | мгО/ дм ³ | градус | мг/ дм ³ |
| Селихово | 8.06/7.12 /6.47 | 131/106.4/ 50.1 | 13.9/2.4 /0.33 | 65/10/0 | 946/741 /364 |
| Городня | 7.99/7.1/ 5.49 | 150.8/123/ 93.7 | 20/3.0/ 0.4 | 40/10/0 | 1053/870 /564 |
| Парк | 7.8/7.3/ 6.47 | 47/39/28 | 38/8/1 | 52/43/7 | 426/294 /205 |
| Бор | 8.43/ 7.35/5.57 | 80/29/17 | 16/2.1/ 0.4 | 25/6/0 | 287/226 /123 |
| Школа | 8.68/7.11/ 5.55 | 155/118/ 56.3 | 3.8/1.9/ 0.3 | 23/5/0 | 1145/873 /459 |
| Раздолье | 7.97/7.25/ 6.12 | 64.4/45.3/ 27.1 | 8.9/2.7/ 0.8 | 30/10/0 | 472/386 /334 |
| Дмитрова Гора | 7.61/6.85/ 5.7 | 108/81/6.8 | 9.6/4.1/ 2.9 | 35/16/10 | 819/698 /589 |
| Юрятино | 7.41/7.16/6 .81 | 92.1/79/61 | 7.3/3.7/ 0.3 | 40/21/10 | 983/645 /523 |

Показатель рН приближается к нейтральному в родниках III группы. Границу пресных вод маркирует минерализация, равная 1 г/дм³. В работе мы пользуемся классификацией общей минерализации по А.М. Овчинникову, представленной в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Классификации природных вод по степени минерализации (Никаноров, 1989)

| Наименование вод | Степень минерализации |
|--|------------------------------|
| Ультрапресные | <0.2 г/дм ³ |
| Пресные | 0.2 – 0.5 г/дм ³ |
| С относительно повышенной минерализацией | 0.5 – 1.0 г/дм ³ |
| Солоноватые | 1.0 – 10.0 г/дм ³ |

Как уже упоминалось, родники I группы иногда могут быть ультрапресными; родники II и III группы по минерализации практически пресные. В остальных группах наблюдается иная картина. В периоды половодья вода родника Гордия по степени минерализации может быть охарактеризована как «солончатая», хотя в среднем не выходит за пределы пресных вод; то же относится и к роднику Школа, где средняя минерализация за все годы исследований классифицируется как «с относительно повышенной минерализацией». В V группе родники имеют минерализацию до «солончатой» включительно.

Минерализация определяется растворенными в воде минеральными веществами, или ионами. Преобладание того или иного главного иона определяет тип вод. На описываемой территории преобладают родниковые воды гидрокарбонатного кальциево - магниевого типа (состав вод, выраженный формулой Курлова, показан в Приложении 2).

Основным источником кальция являются известняки, доломиты, гипс, кальцийсодержащие силикаты. Подземные воды, медленно двигаясь в водовмещающих породах, насыщаются карбонатом кальция, если это известняки, и карбонатами кальция и магния, если в породах имеются слои

доломитов. Растворение карбонатных пород происходит с участием CO_2 , в результате чего и выделяются ионы HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} . В слабоминерализованных водах в катионном составе доминируют ионы кальция (Никаноров, 1989). К главным ионам относят ионы гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов, кальция, магния, натрия и калия, разброс концентраций которых (солевой состав) представлен за весь период наблюдений в таблицах 2.4 и 2.4а.

Таблица 2.4

Среднегодовое солевого состава (максимум/среднее/ минимум) по опорным родникам за весь период наблюдений, мг/дм³

| Показатель | Городия | Парк | Бор | Школа |
|--------------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| Мг/дм ³ | 1994-2013 | 2006-2013 | 1997-2013 | 2006-2013 |
| HCO_3^- | 488/407/317 | 305/187/131 | 183/152/79 | 500/436/139 |
| K^+ | 99/35/6 | 8/4/0 | 50/3/0 | 93/13/0.4 |
| Na^+ | 65/39/13 | 13/6/1.6 | 17/3/0 | 120/28/0.7 |
| Ca^{2+} | 192/152/82 | 62/52/0 | 58/40/20 | 212/147/92 |
| Mg^{2+} | 52/30/5 | 22/12/0 | 21/9/0 | 76/39/10 |
| Cl^- | 142/55/34 | 27/14/4 | 7/3/0,1 | 78/47/6 |
| SO_4^{2-} | 364/106/30 | 47/22/9.5 | 70/17/2 | 383/177/68 |

Таблица 2.4 а

Среднегодовое солевого состава (максимум/ среднее/ минимум) по опорным родникам за весь период наблюдений, мг/дм³

| Показатель, | Юрятино | Дмитрова Гора | Селихово | Раздолье |
|--------------------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| мг/дм ³ | 1988-2005 | 1997-2009 | 1994-2013 | 1998-2012 |
| HCO_3^- | 390/363/348 | 427/386/336 | 476/420/366 | 360/270/232 |
| K^+ | 98/62/28 | 82/20/0 | 43/18/0 | 8/2/0.4 |
| Na^+ | 135/46/6 | 74/26/8 | 55/35/16 | 10/3/0.8 |
| Ca^{2+} | 99/84/44 | 118/105/96 | 160/121/48 | 80/65/44 |
| Mg^{2+} | 45/24/12 | 32/28/23 | 73/30/0 | 24/20/17 |
| Cl^- | 25/19/15 | 55/28/18 | 87/61/8 | 10/4/0 |
| SO_4^{2-} | 94/48/22 | 149/59/30 | 196/69/18 | 62/15/3 |

В изученных родниках за все годы исследований максимальные и средние содержания ионов HCO_3^- , Ca^{2+} и Mg^{2+} близки между собой даже в родниках первых групп, характеризующихся наибольшей изменчивостью состава.

Калий по химическим свойствам похож на натрий, но не обладает такой сильной способностью к миграции, поэтому в незагрязненных природных водах калия на порядок меньше (Лукнер, 1986). Его концентрации меняются от 100 мг/дм^3 в Городне до отсутствия в фиоовом роднике Бор, средние концентрации составляют $30 - 40 \text{ мг/дм}^3$ в родниках групп IV - V, и порядка 10 мг/дм^3 и менее - в родниках остальных групп.

Хлориды и сульфаты в воде исследованных родников в ряду главных ионов в целом играют подчиненную роль.

Концентрации ионов хлора, самого мобильного и наиболее консервативного из всех главных ионов, не превышают 100 мг/дм^3 в максимуме во всех группах родников, за исключением тех, водосборные площади которых включают зоны повышенной трещиноватости и автодорожные магистрали. В воде этих родников и ключевых колодцев (Шуклово, Городня, Завидово) из-за поступления восходящих глубоких вод по трещинам и использования противогололедных реагентов в половодье в конце прошлого века содержание хлоридов иногда достигало 600 мг/дм^3 . В настоящее время в Городне концентрации хлоридов составляют $50 - 60 \text{ мг/дм}^3$.

Сульфат - ионы тоже мобильны, но из-за своей значительной биологической роли уступают хлоридам в подвижности.

Часть сульфатов в водах родников генетически связана с загипсованными водовмещающими породами (ключевой колодец в Горохово, родник Школа), часть поступает благодаря окислению сульфидов, часть фильтруется с инфильтрационными водами из лесной подстилки и опада, а также имеет антропогенное происхождение. Содержание иона SO_4^{2-} колеблется в минимуме для родников I группы (от 2.0 до 14.0 мг/дм^3), в максимуме достигает 70 мг/дм^3 .

Наиболее высокие концентрации сульфатов за весь период исследований (до 360 в Городне и до 500 мг/дм³ в колодце д. Горохово) наблюдались в родниках IV группы.

Кроме главных ионов, образующих основную часть минерального состава, вода содержит биогенные вещества, к которым большинство исследователей относят соединения азота N, фосфора P, железа Fe и кремния Si (Никаноров, 1989).

Определение кремния в лаборатории НИС ранее не проводилось, поэтому динамика его соединений нами не рассматривается.

Азот и фосфор входят в состав всех тканей живых организмов; в напорных водах карбона концентраций соединений этих элементов незначительны.

Азот присутствует в воде в виде органических и неорганических соединений; определялись только формы минерального азота: нитратная, нитритная и аммонийная, которые тесно связаны и при соответствующих условиях переходят друг в друга.

Поступление соединений N и P в воды водоемов и водотоков, по берегам которых расположены родники, способствует росту процессов евтрофирования: берега зарастают водной растительностью, качество воды для обитания моллюсков, фитопланктона, дрейссены значительно ухудшается. На конец XX века Ивановское водохранилище оценивалось как евтрофное (Микробиологическая, 2000).

Предельно допустимые концентрации (ПДК) для оценки загрязненности вод разработаны отдельно для централизованных и нецентрализованных питьевого и рыбохозяйственного назначения (Ивановское водохранилище). Санитарно-эпидемиологические требования к качеству воды водоемов последнего типа наиболее жесткие из-за разного диапазона выживаемости рыб и мальков.

В таблице 2.5 показаны колебания концентраций биогенных веществ в родниковых водах за весь период исследований.

Среднегодулетние концентрации биогенных элементов (максимум/среднее/минимум), мг/дм³, в опорных родниках за весь период наблюдений

| Показатель | P общ | PO ₄ ³⁻ | NH ₄ ⁺ | NO ₃ ⁻ | Fe _{общ} |
|------------------|-------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|
| Селихово | 1.64/0.1/ 0.03 | 1.45/0.05/0. 01 | 0.87/0.24/0. 03 | 65/31/0.23 | 0.34/0.1/0 |
| Городня | 0.23/0.13/0 | 0.22/0.08/0 | 2.5/0.32/ 0.03 | 250/91/0.7 | 0.37/0.1/0 |
| Парк | 0.25/0.1/0 | 0.11/0.07/0 | 1.3/0.4/0 | 1.6/0.5/0 | 5.2/1.5/0 |
| Бор | 0.3/0.1/ 0.02 | 0.25/0.1/ 0.02 | 0.78/0.13/0 | 4.7/0.4/0 | 0.08/0.05/0 |
| Школа | 0.19/0.05/0 | 0.14/0.02/0 | 0.82/0.12/0 | 23/7.5/0.8 | 1.4/0.11/ 0.01 |
| Раздолье | 0.16/0.03/0 | 0.04/0.01/0 | 0.68/0.23/0. 01 | 19.5/11.5/0 .8 | 2/0.8/0.05 |
| Дмитрова Гора | 0.4/0.28/ 0.22 | 0.29/0.23/0. 03 | 0.63/0.21/0. 01 | 74/49/25 | 0.04 |
| Юрятино | 0.28/0.07/0 | 0.21/0.03/0 | 0.96/0.51/0. 12 | 76/43/5.7 | 0.15/0.11/ 0.06 |
| ПДК* | - | 0.05-2.0 | 2.0 | 45.0 | 0.3 |

Примечание: * по СанПиН 2.1.4.1074-01.

В нижней строке приведены ПДК биогенных веществ для питьевых источников (Шитиков, 2005). Сравнение максимальных величин соединений азота и фосфора показывает, что в очагах загрязнения, где расположены животноводческие фермы, содержание нитратного азота может достигать 5ПДК (во время половодья в Городне).

Однако, зная величины дебитов родников и сезонную динамику всех компонентов, становится очевидным, что эти временные концентрации не несут в себе опасности.

Общая минерализация является одной из интегральных характеристик качества питьевой воды.

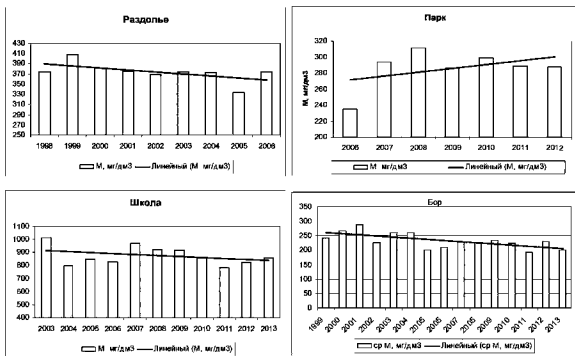


Рис. 2.16. Многолетний ход изменения общей минерализации с линией тренда в родниках Раздолье, Парк, Школа и Бор

На рис. 2.16 представлена серия графиков, иллюстрирующая многолетние изменения минерализации в родниках разных групп. Хотя ряды наблюдений коротки, в целом можно сказать, что в течение 6 –ти – 8-ми лет в трех родниках величина минерализации имела тенденцию к снижению, а в роднике Парк – к увеличению.

Рассмотрим более подробно особенности формирования химического состава родников II группы, представителем которого является Родник Бор (общая характеристика дана в разделе 1.3).

Межгодовая динамика химического состава этого родника представлена в таблице 2.6

В многолетнем разрезе с 1999 года величина показателя рН варьирует от слабокислого (6.14) до слабо щелочного (7.88), наблюдается довольно значительный разброс показателей содержания органических веществ – цветности от 4 до 28 градусов, ПО - от 0.8 до 3.2 мг/дм³, величины общей жесткости и минерализации практически постоянны.

Среднедолголетние общие характеристики родника Бор

| Год | рН | ЭПР | цветн. | ПО | Ca ²⁺ +Mg ²⁺ | Минерализация |
|------|------|------|---------|----------------------|------------------------------------|---------------------|
| | | мS/m | (град.) | мг О/дм ³ | ммоль/ дм ³ | мг/ дм ³ |
| 1999 | 6.8 | 27.2 | 15 | 1.53 | 3.38 | 243 |
| 2000 | 6.14 | 28.9 | 6 | 3.27 | 3.05 | 268 |
| 2001 | 7.72 | 28.1 | 15 | 0.84 | 3.2 | 287 |
| 2002 | 6.55 | 28.1 | 10 | 1.49 | 2.7 | 226 |
| 2003 | 6.88 | 27.4 | 28 | 8.14 | 3.4 | 261 |
| 2004 | 6.88 | 27.4 | 10 | 8.14 | 3.4 | 261 |
| 2005 | 7.87 | 26.1 | 6 | 1.57 | 2.5 | 200 |
| 2006 | 6.89 | 26.9 | 8 | 2.65 | 2.71 | 209 |
| 2007 | 7.68 | 29.8 | 10 | 8.15 | 2.72 | 227 |
| 2008 | 7.07 | 32.1 | 6 | 1.78 | 2.8 | 227 |
| 2009 | 7.08 | 28.4 | 8 | 1.7 | 2.78 | 234 |
| 2010 | 7.42 | 32.1 | 10 | 3.21 | 2.66 | 224 |
| 2011 | 7.48 | 31.6 | 4 | 1.5 | 2.71 | 193 |
| 2012 | 7.88 | 29.6 | 7 | 1.8 | 2.64 | 231 |
| 2013 | 7.55 | 29.1 | 8 | 1.95 | 2.57 | 201 |

На рис. 2.17 графически показана многолетняя динамика общих показателей с линией трендов рН и ПО: величина рН в целом увеличивается, содержание растворенного ОВ – снижается.

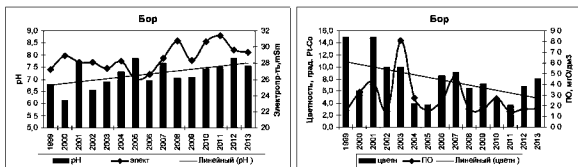


Рис. 2.17. Многолетняя динамика общих показателей, родник Бор, 1999 – 2013 годы

Если в многолетнем аспекте общая минерализация родника Бор уменьшается, то в годовых циклах наблюдаются тренды разных знаков: в 2008 и 2009 – убывающий, в 2011 и 2013 годах – возрастающий (рис. 2.18).

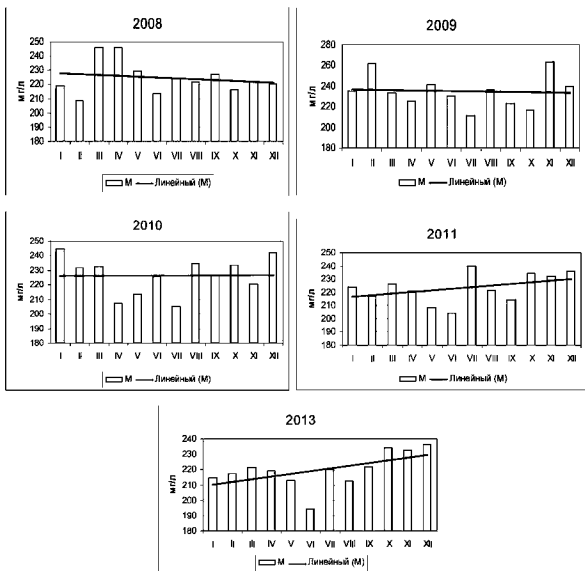


Рис. 2.18. Серия графиков годового хода изменения общей минерализации родника Бор с линией тренда, 2008 – 2013 годы

Такая разнонаправленность годовой динамики минерализации свидетельствует о связи родников II группы с климатическими факторами (количеством осадков, температурой воздуха, оттепелями и др.).

Рассмотрим межгодовую динамику содержания главных ионов в Бору, представленную в таблице 2.7.

За 15 лет концентрации хлоридов остались незначительными, изменяясь в пределах 0.1 - 4.4 мг/дм³.

Самое низкое содержание сульфатов (SO_4^{2-}) составило 12 мг/дм³. Максимальная величина: 42.9 мг/дм³ приурочена к 2001 году, которому предшествовала серия многоводных лет.

Концентрации иона HCO_3^- остаются в течение всего промежутка времени в пределах 130-180 мг/дм³, натрия и калия – меняются от 0.6 до 5.0 и от 0.38 до 5.88 мг/дм³ соответственно, ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} от 37.0 до 53.0 и от 7.5 до 17.7 мг/дм³.

Происхождение гидрокарбонатов, кальция и магния в родниковых водах не имеет техногенного источника, и изменение доли магния в сумме солей жесткости (в 2003 году) свидетельствует о каком-то нарушении в карбонатиом равновесии водовмещающих пород верхнего карбона.

Таблица 2.7

Среднегодовые показатели солевого состава воды родника в бору, мг/дм³

| Годы | Показатель | | | | | | |
|------|---------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|---------------|--------------|
| | Cl^- | SO_4^{2-} | HCO_3^- | Ca^{2+} | Mg^{2+} | Na^+ | K^+ |
| 1999 | 3.8 | 31 | 162 | 51 | 10 | - | - |
| 2000 | 2.0 | 39.0 | 171 | 47.0 | 8.5 | 5 | 3 |
| 2001 | 1.3 | 43 | 134 | 38.0 | 8.5 | - | - |
| 2002 | 1.7 | 21.8 | 146 | 40.0 | 8.5 | 0.6 | 0.38 |
| 2003 | 4.4 | 41 | 156 | 39.0 | 17.7 | 0.85 | 1.06 |
| 2004 | 1.0 | 14.0 | 149 | 45.7 | 13.4 | 0.38 | 1.83 |
| 2005 | 0.1 | 23 | 128 | 37.0 | 7.9 | 0.19 | 0.77 |
| 2006 | 1.6 | 15.0 | 140 | 39.0 | 9.3 | 0.57 | 1.41 |
| 2007 | 2.0 | 22.5 | 145 | 40.2 | 9.3 | 1.4 | 5.88 |
| 2008 | 3.3 | 16.1 | 151 | 41.9 | 9.6 | 1.77 | 3.02 |
| 2009 | 2.7 | 22.5 | 154 | 39.6 | 8.3 | 2.67 | 2.54 |
| 2010 | 2.4 | 12.5 | 154 | 39.7 | 8.3 | 5.99 | 3.61 |
| 2011 | 2.2 | 11.8 | 157 | 41.0 | 8.7 | 5.58 | 2.39 |
| 2012 | 2.4 | 12.2 | 161 | 42.5 | 7.5 | 5.15 | 2.25 |
| 2013 | 2.9 | 17.2 | 145 | 38.6 | 8.7 | 5.6 | 1.47 |

На рис. 2.19 представлена серия хода кривых среднегодовых концентраций главных ионов.

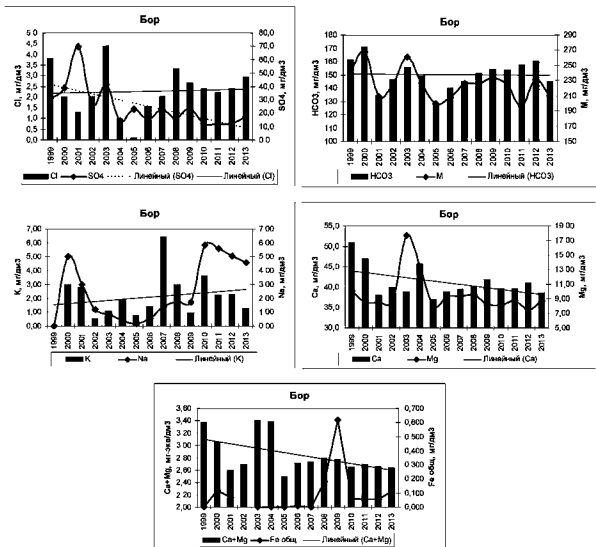


Рис. 2.19. Многолетний ход среднегодовых концентраций главных ионов в воде родника Бор с линией тренда, 1999 – 2013 годы

На графиках видно, что среднегодовые содержания главного иона HCO₃⁻ в многолетнем разрезе мало вариабельны; концентрации кальция за 15 лет наблюдений в целом снизились, наибольшие амплитуды концентраций отмечаются для магния и общего железа.

В многолетнем разрезе отмечается тенденция снижения концентраций иона сульфатов и суммы солей кальция и магния. Рассмотрим колебания концентраций биогенных веществ (таблица 2.8).

Среднегодовые показатели содержания биогенных элементов в воде родника Бор

| Годы | PO ₄ | P _{общ} | % P | NH ₄ | NO ₂ | NO ₃ | N _{общ} | Fe _{общ} |
|------|----------------------|------------------|-----|----------------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------------|
| | мг P/дм ³ | | | мг N/дм ³ | | | | |
| 1997 | 0.08 | – | – | 0.6 | 0.001 | 0.21 | 0.81 | - |
| 1999 | 0.04 | 0.04 | 100 | 0.23 | 0.01 | 0.1 | 0.34 | - |
| 2000 | 0.09 | 0.13 | 69 | 0.38 | 0.00 | 0.24 | 0.62 | 0.12 |
| 2001 | 0.07 | 0.11 | 64 | 0.29 | 0.004 | 0.18 | 0.474 | 0.13 |
| 2002 | 0.07 | 0.11 | 64 | 0.17 | 0.003 | 0.09 | 0.263 | - |
| 2003 | 0.17 | 0.18 | 94 | 0.23 | 0.01 | 0.13 | 0.37 | - |
| 2004 | 0.08 | 0.09 | 89 | 0.22 | 0.008 | 0.07 | 0.298 | - |
| 2005 | 0.08 | 0.1 | 80 | 0.11 | 0.01 | 0.56 | 0.68 | - |
| 2006 | 0.06 | 0.1 | 60 | 0.21 | 0.02 | 0.15 | 0.38 | 0.02 |
| 2007 | 0.07 | 0.09 | 78 | 0.1 | 0.023 | 0.13 | 0.253 | 0.001 |
| 2008 | 0.07 | 0.09 | 78 | 0.04 | 0.012 | 0.12 | 0.172 | 0.06 |
| 2009 | 0.06 | 0.08 | 75 | 0.25 | 0.01 | 0.74 | 0.998 | 0.6 |
| 2010 | 0.07 | 0.11 | 64 | 0.07 | 0.002 | 0.08 | 0.152 | 0.088 |
| 2011 | 0.08 | 0.11 | 73 | 0.04 | 0.001 | 0.08 | 0.121 | 0.055 |
| 2012 | 0.08 | 0.12 | 67 | 0.08 | 0.001 | 0.08 | 0.161 | 0.279 |
| 2013 | 0.08 | 0.15 | 53 | 0.23 | 0.002 | 0.12 | 0.352 | 0.102 |

Количество биогенных веществ в роднике Бор незначительно, хотя иногда в половодье наблюдались содержания аммонийного азота порядка 1,2 мгN/дм³.

Содержание минерального фосфора (PO₄³⁻) колебалось от 0.04 до 0.17 мгP/дм³ при среднем 0.08, P_{общ} – от 0.04 до 0.18 мгP/ дм³ при средней концентрации 0.11.

В четвертом столбце таблицы дана динамика процентного содержания минерального фосфора от его общего количества, показывающая, как меняется на водосборной площади родника уровень антропогенной нагрузки (Лозовик, 2006). Если в 1999 году эта величина составляла 100%, то в настоящее время мы наблюдаем ее снижение до 53% (с 2011 года за экологическим состоянием Конаковского парка следят волонтеры и административные органы города).

Содержание азотных соединений отличается нестабильностью: концентрации аммонийного азота варьируют в диапазоне 0.04 - 0.6 мгN/л, нитритного от отсутствия до 0.023 мгN/л, нитратного – 0.07 - 0.74 мгN/л. Содержание Fe_{общ} в 2008 и 2012 годах составило соответственно 0.6 и 0.28 мг/

дм³, то есть оказалось выше ПДК, что этому роднику несвойственно.

Динамика химического состава родника Бор в годы разной водности

Для прогностических целей важно проследить, зависит ли химический состав родников, наиболее тесно связанных с количеством АО, выпавших на водосборной площади, от водности года. Поскольку изученные родники разбросаны по значительной площади вокруг водохранилища, за критерий водности года для выбора временного промежутка примем годовой объем притока воды в Ивановское водохранилище (данные по объемам притока предоставлены Управлением эксплуатации Ивановского водохранилища).

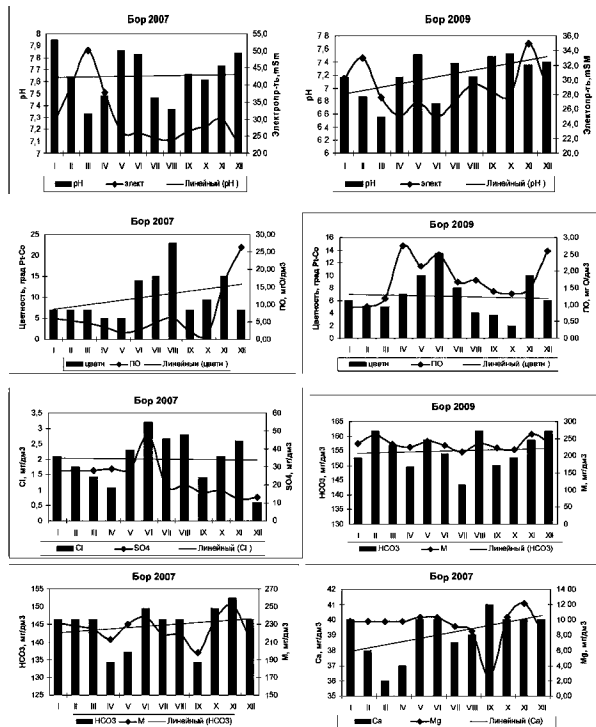
Рассмотрим, как менялись компоненты химического состава родниковых вод в маловодном году (2007, объем притока составил 7815 млн м³), среднем по водности 2008 (приток - 10699 млн м³) и многоводном 2009 (приток - 14316 млн м³). Поскольку при анализе важно знать, какое количество АО выпало конкретно на водосборную площадь родника, используем собственные данные ежемесячного количества АО, выпавших в г. Коиаково (таблица 2.9).

Таблица 2.9.

Помесячное распределение суммы годовых осадков, 2007 – 2009 годы

| Месяцы | 2007 | 2008 | 2009 |
|-----------|------|------|------|
| I | 63 | 36 | 48 |
| II | 31 | 47 | 33 |
| III | 22 | 37 | 15 |
| IV | 26 | 46 | 135 |
| V | 50 | 80 | 15 |
| VI | 34 | 105 | 40 |
| VII | 66 | 127 | 37 |
| VIII | 39 | 77 | 153 |
| IX | 75 | 57 | 35 |
| X | 82 | 60 | 96 |
| XI | 83 | 53 | 94 |
| XII | 17 | 50 | 53 |
| Всего, мм | 588 | 775 | 754 |

На рис. 2.20 показана серия графиков, иллюстрирующая динамику основных характеристик и компонентов химического состава родниковых вод Бора.



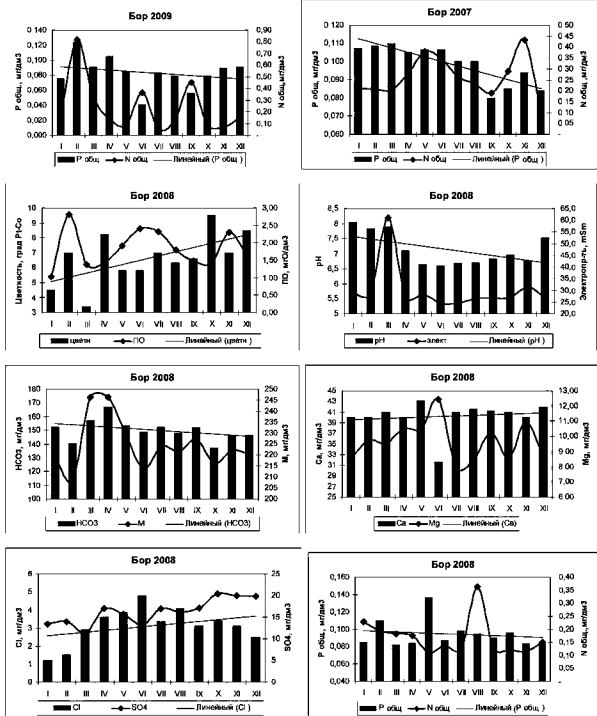


Рис. 2.20. Серия графиков динамики основных физико-химических характеристик родника Бор в период 2007 – 2009 годов с линиями трендов

При сравнении показателей можно отметить, что в годы разной водности более всего меняется величина pH, которая зависит не от многих других факторов.

В маловодном 2007 году рН залегал в диапазоне 7.33 – 7.95, пик пришелся на январь месяц. В год средней водности экстремум рН составляет 8.0 и также приходится на январь; рН в течение года колеблется от 6.68 до 8.0 и к декабрю постепенно снижается. В многоводном 2009 году рН возрастает от 6.55 до 7.53, максимальная величина зафиксирована в мае (7.51).

Закономерности изменения ЭПР одинаковы во все годы: наблюдаются два пика, один из которых приурочен к оттепели либо половодью (февраль – март), а второй приурочен к осенним паводкам, откуда следует, - при разбавлении ГВ тальными водами в родники поступают ЗВ, из-за которых возрастает общая минерализация.

Ход кривых содержания общего азота (суммы минеральных форм азота) и общего фосфора во все годы почти совпадают.

Оба загрязнителя поступают на УГВ с дневной поверхности, о чем свидетельствует пик концентрации общего азота в августе 2008, когда в июне-июле суммарно выпало 230 мм осадков.

Диапазон концентраций иона HCO_3^- составил в 2007 году 134 - 153 (среднее 144), в 2008 – 137-167 (среднее 150) и в 2009 - 149 – 162 мг /дм³ (среднее значение 155), то есть изменения незначительные.

В маловодном 2007 году минимум кальция приурочен к марту и составил 36 мг /дм³, в 2008 – к июлю (32 мг /дм³), в 2009 году воды родника содержали минимальные количества кальция в апреле (39 мг /дм³). Содержания главных ионов (HCO_3^- , Ca^{2+} и Mg^{2+}) в целом не зависят от водности года.

Таким образом, на закономерности формирования химического состава родниковых вод II типа на описываемой территории водность года в целом не влияет.

Следующим блоком изучения химического состава родников данной группы является его сезонная изменчивость.

К зимней межени относим период года с декабря по февраль, половодье – с марта по май, в летнюю межень включены июнь – август, осенние паводки – сентябрь – ноябрь.

В таблице 2.10 представлен многолетний разброс общих показателей и компонентов состава по сезонам года за весь исследованный период.

Анализируя представленные в таблице данные, можно сделать вывод, что в течение года в ряду катионов доминирует кальций, в ряду анионов гидрокарбонаты, среди минимальных концентраций хлор - иона наибольшая приурочена к летнему периоду; сульфат - иона – к зимнему.

В целом химический состав родника имеет устойчивый внесезонный характер.

Таблица 2.10

Многолетняя сезонная изменчивость химического состава родника Бор (максимум/минимум/среднее)

| Показатель | Зимняя межень | Половодье | Летняя межень | Паводок |
|---|--|---|--|---|
| pH | 8.28/6.02/7.56 | 8.43/5.74/7,35 | 7.7/5.88/7.10 | 7.8/5.57/7.29 |
| ЭПР, mS/m | 39.0/22.2/29.7 | 83.5/21.4/32.0 | 30.9/22.9/26.7 | 37.7/17.0/29.0 |
| Cl ⁻ , мг /дм ³ | 6.5/0.1/2.4 | 7.30/0.1/2.6 | 6.7/0.7/2.8 | 5.40/0.1/2.2 |
| SO ₄ ²⁻ , мг /дм ³ | 69.6/7.2/18 | 48.0/6.4/17 | 35.5/0.6/16 | 58.5/4.0/18 |
| HCO ₃ ⁻ , мг /дм ³ | 183/134/155 | 183/119/151 | 171/140/151 | 171/79/152 |
| K ⁺ , мг /дм ³ | 9.8/0/2.6 | 50.3/0/3.1 | 4.0/0/1.2 | 28.0/0/3.7 |
| Na ⁺ , мг /дм ³ | 17.0/0.1/3.4 | 11.5/0/3.2 | 5.1/0/2.0 | 9.0/0.2/3.1 |
| Ca ²⁺ , мг /дм ³ | 58.0/36.1/42 | 48.0/36.0/40 | 55.0/20.0/40 | 48.0/20.0/40 |
| Mg ²⁺ , мг /дм ³ | 17,1/1.16/8.8 | 14.6/4.82/9.2 | 19.5/0/7.9 | 20.7/2.44/9.6 |
| M [*] , мг /дм ³ | 262/76/221 | 287/191/226 | 257/76/216 | 278/67/218 |
| NO ₃ ⁻ , мгN/дм ³ | 0.71/0.0/0.12 | 1.06/0/0.12 | 0.84/0.01/0.11 | 0.39/0/0.10 |
| P общ., мгP/ дм ³ | 0.18/0.07/0.10 | 0.25/0.06/0.11 | 0.39/0.02/0.12 | 0.30/0.02/0.10 |
| Цветность, градус | 25/2/6 | 18/0/6 | 25/0/7 | 15/0/8 |
| Общая жесткость, ммоль /дм ³ | 4.0/2.1/2.80 | 3,40/2.39/2.74 | 3.0/2.2/2.63 | 3.5/1.5/2.79 |
| Формула Курлова | HCO ₃ 81SO ₄ 16/ Ca69Mg24 | HCO ₃ 82SO ₄ 15 / Ca67Mg25 | HCO ₃ 82SO ₄ 16/ Ca72Mg24 | HCO ₃ 81SO ₄ 17 / Ca66Mg26 |

Примечание: * общая минерализация.

Перейдем к рассмотрению особенностей гидродинамического режима родников III группы.

Родник Парк представляет собой небольшую котловинку диаметром 0.4 м и глубиной в центре 6 – 7 см, на песчаном дне которой в виде маленьких грифоичиков бьют ключи. Здесь разгружается межморенный водоносный горизонт (f II dn-ms). По словам жителей, 20 лет назад к роднику вели деревянные мостки, вода лилась по металлическому желобу, из него пили воду отдыхающие в бору; в настоящее время вода в питьевых целях не используется.

Поскольку выход расположен на правом берегу ручья, у начала Конаковского лесопарка, то он подвержен антропогенному воздействию (сюда заходят по нужде собаки, дети и подростки пускают кораблики, в связи с чем периодически приходится очищать родник от мусора).

Расход родника, измеренный объемным способом в зимний период, колеблется в пределах 0.001 – 0.78 л/с. Вода стекает в ручей, впадающий в Волгу; непосредственно сам выход находится в 50 м от уреза водохранилища (залива). В 10 м ниже по течению ручья на том же правом берегу, на высоте 0.9 м над уровнем воды в ручье на протяжении 0.5 м наблюдается пластовое высачивание того же водоносного горизонта. В половодье и паводки родник полностью заливается водами ручья.

За весь период исследований рН воды родника изменялся от нейтрального до слабо щелочного (6.5 – 7.8 мг/л); остальные общие характеристики представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11

Среднегодовоелетние общие характеристики родника в парке

| Годы | ЭПР | цвет- ность | ПО | Ca ²⁺ +Mg ²⁺ | Минерализа- ция |
|------|------|----------------|----------------------|------------------------------------|---------------------|
| | mS/m | (град.) | мГО/ дм ³ | ммоль/ дм ³ | мг/ дм ³ |
| 2006 | 33.5 | 30 | 6.44 | 3.2 | 211 |
| 2007 | 37.5 | 23 | 5.28 | 3.4 | 242 |
| 2008 | 32.7 | 51.7 | 46.9 | 3.77 | 295 |
| 2009 | 36.7 | 47.4 | 9.1 | 3.46 | 286 |
| 2010 | 45.4 | 41.1 | 7.09 | 3.96 | 326 |
| 2011 | 50.9 | 47.4 | 6.68 | 4.43 | 331 |
| 2013 | 42 | 40 | 14.7 | 4.2 | 307 |

Среднегодовые величины ЭПР воды родника за восемь лет колебались в пределах 37 – 51 мS/m (среднее 39.8), общая минерализация – от 221 до 331 мг/дм³ (среднее 287), цветность от 23 до 52 градусов (при средней 40), ПО – 5.3 – 46.9 мгО/дм³ (среднее 13.7). Вода средней жесткости; сумма солей кальция и магния меняется в пределах 3.2 – 4.4 ммоль/дм³.

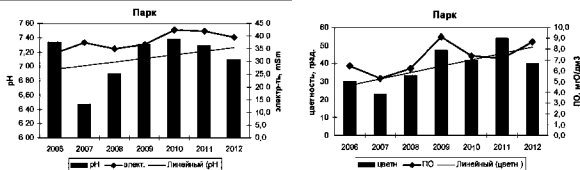


Рис. 2.21. Динамика общих характеристик родника Парк в 2006 – 2012 годах

На рис. 2.21 представлена серия графиков, иллюстрирующая межгодовую динамику величин рН, цветности, ПО и ЭПР. Отметим, что за семь лет значения рН возросли. Многолетняя динамика солевого состава родника Парк показана в таблице 2.12.

Таблица 2.12

Среднегодовое содержание ионов в роднике в парке, мг/дм³

| годы | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ |
|------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|
| 2006 | 11.3 | 177 | 24 | 4.88 | 1.95 | 6.17 |
| 2007 | 29 | 183 | 52 | 9.76 | 1.9 | 3.6 |
| 2008 | 29.5 | 164 | 48.3 | 16.5 | 13 | 2.28 |
| 2009 | 24.1 | 182 | 52.6 | 10.1 | 2.79 | 1.55 |
| 2010 | 24.5 | 203 | 57.2 | 13.4 | 9.27 | 8.4 |
| 2011 | 40.1 | 207 | 64 | 15 | 6.6 | 4.05 |
| 2012 | 32 | 183 | 58.1 | 12.14 | 9.35 | 3.0 |
| 2013 | 9.9 | 195 | 62.4 | 13.18 | – | – |

Среднегодовые концентрации иона HCO₃⁻ в многолетнем разрезе мало переменчивы и залегают в диапазоне от 164 до 207 мг/дм³ (среднее 187).

Обращает на себя внимание тот факт, что наибольшие величины гидрокарбонатов приурочены к временному промежутку 2010-2011.

Концентрации Na и K меняются соответственно от 1.9 до 13.0 (среднее 6.4) и от 1.55 до 8.4 (среднее 4.15) мг/ дм³, Ca и Mg - соответственно от 24 до 64 (среднее 52) и от 4.8 до 16.5 (среднее 11.9) мг/ дм³.

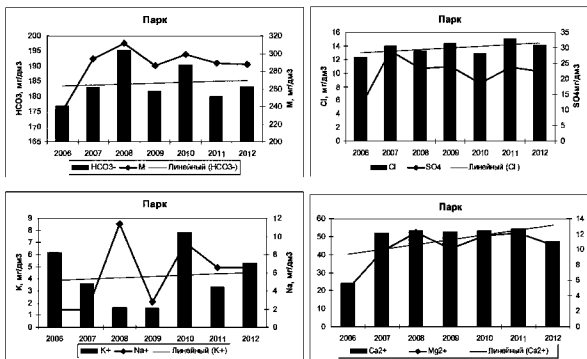


Рис. 2. 22. Динамика солевого состава родника Парк с линией тренда, 2006 – 2012 годы

Концентрации иона СГ изменялись от 12.3 до 25.5 мг/ дм³, иона SO₄²⁻ – от 9.9 до 40.0 (среднее 25.0) мг/ дм³. На графиках видно, что в среднегодовом многолетнем цикле наблюдений максимум сульфатов приурочен к 2011 году.

В таблице 2.13 показано содержание биогенных элементов в воде родника Парк. За годы наблюдений минимальные концентрации PO₄³⁻ и P_{общ} равнялись нулю, максимальные – 0.08 и 0.121 мгP/ дм³ соответственно. Концентрации аммонийного азота залегают в диапазоне от 0 - 0.42 мгN/ дм³, нитратного – 0 - 0.26 мгN/ дм³.

Из-за того, что здесь разгружаются межморенные воды, содержание общего железа очень нестабильно, часто выше ПДК. Диапазон среднегодовых концентраций залегают в пределах 0.42 (1.4 ПДК) и 2.0 мг/дм³ (7 ПДК) при средних содержаниях 1.26 мг/дм³. Зимой в воде родника плавают хлопья рыжего цвета, как облака.

Среднегодовое содержание биогенных элементов, родник Парк

| Годы | NH_4^+ | NO_2^- | NO_3^- | N общ. | PO_4^{3-} | P общ. | Fe общ. |
|------|------------------------|-----------------|-----------------|--------|----------------------|--------|---------------------|
| | мг N / дм ³ | | | | мг P/дм ³ | | мг/ дм ³ |
| 2006 | 0.22 | 0.01 | 0.19 | 0.42 | 0.07 | 0.1 | 0.95 |
| 2007 | 0.13 | 0.01 | 0.15 | 0.29 | 0.08 | 0.12 | – |
| 2008 | 0.35 | 0.01 | 0.2 | 0.56 | 0.07 | 0.11 | 2 |
| 2009 | 0.22 | 0.01 | 0.12 | 0.35 | 0.06 | 0.08 | 0.75 |
| 2010 | 0.29 | 0.00 | 0.16 | 0.453 | 0.08 | 0.13 | 1.5 |
| 2011 | 0.25 | 0.00 | 0.26 | 0.514 | 0.07 | 0.12 | 1.6 |
| 2012 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | 0.07 | 0.11 | 1.58 |
| 2013 | 0.42 | 0.00 | 0.11 | 0.533 | 0.07 | 0.13 | 0.42 |

Примечание: Прочерк означает, что в лаборатории НИС в этом году компонент не определяли.

В многолетнем разрезе наблюдается некоторый рост концентраций форм минерального азота и фосфора, что может быть связано с увеличением антропогенной нагрузки на Конаковский лесопарк. Все большее количество отдыхающих отмечают здесь праздники, просто гуляют, шагают Тропой здоровья, выгуливают собак.

Рассмотрим многолетнюю сезонную изменчивость основных показателей (таблица 2.14).

Химический состав родника за многолетний период характеризуется небольшой межсезонной изменчивостью. Показатель pH колеблется в малом диапазоне и обычно нейтральный. Наибольшая изменчивость ЭПР приурочена к паводку и осенним паводкам (амплитуды составляют 12.0 и 18.6 мS/m соответственно), летом и зимой показатель почти не меняется. Максимум концентраций гидрокарбонат – иона приурочен к зимнему периоду, когда возрастает приток вод из межморенного водоносного горизонта (305 мг/дм³ против 220 в паводок). Максимальные концентрации кальция приурочены к периоду паводков, что говорит о его поступлении в родник с водосборной площади, и составляют 34 мг/дм³. Содержание калия в воде родника в зимнюю

**Многолетняя сезонная изменчивость химического состава родника
Парк (максимум – минимум – среднее)**

| Показатель | Зимняя межень | Половодье | Летняя межень | Паводок |
|---|--|--|--|--|
| pH | 7.60/6.95/7.4 | 7.50/6.47/7.25 | 7.50/7.87/7.28 | 7.80/6.90/7.37 |
| ЭПР, mS/m | 44.8/30.0/39.5 | 46.7/34.7/40.4 | 42.2/35.5/38.9 | 47.0/28.4/38.9 |
| СГ, мг /дм ³ | 18.6/10.9/13.8 | 21.3/11.0/13.7 | 17.8/13.0/15.0 | 25.5/3.5/13.8 |
| SO ₄ ²⁻ , мг /дм ³ | 30.0/14.0/21.0 | 37.0/11.0/22.8 | 30.0/10.0/21.3 | 46.5/9.5/19.6 |
| HCO ₃ ⁻ , мг /дм ³ | 305/177/202 | 200/165/185 | 192/171/182 | 220/140/184 |
| K ⁺ , мг /дм ³ | 13.0/0/4.9 | 10.0/0/4.4 | 7.8/0.7/2.9 | 34.0/0.7/9.8 |
| Na ⁺ , мг /дм ³ | 9.5/1.6/5.6 | 9.4/1.9/5.4 | 7.5/2.3/5.3 | 25.8/2.0/12.4 |
| Ca ²⁺ , мг /дм ³ | 58.8/49.5/55.1 | 58.1/50.0/54.1 | 60.0/40.0/52.3 | 62.4/0/48.6 |
| Mg ²⁺ , мг /дм ³ | 22.3/9.2/13.3 | 13.4/8.4/10.9 | 18.2/9.7/12.0 | 15.9/0/9.7 |
| Минерализация, мг /дм ³ | 426/269/313 | 306/267/293 | 309/272/289 | 350/205/287 |
| Цветность, градус | 50/18/33 | 78/18/44 | 88/27/54 | 92/7/90 |
| NO ₃ , мг N/дм ³ | 0.20/0.06/0.12 | 0.36/0.0/0.11 | 0.14/0.04/0.08 | 0.35/0.05/0.16 |
| P общ, мгP/дм ³ | 0.14/0.09/0.11 | 0.15/0.0/0.11 | 0.25/0.0/0.13 | 0.13/0.025/0.10 |
| Жесткость, мг-экв /дм ³ | 4.66/3.5/3.84 | 3.90/3.39/3.6 | 3.80/3.30/3.60 | 4.30/2.80/3.5 |
| Формула Курлова | HCO ₃ 77SO ₄ 14/ Ca65Mg26 | HCO ₃ 75SO ₄ 16/ Ca68Mg23 | HCO ₃ 74SO ₄ 15 Cl11/Ca67 Mg25 | HCO ₃ 76SO ₄ 14Cl 10/Ca60Mg20 Na13 |

межень почти в три раза меньше; те же закономерности прослеживаются и для иона натрия.

В наибольшей степени химический состав родника меняется в сезон паводков – возрастает поступление ОВ (цветность увеличивается иногда до 90 градусов), сульфатов (до 47 мг/дм³ при среднегодовой концентрации 20.0), хлоридов (до 27.0 мг/дм³).

Относительно большие концентрации общего фосфора (0.25 мгР/дм^3), приуроченные к периоду летней межени, связаны, скорее всего, с увеличением посещения парка летом отдыхающими и туристами.

В зимний и летний периоды вода родника Парк имеет гидрокарбонатный кальциево-магниевый состав, в остальные сезоны преимущественно гидрокарбонатный кальциевый, что подтверждает увеличение доли разгрузки напорных вод карбона, в составе отложений которых присутствуют доломиты.

При анализе массива данных по описываемому роднику обращает на себя аномальность концентраций некоторых компонентов в период 2010 – 2011 годов. Жители Москвы, Подмосковья, Тверской, Рязанской, Владимирской и других областей Центральной России хорошо запомнили 2010 год – жаркий и засушливый, когда горели торфяники, и желтый душливый смог окутывал города и поселки. Известно, что при лесных пожарах в атмосферу поступают соединения углеводородов и диоксид серы SO_2 (Фелленберг, 1997). Сравним химический состав родника Парк за два года подряд – 2010 и 2011 (рис. 2.23, 2.23а).

Анализ представленных данных показал следующее.

Величина рН в течение 2010 года менялась незначительно, минимум составил 7.16 и наблюдался в октябре; абсолютные величины рН колебались от 7.4 в январе до 7.5 – в декабре. В годовом цикле 2011 года происходит уменьшение величины рН, минимум составляет уже 6.9 (приурочен к ноябрю), абсолютные величины рН снижаются от 7.5 в январе до 7.2 – в декабре.

Цветность в 2010 году от января к декабрю в целом возрастает. Максимум (70 градусов) приурочен к июлю, с января по апрель цветность нарастает от 18 до 51 градуса, затем начинает уменьшаться. Аналогичная динамика цветности с пиком, приуроченным к июлю, наблюдалась и в 2011 году (экстремальное значение составило 88 градусов). В целом ход кривых, характеризующих содержание в воде легкоокисляемых ОВ , в том и другом годах аналогичен: с января по апрель идет нарастание, затем цветность снижается, далее в июле просходит резкий всплеск с последующим убыванием.

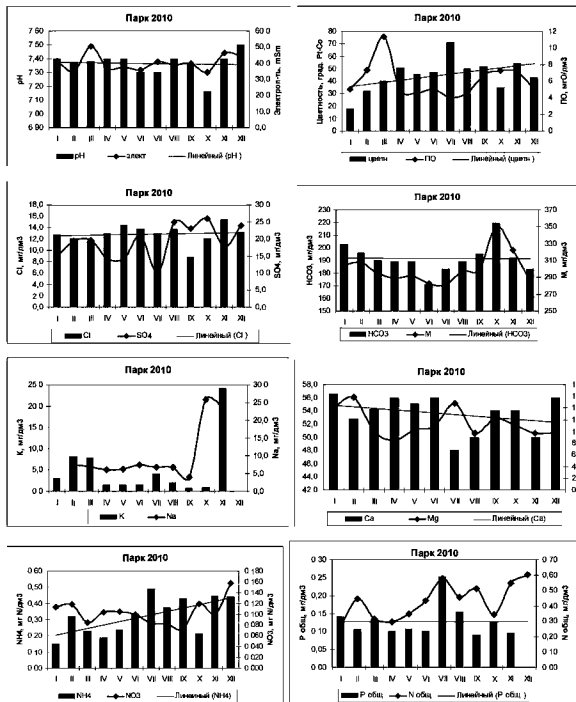


Рис. 2.23. Серия хода кривых концентраций основных ионов, биогенных веществ и общих характеристик родника Парк с линией трендов в 2010 году

Главные ионы. Годовой ход кривой концентраций иона гидрокарбонатов в 2010 году в целом однородный: с января (203 мг/дм^3) происходит закономерное снижение концентраций до минимума в июле (171 мг/дм^3), и далее наблюдается нарастание концентраций с пиком (220 мг/дм^3) в октябре, после чего содержание иона снижается до 183 мг/дм^3 .

В 2011 году концентрации иона в январе составляют 305 мг/дм^3 , и затем содержание гидрокарбонатов неуклонно снижается. Минимальная концентрация наблюдается в апреле (165 мг/ дм^3), и к декабрю содержание гидрокарбонатов составляет 244 мг/ дм^3 . В последующие годы концентрации гидрокарбонатов выравниваются. Закономерности внутригодовой динамики кальция и магния в целом аналогичны. В 2010 году минимум кальция (48 мг/дм^3) приурочен к июлю, при этом содержание магния в воде возрастает до 15 мг/дм^3 . Максимальная концентрация кальция в 2010 году составляла 54 мг/ дм^3 . В 2011 году минимум сдвигается на август (40 мг/дм^3), соответственно количество магния увеличивается до 18 мг/дм^3 , а максимумы кальция (60 мг/дм^3) приходятся на IX и XI месяцы.

Хлориды и сульфаты. Эти компоненты являются загрязнителями, поступающими в описываемый родник с дневной поверхности. Годовой ход колебаний кривых их концентраций практически совпадает. Абсолютная величина максимального содержания сульфат - иона в 2011 году составила 37 мг/ дм^3 и приурочена к апрелю; максимум хлоридов тоже наблюдался в апреле (21 мг/ дм^3), что свидетельствует об их совместном продвижении с тальми водами по зоне аэрации на УГВ. Обращает на себя внимание факт, что % - эквивалентное содержание сульфат - иона в январе 2010 года составляло 8%, в феврале 2011 – 12 %.

Биогенные вещества. Динамика годового хода концентраций соединений N и P очень похожа. В 2010 году концентрация аммонийного азота возрастает в феврале и снижается в апреле, пик концентраций (0.46 мг/ дм^3) приходится на июль, в 2011 году – на апрель. Сдвиг пика можно объяснить количеством выпавших в 2010 году осадков: на июль месяц включительно с начала года их выпало 273 мм против 215 мм в 2011 году.

По всей видимости, климатические особенности года, в частности, длительные пожары, приносящие на дневную поверхность соединения серы и углерода, отражаются на химическом составе межморенных водоносных горизонтов, залегающих на глубине свыше 15 м и защищенных сверху толщей

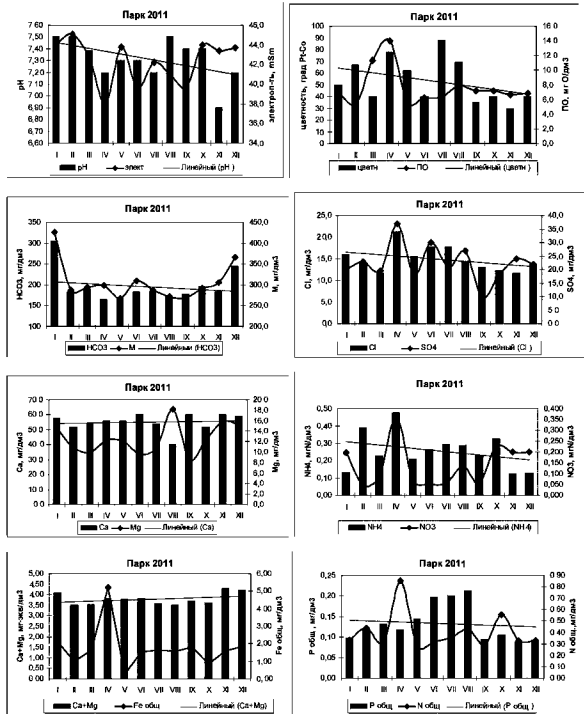


Рис. 2.23а. Серия хода кривых концентраций основных ионов, биогенных веществ и общих характеристик родника Парк с линией трендов в 2011 году

московских суглинков. Отсюда следует, что химический состав источников, питающим водоносным горизонтом которых является межморенный, также служит интегральным индикатором загрязнения окружающей среды.

Родник Раздолье расположен в сосновом лесу близ базы отдыха «Раздолье», в тыловом шве второй надпойменной террасы водохранилища, на расстоянии 60 м от берега Волги. Родник относится к III группе. Многолетняя сезонная изменчивость компонентов его химического состава показана в таблице 2.15.

Таблица 2.15

Многолетняя сезонная изменчивость химического состава родника Раздолье

| Показатель | Зимняя межень | Половодье | Летняя межень | Паводок |
|---|----------------------|----------------------|--|----------------------|
| pH | 7.36/6.77/7.16 | 7.5/6.12/7.06 | 7.97/6.63/7.37 | 7.43/6.64/7.07 |
| ЭПР, мS/m | 43.2/27.1/37.6 | 44.2/40.6/42.9 | 51.6/37.5/44.7 | 66.9/41.1/52.1 |
| Cl ⁻ , мг /дм ³ | 9.3/3.2/5.3 | 4.7/1.4/3.3 | 10.1/1.9/3.5 | 10.0/0/4.9 |
| SO ₄ ²⁻ , мг /дм ³ | 23.0/10.7/16.8 | 19.0/3.6/10.7 | 62.0/3.1/18.8 | 27.0/5.9/11.3 |
| HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³ | 293/244/260 | 268/244/253 | 323/232/269 | 360/244/287 |
| K ⁺ , мг /дм ³ | 0.3/0/0.2 | 4.4/0.2/1.7 | 7.0/0.2/1.9 | 7.7/0.3/3.1 |
| Na ⁺ , мг /дм ³ | 2.9/2.2/2.6 | 2.5/1.4/1.9 | 5.0/0.8/2.5 | 10.4/1.2/5.0 |
| Ca ²⁺ , мг /дм ³ | 80/60/67 | 68/58/64 | 80/56/66 | 80/44/65 |
| Mg ²⁺ , мг /дм ³ | 19.5/18.3/19.1 | 24.4/17.1/19.8 | 22.0/16.5/19.9 | 23.1/17.1/20.1 |
| M*, мг /дм ³ | 428/355/382 | 389/344/365 | 444/352/383 | 472/334/406 |
| Цветность, градус | 20.0/7.0/12.3 | 10.0/0/5.8 | 20.0/0/10.4 | 60/20/12 |
| NO ₃ , мгN/ дм ³ | 3.65/1.7/2.57 | 2.86/2.56/2.74 | 3.75/0.19/2.44 | 4.40/1.47/2.86 |
| P общ, мгP/ дм ³ | 0.04/0.02/0.03 | 0.04/0.01/0.02 | 0.16/0/0.04 | 0.07/0/0.03 |
| Жесткость, ммоль/дм ³ | 5.6/4.5/4.93 | 5.4/4.4/4.8 | 5.8/4.3/4.91 | 5.4/4.0/4.91 |
| Формула | HCO ₃ 84/ | HCO ₃ 88/ | HCO ₃ 85SO ₄ 10/ | HCO ₃ 88/ |
| Курлова | Ca66Mg31 | Ca64Mg33 | Ca65Mg32 | Ca62Mg32 |

Примечание. M* – общая минерализация.

Химический состав родника в межсезонном отношении почти не меняется, по типу в любое время года гидрокарбонатный кальциево - магниевый, рН нейтральный.

Концентрации биогенных веществ низкие (максимальные содержания азота нитратов составили 3.65 мг/дм^3 , минимальные – 0.19 ; концентрации общего фосфора залегают в диапазоне $0.02 - 0.16 \text{ мг/дм}^3$). В половодье наблюдается незначительно разбавление талыми снеговыми водами, максимальная величина общей минерализации приурочена к осенним паводкам.

Так же, как и в роднике Парк, максимальный привнос ОВ приурочен к периоду паводков (зафиксирована величина цветности 60 градусов при среднем значении 20 и минимальной величине цветности в летнюю межень 0 градусов).

Родник Городня расположен в центре села, на высоте $10-12$ м от уровня воды в Волге, в 400 м от церкви, в честь которой освящен родник.

В Городне несколько выходов водоносного горизонта f II dn-ms. Еще один источник находится в 30 -ти м от уреза с другой стороны церкви Рождества Богородицы, третий выход обнаружен в ключевом колодце на территории больницы. Но поскольку к данному роднику самый удобный подход, его и выбрали в качестве опорного. Наблюдения за гидрохимическим режимом родника ведутся уже в течение 20 лет.

В таблице 2.16 представлены среднегодовые общие характеристики родника за многолетний период.

Среднегодовые величины рН залегают в нейтральном диапазоне ($6.8 - 7.33$) при среднем значении 7.1 .

Величины ЭПР (от 85.9 до 136 при среднем 136), цветности (от 1.5 до 32.5 при среднем 12 градусов) и ПЮ (от 1.28 до 4.38 при среднем значении 2.6) варьируют в больших пределах.

Общая минерализация воды родника колеблется от 602 до 1053 при среднем значении 844 мг/дм^3 . Скачки минерализации выше 1 г/дм^3 объясняются как увеличением разгрузки восходящих глубоких вод, так и

поступлением на УГВ с талыми снеговыми водами компонентов минеральных удобрений и противогололедных реагентов – сульфатов и нитратов, которые в последние годы запретили использовать.

Вода жесткая, иногда даже очень жесткая, сумма солей кальция и магния залегает в диапазоне 8.2 – 12.0 при средней величине 10.2 ммоль/дм³.

Таблица 2.16

Среднегодовые общие характеристики родника в Городне

| Годы | рН | ЭПР | цветность | ПО | Ca ²⁺ +Mg ²⁺ | Минерализация |
|------|------|-------|-----------|----------------------|------------------------------------|--------------------|
| | | mS/m | (град.) | мг О/дм ³ | ммоль/дм ³ | мг/дм ³ |
| 1995 | 7.05 | 116 | 30 | 4.15 | 10.5 | 703 |
| 1996 | 7.22 | 136 | 15 | 1.84 | 10.6 | 602 |
| 1997 | 7.02 | 118 | 32.5 | 3.19 | 11 | 656 |
| 1999 | 7.16 | 132 | 12.5 | 2.27 | 10.1 | 915 |
| 2000 | 7.13 | 85.9 | 1.5 | 1.59 | 10.7 | 1004 |
| 2001 | 7 | 115 | 17.5 | 2.55 | 10.8 | 883 |
| 2002 | 6.84 | 126 | 12.5 | 3.14 | 9.3 | 960 |
| 2003 | 7.28 | 121.7 | 10 | 4.3 | 11 | 1053 |
| 2004 | 7.22 | 123 | 5 | 4.38 | 10.2 | 938 |
| 2005 | 6.89 | 125.8 | 8.5 | 1.84 | 10.6 | 634 |
| 2006 | 6.8 | 90 | 21.4 | 3.51 | 9.61 | 841 |
| 2007 | 7.13 | 129 | 6.5 | 2.68 | 10.1 | 886 |
| 2008 | 6.82 | 123 | 4 | 2.25 | 11.1 | 926 |
| 2009 | 6.99 | – | 9.5 | 1.64 | 9.85 | 919 |
| 2010 | 7.23 | 126 | 9.25 | 1.28 | 9.42 | 923 |
| 2011 | 7.28 | 110 | 8.64 | 3.68 | 8.19 | 693 |
| 2012 | 7.33 | 124 | 8 | 1.43 | 9.58 | 856 |
| 2013 | 7.23 | 136 | 5.5 | 1.68 | 9.48 | 803 |

На рис. 2.24 показаны графики межгодового изменения компонентов солевого состава, общей жесткости и общего железа за указанный период.

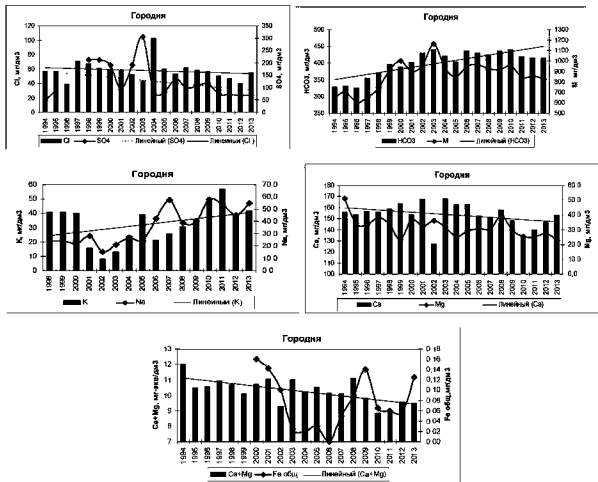


Рис. 2.24. Серия хода кривых концентраций основных ионов родника Городня с линией трендов за многолетний период

За годы наблюдений содержание хлоридов колебалось в пределах от 21.7 до 103 (среднее 53.8), сульфатов – от 47.9 до 305 (среднее 117.3), иона HCO_3^- – от 325 до 441 (среднее 400). Содержание кальция менялось от 62 до 168 (среднее 143.9), магния от 22.3 до 51.2 (среднее 31.6), натрия 15.3 – 36.4 (36.4), калия 7.9 – 59 мг/дм^3 (36.4). Максимальная величина минерализации составила 1053, минимальная – 602 при среднем 602 мг/дм^3 .

В многолетнем разрезе (1999 - 2013 годы) в родниковых водах наблюдается снижение концентраций сульфатов, в гораздо меньшей степени – хлоридов; возрастание содержания натрия и гидрокарбонат-иона. В таблице 2.17 показана многолетняя динамика биогенных веществ в Городне.

Концентрации биогенных элементов в воде родника «Городня»

| Годы | PO ₄ ³⁻ | P _{общ} | % P _{мин} | NH ₄ ⁺ | NO ₂ ⁻ | NO ₃ ⁻ | N _{общ} | Fe _{общ} |
|------|-------------------------------|------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|-------------------|
| | мг P / дм ³ | | | мг N/дм ³ | | | мг/дм ³ | |
| 1994 | 0.018 | 0.05 | 36 | 0.11 | - | 3.35 | 3.46 | - |
| 1995 | 0.03 | - | - | 0.21 | - | 8.46 | 8.67 | - |
| 1996 | 0.004 | - | - | 0.38 | - | 10.6 | 10.98 | - |
| 1997 | 0.034 | - | - | 0.56 | - | 7.7 | 8.26 | - |
| 1999 | 0.03 | 0.05 | 60 | 0.16 | - | 14.6 | 14.76 | - |
| 2000 | 0.05 | 0.07 | 71 | 0.26 | - | 38.2 | 38.46 | 0.16 |
| 2001 | 0.07 | 0.09 | 78 | 0.4 | 0.001 | 24.6 | 25.00 | 0.18 |
| 2002 | 0.1 | 0.13 | 77 | 0.22 | 0.01 | 22.7 | 22.93 | - |
| 2003 | 0.224 | 0.22 | 100 | 0.11 | 0.002 | 32.5 | 32.61 | 0.02 |
| 2004 | 0.06 | 0.1 | 60 | 0.55 | 0.03 | 21.7 | 22.28 | - |
| 2005 | 0.11 | 0.12 | 92 | 1.07 | 0.01 | 10.2 | 11.28 | - |
| 2006 | 0.08 | 0.11 | 73 | 0.13 | 0.03 | 19.1 | 22.94 | - |
| 2007 | 0.09 | 0.14 | 64 | 0.21 | 0.02 | 23.3 | 23.53 | - |
| 2008 | 0.08 | 0.1 | 80 | 0.04 | 0.02 | 15.9 | 15.96 | 0.09 |
| 2009 | 0.1 | 0.14 | 75 | 0.03 | 0.013 | 29.8 | 29.84 | 0.14 |
| 2010 | 0.1 | 0.16 | 63 | 0.05 | 0.004 | 26.8 | 26.85 | 0.06 |
| 2011 | 0.1 | 0.15 | 67 | 0.09 | 0.01 | 19.6 | 19.70 | 0.08 |
| 2012 | 0.1 | 0.14 | 71 | 0.37 | 0.01 | 16.8 | 17.18 | 0.06 |
| 2013 | 0.12 | 0.18 | 67 | 0.18 | 0.005 | 14 | 14.19 | 0.18 |

Примечание: прочерк означает, что компонент в лаборатории НИС на момент отбора не определяли.

Концентрации аммонийного азота за исследованный период варьировали от 0.03 до 1.07 (среднее 0.3), нитратного (по азоту) – 3.45 до 38.2 (среднее 18.9) при ПДК для питьевых вод для N-NO₃⁻ 9.1 мг/дм³. Содержание минерального фосфора колебалось в пределах 0.004 – 0.224 (среднее 0.1), общего - от 0.05 до 0.22 (среднее 0.1) мгP/дм³.

Повышенные концентрации соединений азота и фосфора характерны для этого района. Из-за продолжительной и высокой антропогенной нагрузки здесь в Грунтовых и поверхностных водах до сих пор остаются самые высокие концентрации биогенных веществ по сравнению с другими родниками и колодцами изученной территории.

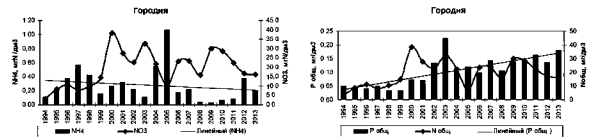


Рис. 2.25. Многолетняя динамика биогенных соединений в воде родника Городня с линией тренда, 1994 – 2013 годы

На рис. 2.25 показана динамика соединений азота и фосфора в многолетнем разрезе. Содержание общего фосфора, отражающего уровень антропогенной нагрузки региона, имеет тенденцию к росту, хотя пик концентраций приурочен к 2003 году (0.22 мг/дм^3), когда здесь еще функционировала птицефабрика «Красный Луч». Концентрации аммонийного азота увеличивались в период до 1997 включительно, а затем стали снижаться, что связано с резким падением сельскохозяйственного производства. Всплеск 2005 года может быть связан с локальным загрязнением водосборной площади родника.

Рассмотрим многолетнюю сезонную изменчивость характеристик родника (таблица 2.18).

Состав вод зимой преимущественно гидрокарбонатно - сульфатный кальциевый, в остальные сезоны гидрокарбонатный кальциевый.

Максимальные концентрации нитратного азота за все годы исследований превышают 56 мг/дм^3 (при ПДК 9.1), амплитуда колебаний этого компонента в половодье достигает 56 мг/дм^3 . Зимой, когда зона аэрации промерзает, содержание нитратного азота снижается.

Величины общей жесткости зимой всегда выше, чем в остальные сезоны года, что, скорее всего, обусловлено сработкой Иваньковского водохранилища в феврале-марте. Его уровни снижаются вплоть до 119.5 м, соответственно разгрузка субнапорных и напорных восходящих вод возрастает. В половодье и летнюю межень минимум показателя рН сдвигается в сторону слабокислого (5.79 в летнюю межень при среднем значении летом 6.99). Амплитуда

Многолетняя сезонная изменчивость химического состава родника Городия (максимум / минимум /среднее)

| Показатель | Зимняя межень | Половодье | Летняя межень | Паводок |
|---|---|--|--|--|
| pH | 7.50/6.35/7.15 | 7.40/5.63/7.06 | 7.3/5.49/6.99 | 7.3/6.89/7.13 |
| ЭПР, мS/m | 151/101/125 | 159/102/128 | 142/94/116 | 139/106/125 |
| Cl ⁻ , мг /дм ³ | 86/45/55 | 119/35/56 | 142/35/58 | 65/34/53 |
| SO ₄ ²⁻ , мг /дм ³ | 364/65/132 | 163/35/87 | 247/30/108 | 327/34/109 |
| HCO ₃ ⁻ , мг /дм ³ | 439/366/418 | 488/317/389 | 464/329/414 | 464/342/414 |
| K ⁺ , мг /дм ³ | 52/6/41 | 71/16/41 | 99/8/32 | 50/13/27 |
| Na ⁺ , мг /дм ³ | 60/31/51 | 65/19/42 | 63/13/38 | 58/21/35 |
| Ca ²⁺ , мг /дм ³ | 180/144/159 | 168/122/151 | 172/82/145 | 192/131/156 |
| Mg ²⁺ , мг /дм ³ | 52/18/31 | 46/10/31 | 51/5/25 | 49/24/34 |
| M, мг /дм ³ | 1102/612/876 | 1037/564/834 | 1058/656/891 | 1167/686/884 |
| NO ₃ , мг N/дм ³ | 28.4/0.15/14.8 | 56.6/1.1/22.6 | 41.4/3.35/21.5 | 44.6/0.51/21.0 |
| P общ., мгP/дм ³ | 0.21/0.06/0.12 | 0.20/0.06/0.12 | 0.20/0.0/0.11 | 0.23/0.07/0.15 |
| Цветность, градус | 40/4/13 | 35/0/11 | 24/0/8 | 25/2/9 |
| Жесткость, ммоль /дм ³ | 12.8/8.8/10.5 | 12.2/7.8/10.1 | 12.0/7.3/9.3 | 11.8/8.5/10.6 |
| Формула Курлова (по среднему) | HCO ₃ 52SO ₄ 28Cl1 12/ Ca58Mg18Na16 | HCO ₃ 53SO ₄ 20Cl13 NO ₃ 13/ Ca58Mg20Na14 | HCO ₃ 52SO ₄ 23Cl11 NO ₃ 12/ Ca62Mg17Na14 | HCO ₃ 53SO ₄ 24Cl12 NO ₃ 12/ Ca61Mg22Na12 |

Примечание: M* - общая минерализация.

показателя составляет 1.15 зимой и до 1.85 – в летнюю межень; наиболее устойчив показатель в паводок.

Максимальная ЭПР приурочена к половодью (159 мS/m), амплитуда составляет 57 мS/m, во время паводков ЭПР стабилизируется, амплитуда не более 30.

Родник отличается повышенными концентрациями сульфатов во все сезоны, кроме половодья, когда родниковые воды разбавлены фильтрующимися с поверхности талыми снеговыми. За период наблюдений

максимальные концентрации приурочены к зимней межени (364 мг/дм³), минимальные – к половодью, когда в среднем они составляют 87 мг/дм³. Минимальная концентрация сульфат – иона зафиксирована летом и составила 30 мг/дм³. Амплитуда концентраций сульфатов за многолетний период в межсезонном разрезе составила около 330 мг/дм³. Так как среди изученных родников преобладают источники III и IV групп, дополнительно рассмотрим гидрохимический режим родника Школа (IV). Межсезонная динамика показателей состава родника представлена в таблице 2.19.

Таблица 2.19

Многолетняя сезонная изменчивость химического состава, мг/дм³, родника Школа (максимум / минимум / среднее)

| Показатель | Зимняя межень | Половодье | Летняя межень | Паводок |
|-----------------------------------|--|--|--|--|
| pH | 8.68/6.18/7.19 | 7.76/5.55/7.14 | 7.3/5.75/6.97 | 8.3/6.09/7.12 |
| ЭПР, мS/m | 155/106/129 | 149/31/115 | 125/95/110 | 142/56/120 |
| СГ | 65/39/49 | 78/2/46 | 67/6/47 | 65/8/47 |
| SO ₄ ²⁻ | 373/9/184 | 383/10/166 | 300/12/165 | 272/68/181 |
| HCO ₃ ⁻ | 476/397/445 | 476/139/422 | 482/146/434 | 500/384/453 |
| K ⁺ | 72/0/41 | 93/2/17 | 19/1/6 | 61/0/8 |
| Na ⁺ | 47/11/29 | 120/3/31 | 48/3/27 | 61/1/8 |
| Ca ²⁺ | 168/141/152 | 162/40/139 | 212/120/149 | 170/131/153 |
| Mg ²⁺ | 50/10/39 | 76/11/39 | 59/13/36 | 55/20/41 |
| Минерализация | 1145/459/895 | 1093/219/854 | 1015/582/849 | 1000/512/887 |
| N - NO ₃ | 3.75/0.68/1.56 | 5.17/0.07/1.89 | 2.89/0.18/1.61 | 3.84/0.88/1.54 |
| P - P _{общ} | 0.11/0.02/0.04 | 0.13/0.00/0.05 | 0.32/0.00/0.07 | 0.34/0.02/0.05 |
| Цветность, градус | 7/0/5 | 23/0/4 | 20/0/5 | 10/1/5 |
| Жесткость, ммоль /дм ³ | 12.3/8.8/10.8 | 12.2/2.9/10.1 | 12.9/7.6/10.4 | 13.0/6.6/11.0 |
| Формула Курлова (по среднему) | HCO ₃ 58SO ₄ 30Cl11 / Ca61Mg26Na10 | HCO ₃ 59SO ₄ 29Cl11 / Ca59Mg27Na11 | HCO ₃ 59SO ₄ 29Cl11 / Ca63Mg25Na10 | HCO ₃ 58SO ₄ 30 Cl11/ Ca62Mg27 |

В силу своего местоположения (водосборная площадь родника находится в пределах старой части г. Конаково) химический состав родника подвержен

значительным колебаниям в течение года. Состав воды характеризуется как гидрокарбонатно - сульфатный кальциево - магниевый во все сезоны. Показатель рН меняется в значительном диапазоне: от щелочного (зима, 8,68) до слабокислого (5,55, половодье).

Среди исследованных родников такой разброс рН отмечается только у этого родника. Он один из немногих родников имеет тесную гидравлическую связь с Донховкой, и закономерности его гидрохимического режима соответствуют полноте этой связи. В фазу половодья снижаются ЭПР (отмечено минимальное значение 30 мS/m при максимальном 159 в зимнюю межень), концентрации гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов. Минимальная величина общей жесткости за период наблюдений составила в половодье 2,9 ммоль/дм³ при средней 8-10. В Приложении 2 представлена полная характеристика химического состава воды родника в 2010 году (таблицы 5, 6).

Химический состав родников V группы отличается стабильностью, если пьезометрические уровни разгружающихся напорных вод находятся выше уровней грунтовых вод. Если соотношение уровней обратное, и разгрузка происходит в очаге локального загрязнения, грунтовые воды приносят в восходящие воды ЗВ. Например, в родниковом колодце д. Чубово в конце прошлого века обнаружены концентрации нитратного азота 10,1 мг/дм³, хотя обычно в родниках V группы содержание биогенных веществ минимально (0,3 – 3,5 мг/дм³).

Подводя итог изложенному, отметим, что гидрохимический режим изученных родников в целом отличается стабильностью: зимой воды более минерализованные, в половодье происходит разбавление за счет талых снеговых вод, летом за счет испарения минерализация родников снова возрастает. Наибольшее поступление ЗВ с дневной поверхности в родники происходит в паводок.

Состав и количество выпавших маломинерализованных АО территории не оказывает существенного воздействия на родниковые воды, за исключением родников I группы.

В зависимости от колебания пропорций питающих родник грунтовых, напорных и поверхностных вод (из-за изменения соотношения уровней взаимодействующих водоносных горизонтов) химический состав родников тоже претерпевает изменения. Однако благодаря тому, что подземные воды являются системой, более устойчивой к загрязнению, чем поверхностные, изменения обратимы. При снижении уровня нагрузки качество воды, как правило, приходит в норму.

Некоторые родники, выход которых расположен рядом с урезом, например, родник в д. Юрятино, связаны с колебаниями НПУ при сработке Ивановского водохранилища, но большинство родников не имеют гидравлической связи с водохранилищем.

При рассмотрении химического состава родниковых вод в годовом цикле нельзя оставить в стороне период половодья, привлекающий внимание гидрологов, географов и экологов. Рассмотрим родники, подробный анализ химического состава которых в многолетнем и годовом циклах представлен выше: Бор, Парк и Школа.

Половодье - это фаза водного режима реки, характеризующаяся продолжительным повышением стока, который повторяется ежегодно в одни и те же сезоны. Половодье вызывается снеготаянием.

Весеннее половодье типично для рек Тверской области. К основным факторам стока весеннего половодья относятся запасы воды в снежном покрове, интенсивность и продолжительность снеготаяния. Факторами, влияющими на величину половодья, являются величина и форма бассейна реки, рельеф, характер почв, геологическое строение бассейна, наличие озер, лесов, болот. Данные факторы вызывают аккумуляцию и регулирование образовавшихся из снега талых вод (Гидрология, 1970).

В весеннее половодье происходит поглощение поверхностных вод, когда уровень воды в поверхностных водоемах (Ивановское водохранилище) и водотоках (река Донховка) располагается гипсометрически выше уровня подземных вод первого водоносного горизонта. Наличие гидравлической связи

при положении поверхностных вод выше уровня грунтового водоносного горизонта присуще рекам Тверской области.

Родники, описываемые в этой книге, по условиям выхода преимущественно контактного типа, приурочены к местам разгрузки грунтовых и межпластовых вод и расположены в бортах рек и водохранилища. В весенний период уровень поверхностных вод в реках поднимается выше отметки УГВ. В это время происходит процесс «подпертой» фильтрации, изменяются дебиты родников в сторону уменьшения при повышении уровня поверхностных вод в водотоках и водоемах, изменяется химический состав источников. Для родника, приуроченного к межпластовым водам, в весеннее половодье присущ процесс «свободной» инфильтрации. «Свободная» инфильтрация происходит постоянно и обуславливается разницей уровней воды и наличием градиента напора, определяющего возможность нисходящей фильтрации в залегающий ниже водоносный горизонт (Всеволожский, 1991). Такой процесс усиливается в весенний период вследствие обильных осадков и интенсивного снеготаяния.

Территория г. Конаково расположена в пределах Верхневолжской низины с отметками поверхности земли 130 - 140 м, на правом берегу Волги; в пределах города протекает приток Волги река Донховка.

Весеннее половодье начинается в среднем в первой декаде апреля и продолжается обычно от 15 до 60 дней. Подъем уровня происходит быстро и интенсивно. Высота подъема на реке различная, от 0.5 до 5 - 6 м. Весеннее половодье чаще всего проходит с конца марта по первую декаду мая.

Рассмотрим три родника в период половодья, относящиеся по нашей классификации к разным группам: родник Бор (I группа), Парк (III) и Школа (IV). Ниже приводится анализ данных 2010-2011 гг. (года средней водности) за март-апрель.

Родник Бор. В период половодья на гидрохимический состав родника оказывает влияние процесс вертикальной инфильтрации талых вод в результате снеготаяния, АО и «подпертой» фильтрации поверхностных вод. Весной

возрастают отклонения средних значений цветности, ПО, азотных соединений, сульфатов, хлоридов, магния, кальция (таблица 2.20).

Таблица 2.20

Изменение значений основных анионов и катионов, 2010-2011 гг.

| Показатель | года | | Средние значения в половодье | |
|---|-----------|-------------|------------------------------|-------|
| | 2010 | 2011 | 2010 | 2011 |
| NH_4^+ , мгN/дм ³ | 0.0-0.05 | 0.02-0.07 | 0.02 | 0.03 |
| NO_3^- , мгN/дм ³ | 0.0-0.158 | 0.036-0.086 | 0.079 | 0.06 |
| Cl ⁻ , мг/дм ³ | 1.3-3.9 | 1.3-2.7 | 2.17 | 2.14 |
| SO_4^{2-} , мг/дм ³ | 8.2-19.4 | 6.4-12.0 | 13.5 | 9.3 |
| HCO_3^- , мг/дм ³ | 140-165 | 153-171 | 151.3 | 162.6 |
| Mg^{2+} , мг/дм ³ | 7.2-10.8 | 7.3-10.9 | 8.9 | 8.96 |
| Ca^{2+} , мг/дм ³ | 36.0-41.0 | 38.0-44.0 | 39.2 | 39.7 |

Исключением является только фосфор, значения которого колеблются в сотых долях – от 0.07 до 0.09 мгP/дм³. Ниже приводится график изменения цветности и ПО в половодье 2010-11 гг. (рис.2.26).

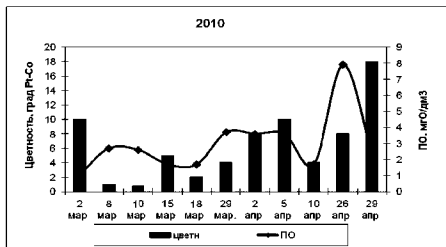


Рис. 2.26. Изменение цветности и ПО в весеннее половодье, 2010 год

Изменение величины общей жесткости и общего железа в роднике Бор происходит медленнее и составляет десятые и сотые доли от средней величины (рис.2.27).

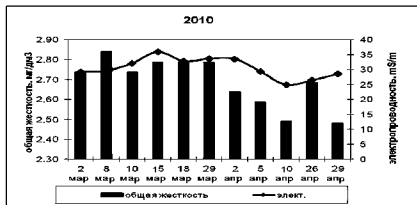


Рис. 2.27. Изменение общей жесткости и электропроводности в весеннее половодье, март – апрель 2010 года

Ниже приводится таблица изменения других анионов, катионов, общей жесткости и цветности в 2006-2013 (таблица 2.21).

Таблица 2.21

Динамика содержаний основных анионов и катионов, 2006-2013 гг.

| Показатели | Диапазон колебаний | Среднее значение | Максимальные значения, год |
|---|--------------------|------------------|----------------------------|
| NH_4^+ , мгN/дм ³ | 0.0-0.53 | 0.12 | 2013 |
| NO_3^- , мгN/дм ³ | 0.0-0.67 | 0.12 | 2009 |
| СГ, мг/дм ³ | 0.7-7.3 | 2.6 | 2012 |
| SO_4^{2-} , мг/дм ³ | 10.0-38.0 | 13.6 | 2007 |
| HCO_3^- , мг/дм ³ | 119-183 | 147.7 | 2006 |
| Mg^{2+} , мг/дм ³ | 4.8-12.2 | 8.93 | 2008 |
| Ca^{2+} , мг/дм ³ | 36.0-48.0 | 39.7 | 2008 |
| Общая жесткость, ммоль/дм ³ | 2.39-3.2 | 2.71 | 2008 |
| Цветность, град. | 1-18 | 6.58 | 2010 |
| ПЮ, мгО/дм ³ | 0.7-16.0 | 2.57 | 2010 |

Анализ данных химического анализа в половодья 2006 - 2013 г. показал, что значения ЭПР, рН и PO_4^- варьировали незначительно, соответственно 25.2-30.0 мг/дм³, 6.7 - 7.4 и 0.05 - 0.09 мгP/дм³. Исключением для рН были годы 2007 и 2012, соответственно 8.0, 7.8, 8.0. Выбивались значения ЭПР в 2007, 2008 и 2011, соответственно 35.0, 43.0 и 34.0 мг/дм³ и PO_4^- в 2003 г. – 0.25 мгP/дм³.

Самыми экстремальными, по данным за период 2006-2010 годов, оказались 2008 и 2010 гг.

Родник Школа. Так же как на родник Бор, на гидрохимический состав родника оказывает влияние процесс вертикальной инфильтрации талых вод в результате снеготаяния, атмосферных осадков и «подпертой» фильтрации поверхностных вод.

В весенний период года возрастают отклонения средних значений цветности, ПО, азотных соединений, сульфатов, хлоридов, магния, кальция (таблица 2.22).

Таблица 2.22

Изменение значений основных анионов и катионов в 2010-2011

| Показательн | годы | | Средние значения в половодье | |
|---|--------------|-----------|------------------------------|-------|
| | 2010 | 2011 | 2010 | 2011 |
| NH_4^+ , мгN/дм ³ | 0.0001-0.004 | 0.01-0.11 | 0.022 | 0.081 |
| NO_3^- , мгN/дм ³ | 0.50-1.81 | 1.22-2.82 | 1.48 | 1.6 |
| Cl^- , мг/дм ³ | 38.0-48.0 | 36.0-45.0 | 43.7 | 41.4 |
| SO_4^{2-} , мг/дм ³ | 99.0-243 | 106-193 | 144 | 159 |
| HCO_3^- , мг/дм ³ | 403-476 | 403-451 | 440 | 433 |
| Mg^{2+} , мг/дм ³ | 31.2-61.0 | 31.6-43.8 | 37.6 | 36.7 |
| Ca^{2+} , мг/дм ³ | 117-152 | 132-148 | 140 | 142.9 |

Ниже приводится график изменения ЭПР и ПО (рис. 2.27). Изменения концентраций общего железа, фосфора незначительны и составляют десятые и сотые доли отклонения от среднего значения. Величина общей жесткости изменяется от 9.36 до 10.9 мг-экв/дм³ (2010 год) и от 9.39 до 10.8 мг-экв/дм³ (2011 год).

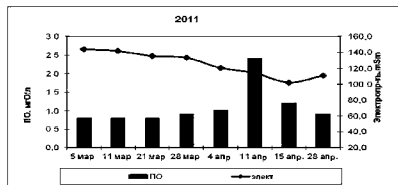


Рис.2.27. Измененне ПО и электропроводности в половодье 2011 года

Родник Парк. В таблице 2.23 представлено изменение концентраций основных аннонов и катнонов родника Парк за 2010-2011 годы.

Таблица 2.23

Изменение значений основных аннонов и катнонов в 2010 - 2011 гг.

| Показатели | Год | | Средние значения в половодье | |
|---|-----------|-------------|------------------------------|------|
| | 2010 | 2011 | 2010 | 2011 |
| NH_4^+ , мгN/дм ³ | 0.0-0.35 | 0.23-0.47 | 0.23 | 0.37 |
| NO_3^- , мгN/дм ³ | 0.0-0.163 | 0.047-0.361 | 0.085 | 0.18 |
| Cl^- , мг/дм ³ | 11.0-12.0 | 14.0-21.3 | 11.6 | 16.2 |
| SO_4^{2-} , мг/дм ³ | 11.0-28.0 | 23.0-37.0 | 19.6 | 19.6 |
| HCO_3^- , мг/дм ³ | 183-200 | 165-195 | 190 | 181 |
| Mg^{2+} , мг/дм ³ | 9.0-11.2 | 10.9-12.2 | 10.0 | 11.3 |
| Ca^{2+} , мг/дм ³ | 52.0-56.0 | 52.0-56.0 | 54.2 | 54.0 |
| $\text{Fe}_{\text{общ}}$, мг/дм ³ | 1.33-2.42 | 0.98-5.2 | 1.64 | 2.56 |

На гидрохимический состав родника процесс вертикальной инфильтрации талых вод влияет в меньшей степени, чем на другие родники. Анализ гидрохимического состава в весенний период года выявил возрастание отклонения средних значений цветности, ПО, азотных соединений, сульфатов, общего железа.

Как видно из таблицы, в отличие от двух первых родников, содержание магния, кальция и хлоридов незначительно отличалось от среднего показателя. Значение PO_4 изменялось в небольшом диапазоне 0.078 - 0.091 мгP/дм³, так же как и общей жесткости - от 3.39 до 3.64 ммоль/дм³ (2010 год) и от 3.49 до 3.80 ммоль/дм³ (2011 год).

Таким образом, во время половодья изменяется гидрохимический состав родников контактного типа, в большей степени варьируют значения ПО, ЭПР, цветности относительно средней величины, в меньшей степени изменяются концентрации сульфатов, хлоридов, азотных соединений, магния, кальция и иногда - общего железа. Величины общей жесткости и рН не испытывают значительных колебаний.

2.3. Статистическая оценка данных режимных наблюдений за опорными родниками

Для уточнения генезиса опорных родников, выявления закономерностей и особенностей химического состава, и динамического режима родников проведена статистическая обработка данных. Выбраны массивы данных: дебит родника и основные характеристики химического состава воды. Дебит родника включен в рассмотрение, т.к. его формирование происходит в результате смешения АО, грунтовых и напорных вод. Если доля атмосферных и грунтовых вод значительна, то корреляционные связи между дебитом родника и содержаниями химических соединений NO_3 , NH_4 и $P_{\text{общ}}$ (основных антропогенных загрязнителей) существуют. Если же преобладают напорные воды, то корреляция между дебитом и указанными химическими соединениями отсутствует. Выборочно была оценена корреляционная зависимость между жесткостью воды и теми же химическими соединениями, указывающими на антропогенное загрязнение, а также с хлором и сульфатами родниковой воды.

Изучена парная корреляция между ЭПР (характеризующей общую минерализацию воды) и дебитом; содержанием NO_3 (сельскохозяйственный и бытовой загрязнитель) и дебитом; содержанием NH_4 (сельскохозяйственный и бытовой загрязнитель) и дебитом; содержанием $P_{\text{общ}}$ (сельскохозяйственный загрязнитель) и дебитом; содержанием Cl (фекальный загрязнитель) и дебитом, содержанием SO_4 (бытовой загрязнитель) и дебитом. Обработка данных проводилась по методике, изложенной в учебнике (Фадеева, 2011).

Коэффициент парной корреляции R вычислялся с использованием программы Excel. Критические точки распределения Стьюдента $T_{\text{Ст}}$ определялись по таблице 5 Приложения к учебнику (в зависимости от числа степеней свободы при уровне значимости 0.1).

Вычисление T - показателя нормального распределения имеющихся данных - производилось по формуле

$$T = \frac{R\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-R^2}} \quad 2 (1)$$

Родник в селе Городня

Вода выходит в уступе террасы р. Волги, на границе песков с моренными сугликами. Водосборная площадь родника охватывает территорию населенного пункта и территорию крупной птицефабрики, действовавшей до 2002 года.

Проводились круглогодичные режимные наблюдения за дебитом, температурой воды, химическим составом родника (имеется около 80 определений). Проведена парная корреляция между ЭПР и дебитом (R_1), нитратами и дебитом (R_2), аммонийным азотом и дебитом (R_3), хлором и дебитом (R_4), сульфатами и дебитом (R_5), а также нитратами и жесткостью (R_6), общим фосфором и жесткостью (R_7), хлором и жесткостью (R_8), сульфатами и жесткостью (R_9).

Получены следующие результаты:

$R_1 = 0.057$, $T_1 = 0.43$ $T_{Ст} = 1.67$ Корреляции нет.

$R_2 = -0.17$, $T_2 = -1.29$ $T_{Ст} = 1.67$ Корреляции нет.

$R_3 = 0.048$, $T_3 = 0.36$ $T_{Ст} = 1.67$ Корреляции нет.

$R_4 = 0.30$, $T_4 = 2.29$ $T_{Ст} = 1.67$ Корреляция присутствует.

$R_5 = -0.332$, $T_5 = -1.06$ $T_{Ст} = 1.83$ Корреляции нет.

$R_6 = 0.226$, $T_6 = 1.23$ $T_{Ст} = 1.66$ Корреляции нет.

$R_7 = 0.20$, $T_7 = 1.08$ $T_{Ст} = 1.66$ Корреляции нет.

$R_8 = 0.214$, $T_8 = 1.82$ $T_{Ст} = 1.66$ Корреляция присутствует.

$R_9 = 0.21$, $T_9 = 1.65$ $T_{Ст} = 1.68$ Корреляции нет, однако значения T_9 и $T_{Ст}$ близки.

Корреляционная связь установлена лишь между содержанием хлора и дебитом родника, а также содержанием хлора и общей жесткостью. Это свидетельствует о том, что родник получает как грунтовое питание, так и питание за счет напорных вод известняков карбона.

Родник «Бор»

Родник выходит на поверхность в нижней части аллювиальной террасы р. Волги, на контакте аллювиальных песков с подстилающими моренными суглинками. Водосборная площадь родника охватывает верхнюю часть террасы и коренной склон, сложенный моренными суглинками, где расположены индивидуальные постройки г. Конаково. Терраса занята естественным елово-сосновым лесом, являющимся частью городского парка. В распоряжении авторов имеются данные по 120 замерам дебита, около 150 химических анализов родниковой воды, несколько анализов снега с водосборной площади родника, имеются замеры количества осадков и их химического состава.

По роднику «Бор» получены следующие результаты:

R_1 (между ЭПР и дебитом) = -0.07 , $T_1 = -0.77$, $T_{Ст} = 1.66$. Корреляции нет.

R_2 (между NO_3 и дебитом) = -0.17 , $T_2 = -1.87$, $T_{Ст} = 1.66$. Корреляция присутствует

R_3 (между NH_4 и дебитом) = 0.048 , $T_3 = 0.5$, $T_{Ст} = 1.67$. Корреляции нет.

R_4 (между $P_{общ}$ и дебитом) = -0.103 , $T_4 = -1.13$, $T_{Ст} = 1.68$. Корреляции нет.

R_5 (между Cl и дебитом) = 0.21 , $T_5 = 2.1$, $T_{Ст} = 1.68$. Корреляция присутствует.

R_6 (между SO_4 и дебитом) = 0.339 , $T_6 = 1.8$, $T_{Ст} = 1.71$. Корреляция присутствует.

R_7 (между NO_3 и жесткостью) = 0.025 , $T_7 = 0.31$, $T_{Ст} = 1.66$. Корреляции нет.

R_8 (между NH_4 и жесткостью) = 0.062 , $T_8 = 0.76$, $T_{Ст} = 1.66$. Корреляции нет.

R_9 (между цветностью и жесткостью) = 0.001 , $T_9 = 0.012$, $T_{Ст} = 1.66$. Корреляции нет.

R_{10} (между Cl и жесткостью) = 0.054 , $T_{10} = 0.68$, $T_{Ст} = 1.66$. Корреляции нет.

Представленные расчеты свидетельствуют о том, что родник «Бор» относится к грунтовому типу: его дебит и химический состав формируются за счет ГВ с участием АО. Причем, чем больше дебит родника, тем меньше в нем NO_3 и больше Cl и SO_4 .

Отсутствие корреляции между Cl и жесткостью воды свидетельствует о том, что иапорные воды известняков карбона (всегда имеющие повышенную жесткость) не участвуют в формировании химического состава данного родника.

Учитывая тот факт, что родник «Бор» находится на территории городского парка, где антропогенная нагрузка значительна, можно сделать вывод, что в последующие годы она будет, по-видимому, возрастать. Полученные коэффициенты корреляции свидетельствуют о незащищенности родника от поверхностного загрязнения плохо сорбирующимися загрязнителями, такими, как нитраты, хлориды и сульфаты, и что качество воды в роднике с годами будет ухудшаться.

Родник «Школа»

Выход воды приурочен к пойме реки, в нескольких метрах от уреза, весной источник иногда затопливается речными водами. Водосборная площадь родника находится на территории города. В воде определено повышенное содержание ионов Cl^- , NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , общая минерализация воды несколько повышена. Обращают на себя внимание эпизодически встречаемые отрицательные значения окислительно-восстановительного потенциала Eh. Родник не используется для питья, только в хозяйственных целях.

Имеются данные по дебиту (114 замеров), температуре воды (76 замеров), химическому составу воды (176 определений). Устанавливалась парная корреляция между ЭПР воды и дебитом (R_1), нитратами и дебитом (R_2), содержанием NH_4^+ и дебитом (R_3), Cl^- и дебитом (R_4), $P_{\text{общ}}$ и дебитом (R_5), SO_4^{2-} и дебитом (R_6), нитратами и жесткостью (R_7), PO_4 и жесткостью (R_8), общим фосфором и жесткостью (R_9), SO_4^{2-} и жесткостью (R_{10}), Cl^- и жесткостью (R_{11}).

Получены следующие результаты:

$R_1=0.172$ $T_1=1.18$ $\text{ТСТ}=1.68$ Корреляции нет.

$R_2=0.244$ $T_2=1.67$ $\text{ТСТ}=1.67$ Корреляция присутствует.

$R_3=0.134$ $T_3=0.92$ $\text{ТСТ}=1.68$ Корреляции нет.

$R_4=0.135$ $T_4=0.92$ $\text{ТСТ}=1.68$ Корреляции нет.

$R_5=0.12$ $T_5=0.82$ $\text{ТСТ}=1.68$ Корреляции нет.

$R_6=0.166$ $T_6=0.84$ $\text{ТСТ}=1.73$ Корреляции нет.

$R_7=0.079$ $T_7=0.86$ $\text{ТСТ}=1.66$ Корреляции нет.

$R_8=0.061$ $T_8=0.67$ $\text{ТСТ}=1.66$ Корреляции нет.

$R_9=0.007$ $T_9=0.076$ $ТСт=1.66$ Корреляции нет.

$R_{10}=0.390$ $T_{10}=4.60$ $ТСт=1.66$ Корреляция присутствует.

$R_{11}=0.27$ $T_{11}=2.48$ $ТСт=1.66$ Корреляция присутствует.

Установленная корреляционная зависимость между содержанием нитратов и дебитом находится на грани точности определения ($T_2 = 1.67$ и $ТСт$ тоже равно 1.67). Корреляция между сульфатами и хлором, с одной стороны, и жесткостью воды положительна. В целом, родник получает питание за счет напорных вод и, скорее всего, относится к IV группе предлагаемой авторами классификации.

Родник «Раздолье»

Водосборная площадь родника охватывает территорию базы отдыха и часть садово-огородных участков. Дебит родника зависит от количества АО и колеблется в пределах от 0.01 до 0.08 л/с, значения Eh положительные.

Проведены круглогодичные посезонные наблюдения за дебитом (21 замер), температурой проанализировано 30 проб воды. Установлена корреляционная зависимость между: ЭПР и дебитом (R_1); NO_3 и дебитом (R_2); NH_4 и дебитом (R_3); содержанием Cl и дебитом (R_4); $P_{общ}$ и дебитом (R_5); SO_4 и дебитом (R_6), а также между NO_3 и жесткостью (R_7), PO_4 и жесткостью (R_8), $P_{общ}$ и жесткостью (R_9), Cl и жесткостью (R_{10}), SO_4 и жесткостью (R_{11}).

Получены следующие результаты:

$R_1=-0,10$ $T_1=-0.36$ $ТСт=1.80$ Корреляции нет.

$R_2=0.086$ $T_2=0.322$ $ТСт=1.80$ Корреляции нет.

$R_3=0.016$ $T_3=0.598$ $ТСт=1.60$ Корреляции нет.

$R_4=0.009$ $T_4=0.338$ $ТСт=1.80$ Корреляции нет.

$R_5=-0.395$ $T_5=-1.480$ $ТСт=1.80$ Корреляции нет

$R_6=-0.166$ $T_6=-0.842$ $ТСт=1.73$ Корреляции нет.

$R_7=0.220$ $T_7=1.22$ $ТСт=1.72$ Корреляции нет.

$R_8=0.289$ $T_8=1.53$ $ТСт=1.72$ Корреляции нет.

$R_9=0.20$ $T_9=0.6$ $ТСт=1.72$ Корреляции нет.

$R_{10}=0.14$ $T_{10}=0.47$ $ТСт=1.73$ Корреляции нет.

$R_{11}=0.12$ $T_{11}=0.48$ $ТСт=1.73$ Корреляции нет.

Отсутствие корреляционных связей говорит о том, что в формировании химического состава родника приблизительно одинаковую роль играют как грунтовые, так и напорные воды. Это позволяет условно отнести данный родник к группе III.

Анализируя полученные корреляционные связи, можно сделать вывод, что четкое разделение родников по их генезису произвести очень трудно. Все они тесно связаны с атмосферой, зависят от количества и характера распределения осадков, от антропогенной нагрузки на земной поверхности, от притока напорных вод, величину которого определить весьма затруднительно. Для определения генезиса родника необходимо учитывать, прежде всего, химический состав воды – содержание в воде стронция и фтора, величину общей минерализации, жесткости, наличие или отсутствие биогенных элементов, замеры Eh, pH и температуры воды.

2.4. Изучение режима питания грунтовых вод Иваньковского водохранилища на основе воднобалансовой модели WATBUG *

Инфильтрационное питание грунтовых вод ГВ определяется как исходящий поток воды, поступающий на зеркало, в результате чего наступает его подъем, то есть возрастание дебита при родниковой разгрузке. Многочисленные исследования показали, что питание ГВ отличается значительной пространственной и временной изменчивостью (Ковалевский, 1996). Методов его оценки множество (Ткачук, 1949; Гавич, 1988; Лебедев, 1989; Scanlon, 2002).

Rushton ввел понятие “потенциальное питание ГВ”, которое относится к превышению осадков над испарением. Для оценки потенциального питания ГВ могут использоваться методы водного баланса, включая широко известную классическую модель водного баланса Thornthwaite & Mather (Thornthwaite, 1957; Rushton, 1988). В условиях приречного режима грунтовых вод, в том числе при пойменном склоновом высачивании, для решения задач по охране и

**(подраздел 2.2. написан совместно с Т.В. Ореховой)*

управлению родниковым стоком важно знать соотношение осадки/испарение. Если количество выпавших осадков является доступной и известной величиной, то вычисление фактической величины суммарного испарения для локального участка - задача весьма сложная и трудоемкая, так как суммарное испарение - это многофакторный процесс. Использование методов моделирования значительно упрощает процедуры расчетов.

Известно, что адекватность модели проверяется натурными данными. Благодаря собственному банку режимных наблюдений за ГВ и климатическим данным за период 2001 - 2005 в разделе проведена оценка возможности применения воднобалансовой модели WATBUG для ГВ, залегающих на глубине 0.3 - 2.5 м (ранее модель использовалась для ВГ с УГВ от 20 м). Модель используется для расчетов фактического суммарного испарения, инфильтрационного питания и других элементов водного баланса подземных вод (Лапина, Орехова, 2013).

Режимная скважина расположена в пределах Верхневолжской низины, с отметками поверхности земли 130 - 140 м, между $56^{\circ}21'$ и $56^{\circ}54'$ с.ш. и $36^{\circ}00'$ и $37^{\circ}10'$ в.д., на II надпойменной террасе Волги, на правом берегу, в Конаковском районе Тверской области.

Средняя годовая температура воздуха территории составляет 3.8°C , средняя относительная влажность воздуха - 69%; среднее годовое количество осадков колеблется от 560 до 720 мм (Мирзоев, 1995). Устойчивый снежный покров образуется к середине декабря, держится 157-160 дней, начинает таять с середины марта и сходит в середине апреля (География, 1992). Отношение количества осадков к величине испарения составляет около 1.2; влажность воздуха довольно высока на протяжении всего года и колеблется около 80% (Мирзоев, 1995).

Среди почв преобладают дерновые разной степени оподзоленности на суглинистых и супесчаных породах моренных, зандровых, озерно-ледниковых и древнеаллювиальных отложений. Среднемноголетние (50 % обеспеченности) запасы продуктивной влаги в метровом слое суглинистой почвы весной на дату

перехода температуры через 10°C составляют 210 мм, супесчаной – 150–260 мм (Мирзоев, 1995).

Программа WATBUG (Willmott, 1977) основана на известной модели баланса почвенной влаги ((Thornthwaite, 1957). Теоретическая основа модели представлена в таблице 2.24. Размерность балансовых элементов - в мм слоя воды, расчеты проводятся на ежемесячной основе. В этой модели используются термины "дефицит влаги" (deficit, DEF) и "избыток влаги" (surplus, SUR).

Таблица 2.24

Уравнения балансовых расчетов почвенной влаги по методу Thornthwaite & Mather, 1957 (Thornthwaite, 1957; Bakundukize, 2011)

| Элементы водного баланса | Влажный период | | | Сухой период |
|--------------------------------|-----------------------|----------------------|-------------------------------------|--|
| | SUR=(P-Rs) - Eo > 0 | | | SUR=(P-Rs) - Eo < 0 |
| | W W _{max} | W < W _{max} | | |
| | | = | SUR ≤ W _{max} - W | SUR > W _{max} - W |
| W | W _{max} | W + (P-Rs)- Eo | W _{max} | W _{max} *exp(- APWL/W _{max}) |
| R | (P-Rs)- Eo | 0 | (P-Rs)-Eo-(W _{max} - W) | 0 |
| E | Eo | Eo | Eo | (P-Rs) + ΔW |
| DEF | 0 | 0 | 0 | Eo - E |

Обозначения в таблице :

W – запасы продуктивной влаги в почвенном слое;

W_{max} – диапазон продуктивной (активной) влаги (ДПВ);

Rs – поверхностный сток;

Eo – потенциальное суммарное испарение (по методу Thornthwaite);

E – фактическое суммарное испарение;

R – питание ПВ;

APWL – сумма потенциальных потерь воды [Eo-(P-Rs)], относящаяся к последовательным сухим месяцам.

Поверхностный сток обычно предполагается равным определенному проценту от месячной суммы осадков (5–6%). Разница между оставшейся суммой осадков и потенциальным суммарным испарением (P-Rs-Eo) может быть как положительной (влажный период), так и отрицательной (сухой период).

Избыток влаги, возникающий во время влажного периода, распределяется между почвой (пока она не насытится влагой) и подземными водами. Во время сухого сезона почвенная влага постепенно расходуется на испарение.

Для каждого месяца последовательно рассчитывают элементы баланса, которые находятся в первой колонке таблицы: запасы продуктивной влаги в почве, питание ГВ и фактическое суммарное испарение.

Для сухих периодов вычисляют сумму потенциальных потерь воды (APWL).

Необходимый набор исходных данных минимален: температура воздуха, осадки и несколько начальных параметров.

Описанный метод успешно отражает сезонность балансовых элементов. Преимущество программы WATBUG состоит в облегчении трудоемкого процесса расчета баланса влаги в почве по климатическим данным, причем расчеты могут проводиться как на ежемесячной, так и на ежедневной основе.

К недостатку классического подхода (Thornthwaite, 1957) относится то, что поверхностный сток считается равным постоянному проценту от месячной суммы осадков независимо от сезона.

Программа WATBUG вообще не оценивает поверхностный сток, поскольку он зависит от многочисленных характеристик конкретного участка. Этот метод также не учитывает влияния определенного растительного покрова.

Потенциальное суммарное испарение по Thornthwaite определяется, однако для месяцев с отрицательной температурой этот метод дает нулевые значения, что нереально.

Независимо от ограничений метода, основанная на нем программа WATBUG продолжает успешно использоваться – например, для условий Бельгии, Танзании и Бурунди получены многолетние значения питания ГВ на основе климатических данных за период более 30 лет (Bakundukize, 2011; Van Camp M., 2012). При этом модель отражает существенную изменчивость питания ГВ в разные годы, связанную с колебаниями месячных осадков и температур.

Результаты

После введения необходимых данных (диапазон продуктивной влаги ДПВ задавался равным 150 и 200 мм), на выходе модели получены величины потенциального и фактического суммарного испарения, фактического запаса влаги в почвенном слое и инфильтрационного питания подземных вод.

На рис. 2.25 и рис. 2.26 показана динамика элементов водного баланса, рассчитанных по модели.

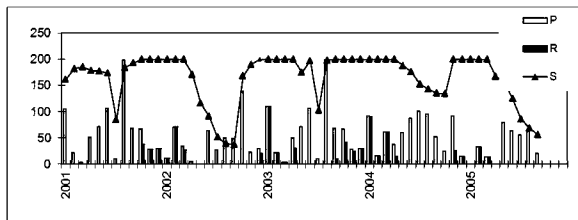


Рис. 2.25. Месячные осадки (P), питание ПВ (R) и фактический запас влаги в почве (S) в мм слоя за 2001–2005 гг., модель WATBUG (ДПВ = 200 мм)

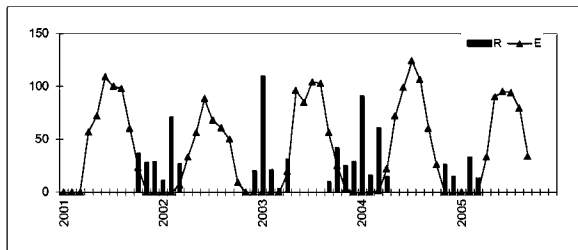


Рис. 2.26. Рассчитанное питание ГВ (R) и фактическое суммарное испарение (E) для периода 2001–2005 гг., модель WATBUG (ДПВ = 200 мм)

Контролем достоверности полученных на модели величин питания ГВ послужили режимные данные в одиночной наблюдательной скважине 20 первого от поверхности московского надморенного водно-ледникового

водоносного горизонта. Мощность горизонта до 10 м. Глубина залегания уровня 0.5 – 3.0 м. Наблюдения здесь велись в период 1994 – сентябрь 2005.

Скважина расположена на правом берегу Ивановского водохранилища, в районе деревни Плоски Конаковского района Тверской области. Пойма и часть I террасы (аккумулятивной) затоплены, наблюдается слабый уклон поверхности террас в сторону водохранилища. Скважина находится в пределах II террасы (цокольной) на расстоянии 400 м от уреза водохранилища. Глубина скважины 6.5 м, абсолютная отметка устья 135.8 м. Верхняя часть разреза выполнена пылеватыми аллювиальными песками мощностью 1 м, залегающими на моренных суглинках.

Замеры уровней осуществлялись с частотой 5 раз в месяц, замер количества жидких и твердых АО проведен на метеопосту СНТ «Ремонтник».

При расчетах питания по режимным данным использована формула (1.1). В среднем при поступлении АО в количестве 700 - 750 мм/год на УГВ поступает 80 - 90 мм при преимущественно суглинистой зоне аэрации и 160 - 200 мм при преобладании песков; при годовом количестве осадков 400 - 450 мм соответственно 60 и 125 - 210 мм.

На рис. 2.27 показано сопоставление фактических приращений УГВ с рассчитанными на модели величинами питания.

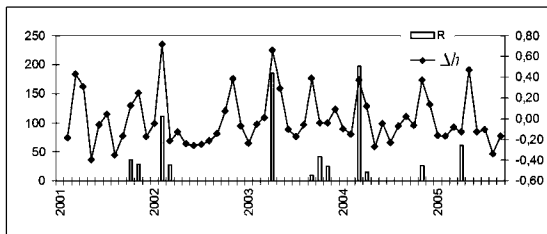


Рис. 2.27. Сопоставление фактических изменений УГВ (Δh , м) и расчетных величин питания ГВ (R , мм) при $D_{ПВ} = 200$ мм

Модельные данные приведены с учетом формирования снежного покрова, когда из-за промерзания почвы прекращается питание ГВ, и последующего снеготаяния, когда происходит интенсивное восполнение запасов ГВ.

Модель WATBUG в целом отражает сезонные колебания питания ГВ.

В таблице 2.25 представлены расчеты инфильтрационного питания ПВ за период 2001 – 2005 (2005 год - до 1 октября) по модельным данным и режимным наблюдениям. В последней колонке таблицы представлены расчетные данные с учетом формирования снежного покрова и последующего снеготаяния.

Таблица 2.25

Сравнительная таблица режимных и моделируемых величин инфильтрационного питания по скважине 20, д. Плоски, 2001–2005 годы ($\mu=0.08$)

| Год | Осадки (Р) мм/год | Режимные наблюдения | Модель | | |
|---------|----------------------|---------------------------|---|------------|------------|
| | | Питание R, мм (R/P, %) | Питание R, мм (R/P, %) при заданном ДПВ, мм | | |
| | | | 150 | 200 | 200 * |
| 2001 | 757 | 170 (22,4%) | 118 (15,6) | 94 (12,4) | 65 (8,6) |
| 2002 | 501 | 220 (43,9) | 158 (31,5) | 129 (25,9) | 138 (27,5) |
| 2003 | 761 | 230 (30,2) | 280 (36,8) | 271 (35,6) | 262 (34,4) |
| 2004 | 733 | 162 (22,1) | 228 (31,1) | 224 (30,6) | 238 (32,5) |
| 2005 | 327 | 57 (17,4) | 46 (14,1) | 46 (14,1) | 61 (18,7) |
| Среднее | 616 | 168 (27,2) | 166 (27,0) | 153 (24,8) | 153 (24,8) |

При статистической обработке величин питания 5-летнего массива месячных данных, смоделированных и рассчитанных аналитически по режимным замерам уровней, значимая корреляция ($r=0.59$) получена только при учете накапливания и таяния снега. Такой коэффициент корреляции для коротких рядов наблюдений (5 лет в нашем случае) свидетельствует об успешности использования программы. Среднемноголетнее значение годового питания ГВ за период 2001–2005 по модельным расчетам составляет при

заданном влагозапасе 150 мм – 166 мм/год, при 200 м – 153 мм/год при среднегодовом количестве осадков за тот же период 616 мм/год; рассчитанная по режимным данным среднегодовая величина инфильтрационного питания составила 168 мм/год. Таким образом, сравнение модельных результатов с расчетами инфильтрационного питания по режимным данным в одиночной скважине по формуле Биндемана показало сходные результаты.

Для решения прикладных задач часто требуется определить конкретный водный баланс подземных вод локального участка. Несмотря на то, что по отдельным годам ошибка значительная (до 46%), учет резкого «скачка» талых вод на УГВ увеличивает сходимость фактических и модельных данных для пятилетнего периода.

Представленные нами исследования показали возможность использования программы WATBUG как вспомогательного метода при оценке элементов водного баланса и изучения режима питания грунтовых вод, залегающих на глубине 0.5 – 3.0 м, в условиях Тверской области.

Глава 3. Субаквальная разгрузка

Приток подземных вод в относительно крупные водоемы среди составляющих водного баланса является наименее изученной статьей. Подземные воды разгружаются в борта и ложе водохранилища. По аналогии с разгрузкой в реки поступление подземных вод в днище и борта под водой – это субаквальная разгрузка. Непосредственно родниковым стоком многие исследователи называют пойменное склоновое высачивание и сосредоточенные выходы родников на дневной поверхности по периметру водоема (Просеков, 1988; Вивеицова, 2005).

3.1. Подземный сток в Иваньковское водохранилище

Иваньковское водохранилище входит в каскадную систему водохранилищ Верхней Волги, протекает на отрезке Волги от Твери до Дубны и на 55-60% обеспечивает Московский регион питьевой водой. Мониторинг качества воды водохранилища является залогом безопасности здоровья многомиллионного мегаполиса. Оценка химического состава поверхностных волжских вод, поступающих к потребителю, проводится очень тщательно, тогда как подземные воды традиционно остаются в стороне (Булатов, 1999). Очевидно, что управление качеством волжской воды должно базироваться на детальных знаниях всех определяющих его компонентов геологической среды, одним из которых являются подземные воды.

Хотя Волга считается единственной крупной региональной дренажной для всех водоносных горизонтов, вопрос генетической структуры подземной составляющей и ее доли в стоке водохранилища до сих пор остается дискуссионным. По оценкам разных специалистов доля подземного питания в среднемноголетнем стоке водохранилища в замыкающем створе отличается на два порядка: от 0 до 42 % (Гавеман, 1955; Ворошилов, 1976; Ахметьева, 1991).

Исследования предшественников свидетельствуют, что для Верхней Волги основным питающим горизонтом являются водоносные известняки каменноугольных отложений (C_{1-2}), местами выходящие непосредственно в

долину реки между городами Ржев и Камышин (Балашов, 1959). На старицком участке Волги длиной около 80 км, где ее русло прорезает толщу C_{1-2} , на долю подземного питания приходится 55 - 65% годового стока; в то же время в районе наших работ доля напорного питания в подземном притоке считается крайне незначительной (Красинцева, 1977). Согласно (Лебедева, 1972), на участке Волги от Ржева до Калязина в ее ложе происходит разгрузка глубоких водоносных горизонтов карбона, чьи естественные ресурсы характеризуются региональным модулем подземного стока, равным 1.5 - 2.0 л/с км². В соответствии с гидрогеологической картой на отрезке Тверь-Дубна доля подземного питания в среднемноголетнем стоке рек составляет 20 - 30% (Гидрогеология, 1966).

По конфигурации водохранилища на карте фактического материала выделяется три плеса (рис. 1.4). Они отличаются друг от друга по своему режиму и характеристикам. Волжский плес – наиболее узкий и проточный, со средними глубинами 8 - 12 м; Ивановский - практически всегда в подпоре (с глубинами 16 - 19 м); Шошинский плес самый мелководный (2 - 3 м). Отметки НПУ составляют 124.0 м. Зимняя сработка уровня в настоящее время не превышает 3.0 - 4.5 м (Иваньковское, 2000).

Волга от Твери до Дубны прорезает четвертичные отложения на глубину 20-30 м. В нижней части водохранилища, близ устья р. Созь и в Коровинском заливе, река размывает четвертичные отложения и верхнеюрские глины, врезаясь в известняки верхнего карбона (C_3 kl). На участке г. Тверь – д. Горохово юрские глины в ложе водохранилища также практически отсутствуют. На остальной площади водохранилища юрские глины залегают под акваторией, однако, по данным тритиевого анализа, местами они размыты с образованием так называемых «окон» (у д. Некрасовка, в западной части г. Конаково, у д. Плоски). Мощность юрских глин составляет 2 - 15 м, они перекрывают известняки карбона и способствуют образованию в них напорного водоносного горизонта.

На рис 1.2 хорошо видно изменение величины напоров в скважинах при

их приближении к Волге. Благодаря разности напоров происходит межпластовая восходящая фильтрация, которая способствует активной разгрузке: из нижележащих водоносных горизонтов в вышележащие, затем в грунтовые и далее – в поверхностные воды (Всеволожский, 1991).

Мнение о неучастии в подземном притоке в Ивановское водохранилище напорных вод основано на том, что здесь отложения верхнего карбона перекрыты юрскими глинами, на которых залегает толща моренных суглинков, что предполагает затрудненную разгрузку восходящего водного потока.

Однако новые публикации, а также анализ фондовых и собственных режимных данных свидетельствуют о том, что юрские водоупорные отложения в его днище распространены не повсеместно. Их фильтрационные свойства не отвечают понятиям водоупора, следовательно, существуют реальные предпосылки для достаточно интенсивной разгрузки напорных вод карбона в ложе водохранилища.

Для выявления субкавальной разгрузки можно воспользоваться известным гидрохимическим методом. Для его успешного применения необходимо подобрать комплекс наиболее информативных индикаторов для конкретных геолого – гидрогеологических условий (Михайлов, 1985). Конечно, есть более точные методы гелиевой и тритиевой съемки, которые считаются основными для подобных целей, однако Ивановская НИС не располагает необходимым оборудованием.

При выявлении притока напорных вод в водоемы и водотоки индикаторами традиционно считают ионы гидрокарбонатов, кальция, магния (в дальнейшем – триада), сульфатов, натрия и хлоридов (Колесов, 1970; Яковлев, 2007). Состав индикаторов не всегда один и тот же. Например, аномальность химического состава придонного слоя на отдельных участках Ивановского водохранилища подмечена исследователями из ИБВВ РАН. Они сообщают, что в марте 1976 года в 6-ти км от устья Шоши ниже по течению Волги именно концентрации триады в придонном слое возросли на 20-30% в сравнении с

поверхностным слоем русловой вертикали; к Корчеве показатели снова выровнялись (Иваньковское, 1978).

Для выбора нужных показателей - индикаторов рассмотрим, каковы отличительные признаки поверхностных и подземных вод в районе работ.

Напорные воды, представленные клязьминским и касимовским водоносными горизонтами, по своему составу относятся преимущественно к HCO_3 - Ca - Mg либо HCO_3 - Ca типу, с минерализацией до 1 г/дм^3 . На севере и северо-востоке района водовмещающие породы водоносного горизонта загипсованы. Например, химический состав воды в родничковом колодце д. Лютвинки выглядит как $\text{HCO}_3\text{57SO}_4\text{21Cl20/Ca44Na23Mg20K15}$. Ниже представлена сравнительная таблица химического состава вод разного генезиса в изученном районе (таблица 3.1).

Таблица 3.1

Химический состав вод (мг/дм^3) разного генезиса прибрежной зоны Иваньковского водохранилища (летняя межень 2001-2004, средние величины)

| Параметры | Номер участка* | | | Водоем | Индекс водовмещающих пород | | |
|--------------------|----------------|--------|------|--------|----------------------------|----------------------|-------------------|
| | I | III | VI | | $\text{C}_3\text{k1}$ | C_3k | fI dn-ms |
| | роднички | | | | Напорные воды | | грунто- вые |
| pH | 7.24 | 7.46 | 7.57 | 7.78 | 7.34 | 7.31 | 7.87 |
| Eh (мВ) | 13-60 | 60-160 | 30 | 60 | (-110) | 80 | 165 |
| Cl^- | 47 | 51 | 197 | 7 | 1.3 | 2 | 6.3 |
| SO_4^{2-} | 3 | 8 | - | 11 | 4.5 | 9 | 16 |
| HCO_3^- | 293 | 329 | 195 | 140 | 323 | 403 | 171 |
| Mg^{2+} | 27.6 | 34.2 | 31 | 12 | 23 | 32.4 | 12.6 |
| Ca^{2+} | 68 | 132 | 130 | 36 | 72 | 76 | 38 |
| NO_3^- | 1.9 | 125.8 | 4.3 | 0.4 | 0.58 | 0.31 | 0.71 |
| NH_4^+ | 0.27 | 0.72 | 0.29 | 0.9 | 0.98 | 1.02 | 0.89 |
| PO_4^{3-} | 0.12 | 0.08 | 0.42 | 0.15 | 0.36 | 0.08 | 0.03 |
| M | 456 | 705 | - | 207 | 425 | 524 | 246 |
| ПО (мгО/л) | 1.49 | 2.64 | 1.63 | 10 | 5.4 | 3.27 | 5.3 |
| Цветность ** | 3 | 10 | 30 | 60 | 32 | 25 | 18 |

Примечание: * номер участка по рис.1.4; **цветность – градусы, по Pt-Co шкале.

Воды карбона отличаются по своему составу и от поверхностных, и от грунтовых. У них более высокая минерализация, концентрация ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , более низкие содержания нитратного азота и растворенных ОВ, редокс-потенциал всегда отрицательный. Следовательно, в возможных очагах субкавальной разгрузки в придонном слое водной толщи следует обращать внимание именно на эти признаки.

Для обоснования выбора индикаторов использованы результаты исследований одного из авторов в период зимней межени 1994 – 1997 годов. Работы проведены на детальном участке Плоски, где в разрезе отсутствуют юрские глинны, по следующей методике.

Еженедельно на створе в русловой части бурили лунку и со льда батометром объемом 1 л отбирали пробы по линии поверхность – 3 м – дно).

Контрольные съемки на других плесах проводились раз в месяц в створах Безбородово, Городня, Эммаус, Конаково.

В отобранных пробах определяли, кроме указанных в разделе 2.2. параметров, растворенный кислород и БПК₅. Глубина русловой части Волги в Плосках при НПУ составляет 11 м. Результаты химических анализов по створу Плоски и по съемкам от Эммауса до Конаково представлены в таблицах 3.2 и 3.3. Так как из-за попадания части ледяной крошки при бурении льда в поверхностную пробу результаты в ней часто оказываются некорректными, приводим только данные по линии 3 м – придонная часть.

Концентрации ионов гряды определялись в 1993 – 1994 годах только на глубине 3 м, в остальные периоды – по всем точкам русловой вертикали. Анализ результатов работ показал, что к концу зимней межени на створе Плоски возрастают содержания гидрокарбонатов, кальция и магния, снижаются показатели поступления ОВ: цветность и ПО. Известно, что подо льдом большую роль играют внутриводоемные процессы, в которых задействованы биогенные элементы – азот, фосфор, железо (Иваньковское, 1978). Соединения этих элементов неустойчивы, зависят от окружающей среды; состав ОВ также постоянно меняется. Из-за разнонаправленности внутриводоемных процессов

Химический состав вод Волги в зимнюю межень, русло, 3 м (1) и дно (2), створ Плоски

| Год | Месяц | Показатель | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|------------|------|------|------|-------------------------------|----|-----------------|------|-----------|----|------|------|------------------------------|------|------------------------------|-----|
| | | рН | | ЭПР | | SO ₄ ²⁻ | | Cl ⁻ | | цветность | | ПО | | NH ₄ ⁺ | | NO ₃ ⁻ | |
| | | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 1993 | XII | 7.83 | 7.76 | 30.8 | 31.9 | 24 | 24 | 12 | 12 | 93 | 93 | 14.5 | 14.5 | 0.7 | 0.8 | 4.2 | 4.7 |
| 1994 | I | 7.29 | 7.33 | 36.4 | 37 | 31 | 30 | 12.5 | 12.5 | 63 | 66 | 11.3 | 11.0 | 0.7 | 0.72 | 5.4 | 5.4 |
| | II | 7.46 | 7.55 | 34.4 | 34.3 | 30 | 28 | 12.5 | 12.5 | 60 | 60 | 10.1 | 9.8 | 0.7 | 0.76 | 5.6 | 5.5 |
| | III | 7.62 | 7.72 | 35.6 | 36.2 | 26 | 26 | 12.7 | 12.6 | 48 | 48 | 8.47 | 8.7 | 0.67 | 0.70 | 5.4 | 5.3 |
| 1996 | I | 7.21 | 7.26 | 27.3 | 26.6 | 29 | 31 | 12 | 13 | 46 | 43 | 10.7 | 10.6 | 0.84 | 1.01 | 5.0 | 4.2 |
| | II | 7.38 | 7.41 | 39.3 | 40.9 | 33 | 33 | 12 | 14 | 37 | 36 | 6.7 | 6.5 | 0.76 | 0.90 | 6.3 | 6.2 |
| | III | 7.57 | 7.74 | 42 | 40.5 | 32 | 32 | 13 | 13 | 40 | 40 | - | - | 0.8 | 0.9 | 3.8 | 5.6 |

Примечание. Прочерк означает, что на момент отбора лаборатории НИС параметр не определялся.

Результаты гидрхимических съезок Волги по створам
Эммаус – Городня – Безбородово – Плоски – Конаково по русловой вертикали 3 м (1) и дно (2)

Таблица 3.3

| Створ | | Показатель | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|------|------------|------|------|-------------------------------|--------------------|-------------|-----------------------------------|------------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|
| | | рН | | ЭПР | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ | цветность | БПК ₅ | NH ₄ ⁺ | NO ₃ - | | | | | | |
| | | 1 | 2 | мSm | мг/дм ³ | мг/дм ³ | град. Pt-Co | мгO ₂ /дм ³ | мгN/дм ³ | мгN/дм ³ | | | | | | |
| Февраль 1994 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Эммаус | 7.87 | 7.5 | 30.8 | 30.6 | 37 | 31 | 13 | - | 50 | - | 1.71 | 2.0 | 0.38 | 0.62 | 1.15 | 1.2 |
| Городня | 8.2 | 8.56 | 31.1 | 31.5 | 31 | 30 | 13 | - | 50 | - | 0.8 | 1.16 | 0.46 | 0.51 | 1.13 | 1.2 |
| Безбородово | 8.4 | 8.01 | 45.2 | 46.8 | 27 | 28 | 13 | - | 40 | - | 1.49 | 1.10 | 1.01 | 1.27 | 0.91 | 0.8 |
| Плоски | 8.13 | 8.26 | 28.1 | 28.5 | 30 | 32 | 17 | - | 60 | - | 0.77 | 2.17 | 0.5 | 0.52 | 1.26 | 1.1 |
| Декабрь 1996 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Безбородово | 7.33 | 6.0 | 44.7 | 42.5 | - | - | 14 | 16 | 50 | 45 | - | - | 0.42 | 0.29 | 0.48 | 0.48 |
| Конаково | 8.7 | 6.5 | 28.6 | 29.5 | - | - | 8 | 8 | 90 | 90 | - | - | 0.61 | 0.40 | 0.96 | 0.84 |
| Плоски | 8.16 | 7.88 | 27.0 | 29.5 | - | - | 4.7 | 9.5 | 140 | 90 | - | - | 0.50 | 0.47 | 0.85 | 0.48 |
| Февраль 2012 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Городня | 7.5 | 7.5 | 32.2 | 28.6 | 10.1 | 14 | 16 | 6 | 25 | 70 | 0.28 | 0.07 | 0.25 | 0.4 | 0.72 | 0.8 |
| Безбородово | 7.6 | 7.6 | 49.4 | 50.7 | 16 | 19 | 9 | 10 | 70 | 70 | 0.48 | 0.5 | 0.3 | 0.41 | 0.01 | 1.0 |
| Плоски | 7.6 | 7.5 | 34.1 | 33.5 | 13 | 9.6 | 5 | 7 | 70 | 70 | 0.39 | 0.34 | 0.3 | 0.3 | 0.8 | 0.9 |
| Март 2012 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Безбородово | 7.6 | 7.5 | 57.8 | 60.1 | 14.6 | 15.6 | 10 | 10 | 25 | 25 | 0.34 | 0.4 | 2.3 | 2.4 | 3.6 | 3.4 |
| Конаково | 7.7 | 7.8 | 32.4 | 33.3 | 12.5 | 13.5 | 7.3 | 7.3 | 45 | 45 | 0.4 | 0.4 | 0.7 | 0.75 | 3.8 | 4.0 |

Примечание. Прочерк означает, что показатель в пробе не определяли.

также не используют в качестве индикаторов БПК₅ и растворенный кислород (O₂). В напорных водах биогенных веществ мало, биогены не могут служить индикаторами. Геофизическими службами для выявления очагов разгрузки давио применяется метод кондуктометрии – по увеличению ЭПР воды (Абдулов, 2002). Однако в нашем случае приращение этого показателя по направлению к придонному слою не всегда имеет место, возможно, потому, что общий объем водных масс значительно превышает объем подземной разгрузки (таблица 3.2). Концентрации сульфатов и хлоридов в наших условиях не информативны, поскольку меняются незначительно как по русловой вертикали, так и по мере сработки водохранилища. Таким образом, из имеющихся показателей остаются ионы HCO₃⁻, Ca²⁺ и Mg²⁺, динамика которых в сопоставлении с величиной сработки (НПУ) представлена в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Динамика концентраций ионов HCO₃⁻, Ca²⁺ и Mg²⁺ (мг/дм³, створ Плоски) в зимнюю межень 1993/1994 и 1996

| Показатель | 1993 - 1994 | | | | 1996 | | |
|-------------------------------|-------------|--------|--------|--------|----------|---------|---------|
| | XII | I | II | III | I | II | III |
| HCO ₃ ⁻ | 123 | 161 | 176 | 205 | 188/207* | 194/217 | 211/214 |
| Ca ²⁺ | 48 | 50 | 54 | 53 | 54/56 | 60/65 | 58/60 |
| Mg ²⁺ | 3,7 | 5,6 | 5,7 | 18,2 | 18/25 | 18/27 | 16/17 |
| НПУ, м | 123.88 | 123.30 | 121.57 | 119.78 | 122.89 | 121.66 | 120.02 |

* в числителе глубина отбора 3 м, в знаменателе – отбор из придонного слоя.

По мере сработки водохранилища наиболее резко возрастают содержания гидрокарбонатов, с меньшей интенсивностью, но тоже постоянно – кальция, а вот концентрации магния, как показано в таблице, не отличаются стабильностью, поэтому в качестве индикаторов субаквальной разгрузки в Ивановское водохранилище остаются ионы HCO₃⁻ и Ca²⁺.

Описанная динамика наблюдалась нами только в месте несомненной разгрузки подземных вод. Возникает вопрос, меняется ли так же резко химический состав по всей протяженности Волги от Твери до Дубны. Чтобы получить на него ответ, параллельно отбирали пробы в контрольных пунктах.

Пробы отбирались по адресам: на Волжском плесе – створ Городня, на Ивановском – створ Дубна, на Шошинском – створ Безбородово. Возрастные содержания индикаторов по каждому плесу иллюстрирует таблица 3.5. При анализе данных обращают на себя внимание высокие концентрации индикаторов и повышенные величины ЭПР по сравнению с другими плесами в Шошинском.

Таблица 3.5

Динамика ионов HCO_3^- и Ca^{2+} (мг/дм³) в летнюю и зимнюю межень в плесах Ивановского водохранилища

| Год | Месяц | Волжский | Иваньковский | Шошинский |
|------|---------|----------|--------------|-----------|
| 1994 | февраль | 207/56* | 220/58 | 336/82 |
| | август | 113/34 | 134/44 | 134/42 |
| 1996 | декабрь | 146/44 | данных нет | 256/60 |
| 1997 | январь | 201/52 | 189/44 | 302/69 |
| | февраль | 183/44 | 207/46 | 348/78 |
| | июль | 157/40 | 146/38 | 201/54** |

Примечание: * первая цифра – HCO_3^- , вторая - Ca^{2+} ; ** р. Дойбица, подпор.

Этот плес как объект субаквальной разгрузки подземных вод разного генезиса изучен нами наиболее детально. О косвенных признаках разгрузки в днище плеса свидетельствуют данные исследователей, указывающих на более низкую цветность и более высокие содержания иона гидрокарбонатов в зимнюю межень в районе д. Безбородово по сравнению с волжской ветвью (Иваньковское, 1978); более высокие концентрации Sr - маркера разгрузки вод верхнего карбона в Шошинском плесе (115 мкг/л против 87 мкг/л в Волжском плесе по (Моисеенко, 2008).

Кроме того, Шошинский плес заметно отличается от других плесов Ивановского водохранилища: в гидрологическом отношении он более мелководен и менее проточен, в геологическом - отличен приуроченностью к слиянию древних переуглубленных долин рек Шоши и Ламы (Тверская, 1994).

Плес простирается от с. Тургиново до устья Шоши на 36 км, его средняя глубина при НПУ 1.7 м (Иваньковское, 1978).

В геологическом строении прибрежной части плеса принимают участие

девонские, каменноугольные, юрские и четвертичные отложения. Первым от поверхности водоносным горизонтом карбона залегает касимовский.

Этот горизонт приурочен к отложениям хамовнического и дорогомилловского горизонтов касимовского яруса верхнего карбона С_{3к}, выполнен переслаиванием доломитов, известняков с мергелями и глинами.

Мощность отложений колеблется в пределах 5 - 80 м, величина напора над кровлей - 4 - 75 м.

С правого и левого борта плеса известняки С_{3к} перекрыты маломощной (2 - 10, редко 30 м), но достаточно выдержанной толщиной оксфордских и келловейских отложений юрского возраста, представленных песками и глинами, с левого борта юрские отложения иногда полностью размыты.

Четвертичная толща сложена ледниковыми отложениями: флювиогляциальными, озерно - аллювиальными, аллювиальными, суглинками московской, днепровской и фрагментарно – окской морен (общая мощность суглинков с прослоями около 40 м). Ледниковые водоносные окско-днепровские отложения имеют мощность 12 - 16 м. Аллювиальные отложения сложены перемытыми песками с галькой. В междуречье Волги и Шоши встречены современные болотные отложения мощностью от 1 до 6 м (Красинцева, 1977).

Пьезометрические уровни вод известняков верхнего карбона на правом берегу плеса составляют 128.1 – 129.0 м, на левом 125.0 м (Ахметьева, 2013). Амплитуды уровней грунтовых вод прибрежной зоны по отношению к уровню воды в плесе составляют 0.5 м летом и до 0.8 м зимой, тогда как уровень воды водохранилища летом держат на отметке 124.0 м, зимой спускают на 3.0 - 3.5 м. Низшая отметка 2012 года составила 119.9 м.

В геоморфологическом отношении на обоих берегах плеса развита первая надпойменная аккумулятивная терраса (Бочаров, 1951). Ширина ее достигает двух км, поверхность плоская, сложена песками и суглинками, местами осложнена прирусловыми валами (рис. 3.1). Высота террасы 4 - 5 м; ближе к устью Шоши тянется вторая терраса, высотой 10 - 12 м. Левый берег долины

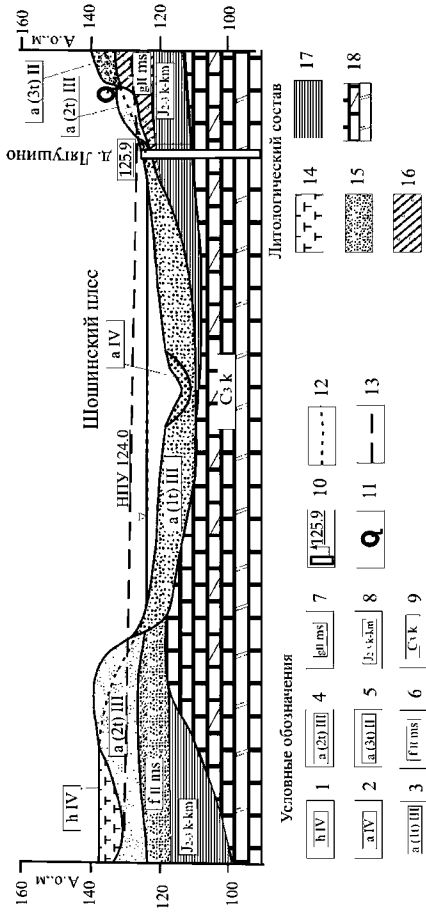


Рис.3. 1. Схематический гидрогеологический разрез по линии 2-2

Условные обозначения

- 1- болотные отложения;
- 2- аллювиальные отложения поймы;
- 3- аллювиальные отложения первой надпойменной террасы;
- 4- аллювиальные отложения второй надпойменной террасы;
- 5- аллювиальные отложения третьей надпойменной террасы;
- 6- флювиогляциальные отложения, московский горизонт;
- 7- ледниковые отложения, московский горизонт;
- 8- нерасчлененные оксфорд-келловейские отложения;
- 9- касимовский водоносный горизонт;
- 10- скважина, цифра у стрелки - отметка пьезометрического уровня;
- 11- родник;
- 12- уровень подземных вод со свободной поверхностью;
- 13- пьезометрический уровень напорных вод;
- 14- торф;
- 15- пески;
- 16- суглинки валунные;
- 17- глины;
- 18- известняки.

пологий, первая терраса постепенно переходит в обширную озерно-аллювиальную равнину, местами заболоченную, абсолютные отметки рельефа 130 - 135 м. Мощность аллювиальных отложений колеблется в пределах 10 - 12 м, озерно-аллювиальных – 9 - 10 м, коэффициенты фильтрации 3 - 4 м/сут. Левый борт долины слагают песчаные породы (Ахметьева, 1991). Террасы правого берега более высокие и узкие, абсолютные отметки рельефа 130-150 м.

Древние переуглубленные долины, размывшие юрские глины, создают условия для тесной взаимосвязи водноледниковых отложений с известняками (Ковалевский, 2001). Они служат дренами, куда фильтруются грунтовые и напорные воды. При соответствующих гидрогеологических условиях (например, при изменении соотношения уровней в период зимней сработки) накопившаяся там вода будет перетекать через ложе и борта Шошинского плеса в его чашу. Зимний режим Ивановского плеса регулярно исследовался в 1993 - 1999 и 2011 - 2012 годах (Григорьева, 1996; Григорьева, 1999; Лапина, 2012). Анализ имеющихся данных по сезонной динамике химического состава плесов Ивановского водохранилища показал, что именно в Шошинском к зимнему периоду приурочены максимальные величины HCO_3^- , солей Ca и Mg, минимальные – цветности и ПО (таблица 3.6).

Выборочные гидрохимические характеристики Шошинского и Волжского плесов за период 1994-1999, 2012, февраль – март

| Параметр | HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³ | | Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , мг/дм ³ | | ПО, мгО/дм ³ | | Цветность, градус | |
|----------|--|-----|--|-------|-------------------------|------|-------------------|----|
| | 1* | 2** | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Год | 1* | 2** | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 1994 | 207 | 336 | 68.1 | 104.2 | 9 | 6.9 | 50 | 40 |
| 1996 | 220 | 354 | 60.2 | 84.3 | 6 | 7.3 | 40 | 35 |
| 1997 | 183 | 348 | 42.1 | 78.4 | 15 | 12.5 | 90 | 70 |
| 1999 | 183 | 305 | 56.0 | 80.0 | 11 | 6.9 | 135 | 65 |
| 2012 | 182 | 306 | 45.1 | 70.3 | 12 | 6.3 | 54 | 22 |

Примечание: * - Волжский плес; ** - Шошинский плес.

Концентрации ионов Ca²⁺ и Mg²⁺, HCO₃⁻ в Шошинском плесе зимой выше, чем в основном русле Волги, в 1.5 – 2 раза, Mg – иногда в три раза. Содержания возрастают постепенно по мере уменьшения объема плеса, как видно из таблицы 3.7 на примере содержания гидрокарбонат-иона.

Таблица 3.7

Рост содержания иона HCO₃⁻ по мере сработки уровня в Шошинском плесе

| Дата | 19.12.11 | 26.01.12 | 22.02.12 | 27.03.12 | 17.05.12 |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| Уровень, м | 123.8 | 123.1 | 122.5 | 119.9 | 124.1 |
| HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³ | 232 | 238 | 289 | 329 | 122 |

Возникает вопрос, с чем связана столь высокая концентрация ионов Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻. Рассмотрим химический состав источников питания плеса в зимний период: притоков, грунтовых и напорных вод (артезианские скважины), представленный на рисунках 3.2 – 3.4.

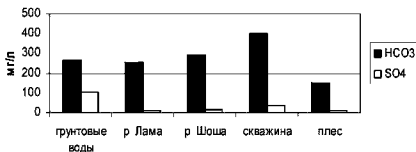


Рисунок 3.2. Содержание сульфатов и иона гидрокарбонатов в источниках питания Шошинского плеса, 2012 год

На рисунках представлены только компоненты, характерные для того или иного источника питания. Состав грунтовых вод отличается высоким содержанием сульфатов, хлоридов и положительным значением Eh. Грунтовые воды колодцев в исследованной прибрежной зоне Шошинского плеса по линии Тургиново – Курьяново – Завидово либо пресные, гидрокарбонатного кальциево - магниевого состава, с минерализацией до 0.4 г/дм³; либо высокоминерализованные (до 2.1 г/дм³), приуроченные к локальным очагам разгрузки восходящих вод по тектоническим трещинам.

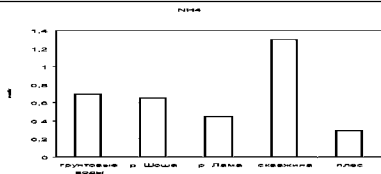


Рисунок 3.3. Содержание аммонийного азота в источниках питания Шошинского плеса

Особенностью напорных вод касимовского водоносного горизонта является сочетание наиболее высоких содержаний иона HCO_3^- и аммонийного азота и отрицательные величины Eh.

Замеры величины Eh, в соответствии с рисунком 3.4, показали, что в напорных водах она варьирует от (-110) до (-130), в водохранилище – от (+65) до (+135), в колодцах составляет в среднем (+150) мВ.

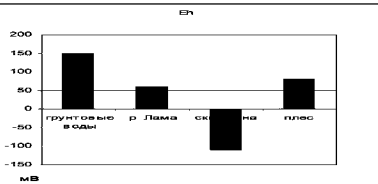


Рисунок 3.4. Величины редокс-потенциала Eh (мВ) в различных источниках питания Шошинского плеса

Речные воды занимают промежуточное положение между водами водохранилища и подземными. Рассмотрим качество воды рек - притоков Шошинского плеса, опробованных в летнюю межень (сентябрь) 2001 года во время площадной съемки водосбора Ивановского водохранилища: Шоши, Ламы, Дойбицы, Ииюхи и Литожицы (таблица 3.8).

Созь, питающая волжскую ветвь водохранилища, показана в качестве примера реки, вытекающей из болотного массива. Воды Сози характеризуются как маломинерализованные, высокоцветные, насыщенные ОВ.

Таблица 3.8

Гидрохимическая характеристика (мг/дм³) рек – притоков плесов, 2001 год

| Река | створ | Плес | pH | НСО ₃ ⁻ | Са ²⁺ | Цветность*/ Минерализация |
|----------|-------------|----------------|------|-------------------------------|------------------|------------------------------|
| Созь | Харитоиново | Волжский | 7.35 | 15 | 10 | 110/48 |
| Ииюха | Азарниково | Шошинский и | 7.65 | 250 | 76 | 20/415 |
| Литожица | Нелеино | | 7.97 | 281 | – | 15/280 |
| Шоша | Тургиново | | 8.18 | 293 | 62 | 25/414 |
| Лама | Курьяново | | 8.52 | 256 | 64 | 67/367 |
| Дойбица | автомост | | 7.42 | 317 | 88 | 27/481 |

Примечание:* градусы по Pt-Co шкале.

Химический состав притоков Шошинского плеса в межень ближе к составу подземных вод, хоть они и протекают по заболоченной местности. Логично предположить, что наиболее вероятным источником поступления ионов НСО₃⁻, Са²⁺ и Mg²⁺ в Шошинский плес зимой служат напорные воды, которые поступают с водами притоков и непосредственно в саму чашу водосема. Очевидно, что высокая минерализация напорных вод, их низкая цветность и окисляемость свидетельствуют о них как о наиболее вероятном источнике подпитывания плеса зимой.

Зимой 2012 года с целью исследования особенностей поступления вод верхнего карбона в ложе Шошинского плеса проведены рекогносцировочные полевые работы по следующей методике (фото 7). Ежемесячно на створе Безбородово бурили лунки и со льда отбирали пробы по линии поверхность - 3

м - дно по всему поперечнику потока с шагом 10 м (рис. 3.5).

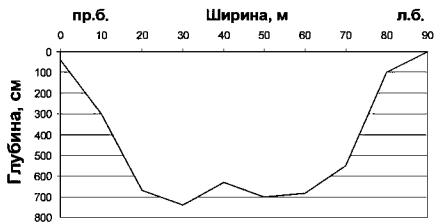


Рис. 3.5. Поперечный профиль дна Шошинского плеса, створ Безбородово, март 2012 года (пр. б. – правый берег; л.б. – левый берег)

В самых глубоких точках по русловой вертикали «поверхность – 3 м – придонная часть» производили замеры *in situ*: определяли температуру, Eh (портативным прибором для полевых исследований), фиксировали O_2 . Результаты измерений при НПУ 119.9 м представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9

Изменение индикаторов, температуры, Eh и O_2 на створе Безбородово на русловой вертикали, март 2012

| Глубина отбора пробы | Глубина до дна 6.7 м | | | | Глубина до дна 7.4 м | | | |
|----------------------|----------------------|-----------------------|-----|---------------------------------|----------------------|-----------------------|-----|---------------------------------|
| | HCO_3^- | $Ca^{2+}/t, ^\circ C$ | Eh | $O_2, \text{мг}O_2/\text{дм}^3$ | HCO_3^- | $Ca^{2+}/t, ^\circ C$ | Eh | $O_2, \text{мг}O_2/\text{дм}^3$ |
| 0.2 | 329 | 72/+0,1 | +53 | 3.5 | 323 | 74/+0.1 | +59 | 3.9 |
| 3.0 | 323 | 72/+0,2 | +43 | 5.1 | 320 | 70/+0.1 | +40 | 5.3 |
| У дна | 320 | 68/+0,4 | -41 | 4.9 | 323 | 72/+0.6 | -41 | 5.1 |

Створ Безбородово находится напротив автодорожного моста, здесь неширокое русло и высокая скорость потока, где происходит интенсивное перемешивание по всей толще воды. Однако, на величину редокс-потенциала скорость потока не влияет: в обеих точках у дна наблюдался отрицательный Eh. Этот факт можно объяснить тем, что близ Безбородово мощность юрских

отложений не превышает 2 - 3 м. Определение Eh на створе Конаково, где залегает толща юрских глин в 10 - 15 м, показало положительные значения, причем в верхней части (+67) мВ, в придонной - (+10) мВ.

Остальные характеристики химического состава проб выполнены на следующий день в гидрохимической лаборатории Ивановской НИС (таблица 3.3).

Следует отметить резкий скачок аммонийного азота с концентрации 0.4 в январе до 1.4 мг/дм³ перед наполнением водоема в конце зимы (створ Безбородово). Скачок приурочен к придонному слою, в других плесах он отсутствует, что показано на рисунке 3.6 (аналогичный скачок зафиксирован здесь также в феврале 1994 до 1.27 мг/дм³).



Рисунок 3.6. Скачок NH₄ в Шошинском плесе перед наполнением чаши, 2012

Скачок может служить как косвенным показателем усиления притока именно глубоких подземных вод, содержащих NH₄ (Аммонийсодержащие, 1995), так и признаком замора рыбы, выделяющей аммиак в условиях стресса: скученности в зимовальных ямах, скоплений молоди на мелководьях (Чалов, 2010).

Таким образом, индикаторы субаквальной разгрузки показывают, что зимой с увеличением сработки уровня водохранилища на створе Безбородово происходит поступление напорных вод.

Происходит ли перетекание в летний период, когда уровень водоема держат искусственно? Летом 1993 и 2012 годов на створе Безбородово

отрицательных Eh выявлено не было.

Однако, по геологическим данным фондов ГУЦР, к территории заповедника приурочена зона тектонической трещиноватости, где приток глубоких вод может происходить летом.

По протяженности плеса выделяется четыре участка: от створа Шоша-Тургиново до о. Чиграва (I), от о. Чиграва до железнодорожного моста (II), озеровидное расширение между железнодорожным и шоссевыми мостами (III) и непосредственно устьевая часть плеса от моста до устья Шоши (IV).

Участок III достаточно детально изучен сотрудниками ИБВВ РАН в 1968 - 1976 годах (Иваньковское, 1978). Гидрохимический режим плеса в пределах III и IV участков в зимний период ежемесячно исследовался сотрудниками ИВП РАН в 1993 - 1999 и 2011 - 2012 гг., в летний - эпизодически, с разными целями (Григорьева, 1996; Лапина, 2012).

Карта фактического материала всех исследований плеса с участием одного из авторов представлена на рис. 3.7.

Благодаря любезности администрации Национального парка «Завидово», в чьем ведении находится основная часть акватории Шошинского плеса, с целью изучения гидрохимических и гидрогеологических особенностей участка II летом 2012 года проведена его площадная гидрохимическая съемка*.

Методика работ. Съемка проведена на моторной лодке, створы-поперечники располагались по линии «правый берег-русло-левый берег». Шаг отбора между поперечниками составил 1 км, всего исследовано пять основных створов. Створ I пролегает близ о. Чиграва, створ 5 - напротив д. Гаврилково.

Пробы из придонной части отбирали морским батометром опрокидывающимся М-46. Если глубина на точке отбора составляла менее двух метров, пробу отбирали только с поверхности, более - по вертикали «поверхность-дно».

* Съемки проведены объединенными силами Заповедника в лице егерей Р. В. Павлова и С. А. Егорова и сотрудников ИВП РАН с.н.с. Е. Е. Лапиной и ст. инженера С. В. Ерошенко

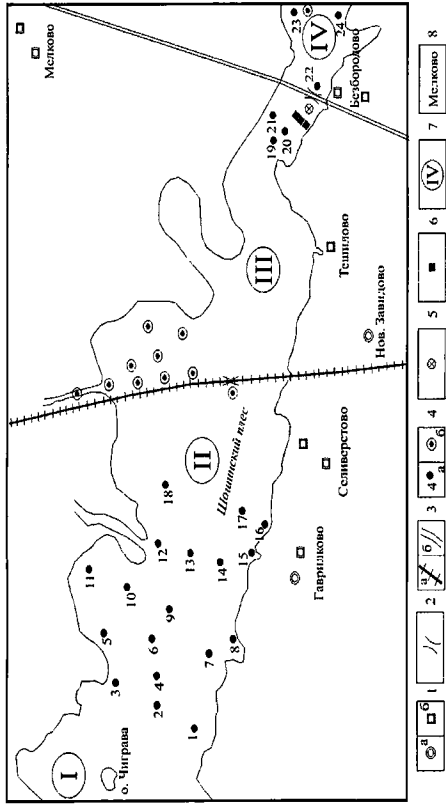


Рис. 3.7. Схема фактического материала работ на Шохинском плесе за все годы исследований. Условные обозначения:

1. а) скважины, б) колодцы; 2. мост; 3. а) железная дорога, б) автогирасса; 4. а) съемка 2012 г., июнь, б) съемка 1993 г., август; 5. режимный створ; 6. съемка 2012г., март; 7. номер участка плеса; 8. населенные пункты

На следующий день после проведения съемки с целью сравнения отобрали пробы на химический анализ в русловой части на участках III (створ Безбородово, близ шоссе моста) и IV (три точки вниз по течению). В пробах воды *in situ* измеряли температуру, pH и Eh, остальные характеристики: цветность, солевой состав и биогенные элементы выполнены на следующий день в гидрохимической лаборатории Ивановской НИС.

Результаты исследований. Съемка прошла в третьей декаде июня 2012 года, уровень водохранилища в этот день равнялся 124.1 м. Воды пресные, в русловой части величина электропроводности колеблется в пределах 25 - 27 м/Sm, цветности – 90 - 100 градусов (по Pt-Co шкале), химический состав (по Курлову) $M_{0.3-0.25} \text{HCO}_3\text{90/ Ca56 - 63Mg24 - 32Na8 - 10}$. Вниз по течению от о. Чиграва наблюдается тенденция к увеличению общей минерализации (рис. 3.8).

**Минерализация Шошинского плеса на отрезке
о. Чиграва - д. Гаврилково (русловая часть)**

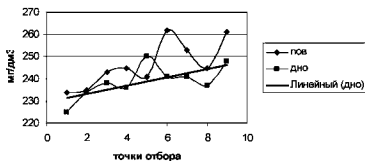


Рис. 3.8. Пространственная динамика минерализации (мг/дм^3) воды на русловой части акватории (участок II)

Химический состав вод прибрежной зоны в месте впадения притоков несколько отличается от русловой части. Например, близ устья р. Инюха (левый берег) цветность равна 150 градусам, химический состав выражается формулой $M_{0.23} \text{HCO}_3\text{90/Ca57Mg31}$ (по Курлову).

У правого берега, неподалеку от устья ручья, вытекающего из болот (напротив д. Клещево), цветность воды (поверхность) составляет 300 градусов, ЭПР – 18 мS/m, химический состав по Курлову $M_{0.15} \text{HCO}_3\text{86SO}_4\text{13/Ca63Mg20Na14}$.

Величина рН поверхностного слоя у левого берега более нейтральна по сравнению с русловой и правобережной частью (7.61 против 8.16 соответственно). По руслу от Чигравы до д. Гаврилково отмечается четко выраженная температурная стратификация (рис. 3.9). В прибрежных зонах слои прогреты более равномерно, температуры по линии дно - поверхность не отличаются.



Рис. 3.9. Пространственное и вертикальное распределение температуры воды у дна и поверхности участка II от о. Чиграва до створа 5

Солевой состав водных толщ русла от Чигравы до устья Шоши достаточно однороден. В таблице 3.10 представлены максимальные и средние величины компонентов солевого состава опробованных участков II, III и IV. В столбце «площадная съемка» обработаны все данные по участку II (без «тяжелых» точек), в столбцах «русло» - данные только по русловой части.

Таблица 3.10

Солевой состав (максимум/среднее) участков Шошинского плеса

| Показа-тель | II (34 пробы) | II (18 проб) | III (9 проб) | IV (6 проб) |
|-------------------------------|------------------|--------------|--------------|-------------|
| мг/дм ³ | Площадная съемка | Русло | | |
| HCO ₃ ⁻ | 183/162.2 | 183/165.4 | 171/167.4 | 171/159.6 |
| K ⁺ | 3.9/3.5 | 4/3.4 | 4.9/4.5 | 4.7/4.4 |
| Na ⁺ | 8.7/8.1 | 8.7/7.7 | 9.4/8.6 | 9/8.8 |
| Ca ²⁺ | 43/41.8 | 43.4/41 | 41.4/41.4 | 41.4/41.1 |
| Mg ²⁺ | 14.6/10.3 | 14.6/10.9 | 11.3/10.6 | 11.4/11.1 |
| Cl ⁻ | 1/1 | 1/1 | 2.4/2.3 | 2.4/2.1 |
| SO ₄ ²⁻ | 15/11 | 15/12 | 13/11 | 13/10 |
| Минерализация | 262/241 | 262/243 | 252/246 | 249/238 |

Из таблицы видно, что среднее содержание главных ионов по продольному профилю плеса сходно, однако повышенные концентрации ионов HCO_3^- и солей кальция и магния приурочены к акватории участка II. Концентрации главных ионов в приповерхностных и придонных слоях различаются незначительно.

Несколько различия стратификация величин общей минерализации левобережья и правобережья (рис. 3.10). На левом берегу максимальные величины приурочены к придонной части, на правом – к поверхностной.

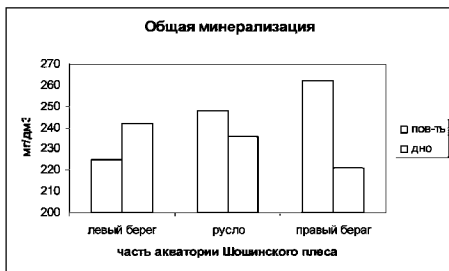


Рис. 3.10. Стратификация общей минерализации на поперечном профиле акватории Шошинского плеса, участок II (средние значения)

В питании Шошинского плеса, кроме определяющих его гидрохимический статус рек Шоша, Лама и Инюха, в летнюю межень участвуют АО, дренажный сток с окружающих плес болот и подземные воды. К последним мы относим ГВ четвертичных отложений и воды напорного водоносного горизонта верхнего карбона C_3ksm , залегающие в толще известняков и доломитов касимовского яруса верхнего карбона C_3k .

В таблице 3.11 представлены выборочные характеристики химического состава участков плеса на всем его протяжении, осадков (дождь, г. Конаково), болотных, грунтовых и напорных вод (пробы отбирались авторами в летнюю межень 2012 – 2013).

Химический состав вод плеса и источников его питания, лето, 2012-2013 годы

| Параметр | | HCO_3^- | SO_4^{2-} | СГ | ЭПР | Eh | Цветность градус | ПО |
|------------------------------|-----|--------------------|--------------------|--------------------|------|------|------------------|---------------------|
| единицы измерения | | мг/дм ³ | мг/дм ³ | мг/дм ³ | mS/m | мВ | | мгО/дм ³ |
| Объект | | | | | | | | |
| Участки плеса | I* | 299 | 15 | 6 | 50.1 | - | 30 | 5.8 |
| | II | 165 | 12 | 1 | 26.6 | - | 95 | 27 |
| | III | 159 | 11 | 2 | 28.8 | - | 70 | 22 |
| | IV | 153 | 9 | 2 | 28.0 | - | 65 | 24 |
| Болотные воды | | 91.5 | 10 | 1 | 16.2 | -62 | 300 | 79 |
| Осадки, г. Конаково | | 24 | 5 | 5 | 5 | 135 | 0 | 1.5 |
| Скважина, С ₃ ксм | | 378 | 32 | 6 | 59.4 | -110 | 15 | 3 |
| Колодец, д. Клешево | | 427 | 34 | 534 | 248 | 148 | 15 | 3.96 |
| Родник, д. Козлово | | 159 | 49 | 4 | 32.9 | - | 33 | 4.5 |
| Колодец, д. Курьяново | | 268 | 50 | 18 | 60.2 | 165 | 5 | 1.2 |

Примечание: * створ Шоша-Тургиново. Прочерк – нет данных; по участкам II-IV представлены средние данные по руслу.

Считается, что осадки в силу малой минерализованности и испарения с водного зеркала практически не оказывают влияния на формирование гидрохимического режима плеса (Красинцева, 1977). Болотные воды маломинерализованные, обогащены ОВ, высокоцветные, рН кислый. Характерной особенностью напорных вод С₃ксм является сочетание относительно высоких содержаний иона HCO_3^- и отрицательные величины Eh. ГВ исследованных колодцев, расположенных вне зоны влияния водохранилища (д. Курьяново, с. Козлово) пресные, гидрокарбонатного кальциево - магниевого состава, с минерализацией до 0.4 г/дм³; имеют положительное значение Eh. Воды колодцев, расположенных в непосредственной близости к

водохранилищу, высоко минерализованы (иногда вплоть до 2.4 г/дм^3), вода разного типа: хлоридно-гидрокарбонатного кальциевого состава (родник Тешилово), гидрокарбонатно - хлоридного натриево - кальциевого состава (колодец в Гаврилково), иногда содержание иона HCO_3^- достигает 1030 мг/дм^3 .

Для оценки гидрогеологических особенностей участка по результатам съемочных работ построены схемы пространственного распределения гидрокарбонат-иона, общей жесткости и величин Eh в придонном слое, представленные на рис. 3.11 - 3.13.

На рисунке 3.11 видно, что пробы из придонных слоев, имеющие редокс-потенциал Eh от (-32) до (-69) мВ, лежат на одной линии (скорее всего, это затопленное русло реки Шоша, так как они приурочены к глубинам 7.0 м и 8.2 м соответственно). Овальный ареал отрицательных значений Eh в нижней части рисунка характеризует болотные воды, поскольку содержание иона HCO_3^- здесь меньше 145 мг/дм^3 . На участках III и IV отрицательных Eh обнаружено не было. Более высокие концентраций гидрокарбонатов и кальция приурочены к левому берегу и к русловой части.

Исследованиями установлено, что гидрохимический режим II участка отличается от режима остальных.

Концентрации основных техногенных маркеров – сульфатов и хлоридов в ионе здесь низкие – 15.0 и 1.0 мг/дм^3 соответственно, что связано, видимо, либо с отсутствием антропогенной нагрузки из-за территориальной принадлежности к Национальному парку, либо с многоводностью года (в волжской ветви содержание хлоридов равнялось 2.4 мг/дм^3). Однако, максимальные величины гидрокарбонатов (183 мг/дм^3) опровергают последнее предположение.

Рост цветности и ПО при переходе от I участка ко второму (от 30 градусов и 5.8 мгО/л до 95 градусов и 27 мгО/л соответственно), повышенные содержания железа (до 1.6 мг/дм^3) в придонном слое свидетельствуют о значительном влиянии болотного фактора.

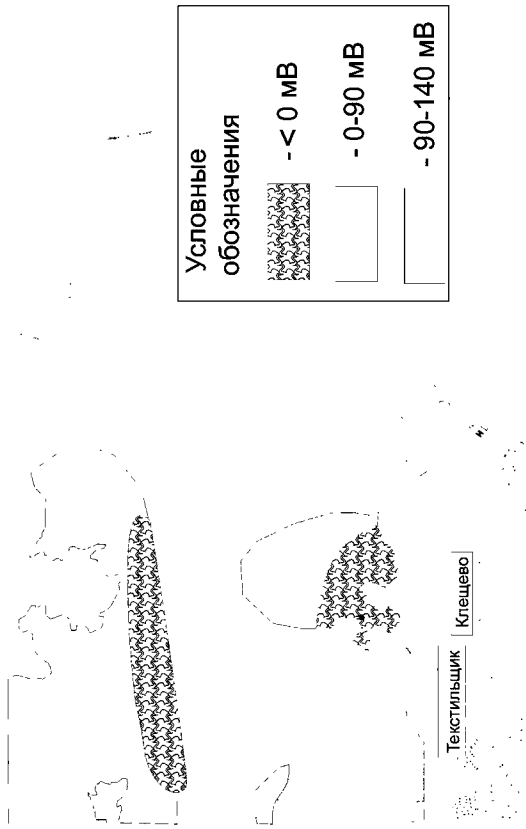


Рис. 3.1.1. Распределение Eh, мВ, по прирдной части акватории участка II, 2012 год

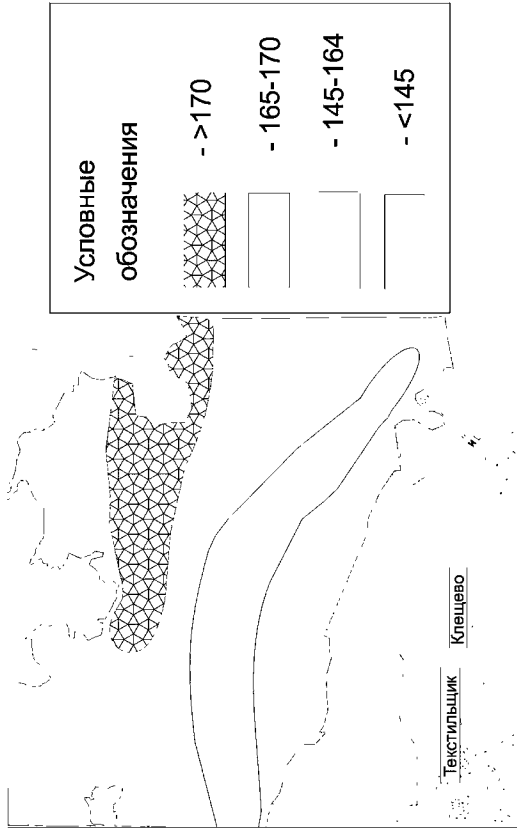


Рис. 3.12. Распределение иона гидрокарбоната (мг/дм^3) по придонной части акватории участка II, 2012 год

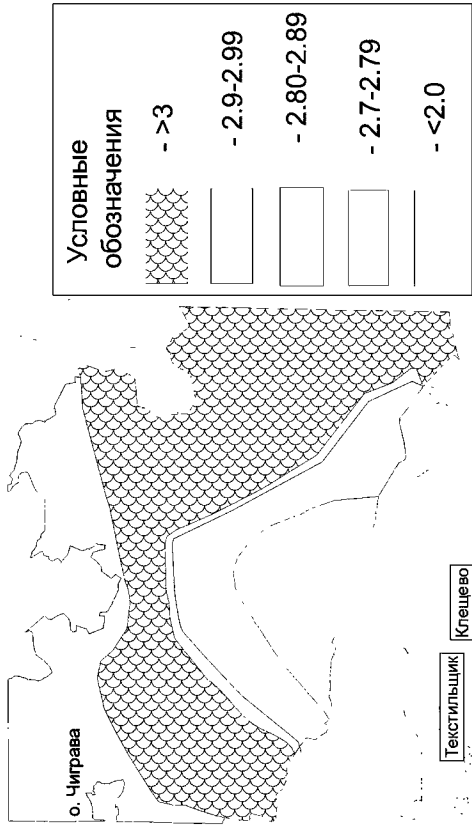


Рис. 3.13. Распределение суммы солей кальция и магния (ммоль/дм^3) у дна, участок II, 2012 год

Заметим, что в конце июня вода волжской ветви имела следующие показатели: цветность 65 градусов, ПО – 21 мгО/л, Fe_{общ} - 0.2 мг/дм³.

На момент съемки участка II сходный гидрохимический режим на русле и правобережье отличался от левобережья, где воды имели более низкий рН, содержали в больших количествах азот нитратов и общее железо.

В русловой части потока температура придонных слоев ниже на 1.1 - 2.2°C, чем поверхностных. Мелководные прибрежные территории прогревы равномерно.

На содержании железа, кроме болотного фактора, могут сказываться специфические гидрогеологические условия исследованного района. По нашим данным, в описываемом регионе воды субнапорных межморенных горизонтов содержат до 19 мг/дм³ общего железа, воды С₃к_{см} – от 0.8 до 1.4 мг/дм³.

Изучение геологических карт и разрезов показало, что соотношение пьезометрических уровней С₃к_{см} (на правом берегу плеса 128.1 – 129.0 м, на левом 122.1 - 125.0 м) и уровней водохранилища (до 119.9 м зимой и 124.0 м летом) создает предпосылки для восходящей фильтрации напорных водоносных горизонтов. Кроме того, на изученных картах просматривается зона тектонической трещиноватости субширотного направления, приуроченная именно ко II участку. Косвенным признаком наличия зоны является увеличение минерализации на этом участке (рис. 3.8). Разгрузка вод С₃к_{см} хорошо видна на рис. 3.11 и 3.12, где наблюдается характерное сочетание маркеров горизонта.

При исследовании II, III и IV участков плеса отрицательные величины Eh зафиксированы только в пределах II участка. Отрицательный редокс - потенциал в совокупности с повышенной концентрацией гидрокарбонат - ноия является косвенным признаком разгрузки напорных вод из зоны тектонической трещиноватости. Следовательно, в летний период в чашу плеса происходит разгрузка не только грунтовых, но и напорных вод.

Таким образом, в результате исследований выявлено, что основными показателями - индикаторами субаквальной разгрузки подземных вод в днище

водохранилища является комплекс ионов гидрокарбонаты – кальций в сочетании с отрицательной либо низкой положительной (до + 10 мВ) величиной редокс-потенциала.

Субаквальная разгрузка на участке Волги от Твери до Дубны имеет место не только в период сработки в местах литологических «оконов», но и в летнюю межень на отдельных участках Шошинского и Волжского плесов.

Теперь оценим величину разгрузки. Сначала используем приближенный метод определения доли артезианского стока по «формуле смещения» вод с различной минерализацией (Михайлов, 1985) по формуле (3.1)

$$Q_1 = 8.64 \times 10^4 \times Q_{\text{вдхр}} \times (C_{\text{вдхр}} - C_{\text{пол}}) / (C_{\text{арт}} - C_{\text{пол}}) \quad (3.1)$$

где Q_1 – приток напорных подземных вод, м³/сут; $Q_{\text{вдхр}}$ – расход водохранилища в выходном створе, м³/с; $C_{\text{вдхр}}$ – концентрация иона HCO_3^- в межень, мг/дм³; $C_{\text{пол}}$ – концентрация в половодье; $C_{\text{арт}}$ – концентрация иона в артезианских водах. Данные по концентрациям в разные гидрологические сезоны имеются, расходы водохранилища по плесам взяты из (Иваньковское, 2000), результаты расчетов сведены в таблицу 3.12.

Таблица 3.12

Доля подземного питания (% от расхода) в зимнюю и летнюю межень по плесам водохранилища, рассчитанная по формуле (3.1)

| Плес | Зима | Лето | Объем плеса* | Год |
|--------------|------|------|--------------|------|
| Волжский | 65 | 5 | 41 | 8.4 |
| Иваньковский | 6 | 0 | 42 | 0.5 |
| Шошинский | 87 | 7 | 17 | 11.3 |

Примечание: * - объем плеса в % от общего объема водохранилища [8].

После несложных выкладок получим, что в среднем годовой приток напорного питания водохранилища составит 6.71 %.

Теперь для расчетов используем другую формулу – модифицированную формулу Дарси

$$Q_2 = T \times \Delta H / \Delta L \times B \quad (3.2)$$

где Q_2 – приток напорных подземных вод, м³/сут; T – водопроводимость известняков верхнего карбона, м²/сут; B – длина района, м; ΔH – превышение пьезометрического напора над НПУ водохранилища, м; ΔL – показатель несовершенства вреза водохранилища, м (Ахметьева, 2013).

Для получения характеристик водопроводимости водоносного горизонта использовались фоновые материалы Московской гидрогеологической экспедиции ПГО «Центргеология» 90-х годов прошлого столетия, а также опубликованные сведения (Гидрогеология СССР, 1966; Ахметьева, 1991; Ковалевский, 2001). По этим данным водопроводимость T (м²/сут) водоносных горизонтов составляет: четвертичного (первого от поверхности) 100–450, среднее значение 200; четвертичного межморенного – до 200; клязьминского (клязьминско-ассельского) горизонта от 150 до 5400, в среднем 600–800; касимовского горизонта - 1200.

Сопrotивление A_0 юрских глин составляет 2×10^5 сут, моренных суглинков 1×10^3 , четвертичных отложений в гидрогеологических «окнах» $3/5 \times 10^3$ сут.

Показатель несовершенства вреза водохранилища ΔL рассчитан по формуле (Ковалевский, 2001).

$$\Delta L = \sqrt[4]{(T \times A_0) \times \text{cth } 2b / \sqrt{(T \times A_0)}} \quad (3.3)$$

где T – водопроводимость напорного горизонта на выделенном участке, м²/сут; A_0 – показатель фильтрационного сопротивления ложа, 1/сут; b – средняя ширина водохранилища на участке от уреза до уреза, м.

Анализируя данные по геологическому строению Ивановского водохранилища, с учетом гидрогеологических работ, проведенных в последнее время для водоснабжения городов Твери, Коиаково и прибрежных поселков, можно разделить его на шесть районов.

Первый район (I) – верховья водохранилища от г. Твери до д. Горохово; второй (II) – от д. Горохово до с. Городня; третий (III) – от с. Городня до д. Городище; четвертый (IV) от д. Городище до устья р. Созь; пятый (V) - от устья

р. Созь до г. Дубны и шестой район (VI) – Шошинский плес (номера показаны на рис. 1.1).

В первом районе р. Волга врезана в четвертичные ледниковые отложения мощностью около 25 - 30 м, с K_{ϕ} в диапазоне 0.1-0.8 м/сут. Напор водоносного горизонта C_3 ksm имеет абсолютные отметки около 130 м, ΔH составляет 6 м.

Во втором и третьем районах водоупорные глины практически на всем протяжении подстилают водоохранилище. Их мощность равна 6-17 м, K_{ϕ} составляет 0.0001 – 0.00001 м/сут.

В четвертом районе на отдельных участках глины отсутствуют (д. Некрасовка, д. Плоски). На этих участках происходит более интенсивная разгрузка напорных вод, фактическая водопроницаемость водоносного горизонта верхнего карбона здесь достигает 5400 м²/сут. Пьезометрические уровни напорных вод устанавливаются на отметке около 125.5 – 129.0 м.

В пятом районе статический напор артезианских вод устанавливается ниже НПУ (124м), и только зимой, когда уровень водоохранилища снижается до отметок 119 - 120 м, разгрузка напорных вод происходит в днище бывшего русла реки Волги.

VI район – Шошинский плес. Статический уровень напорных вод устанавливается на отметках 128 - 129 м, юрские глины местами размыты, здесь происходит слияние древних переуглубленных долин р. Шоши, а в днище водоохранилища фильтруются воды касимовского горизонта

В таблице 3.11 приведены использованные для расчетов гидродинамические показатели напорных водоносных горизонтов верхнего карбона и полученные результаты, представленные отдельно по летне-осеннему и зимнему периодам.

Таким образом, общая величина притока напорных вод Q_n , рассчитанная по модифицированной формуле Дарси (3.2), составит 263.3×10^6 м³/год.

Преыдушие расчеты авторов, давшие цифры артезианского притока 0.9%, не учитывали перетока через литологические «окна» и переуглубленные

Приток напорных вод в днище водохранилища и их гидродинамические характеристики

| Участок | Месяцы | В, м | ΔH , м | ΔL , м | T_2 , м ² /сут | $Q, 10^6 \text{ м}^3$ | |
|---------------|---------|-------|----------------|----------------|-----------------------------|-----------------------|--------------|
| | | | | | | месяцы | в год |
| I | IV-XI | 15000 | 5.5 | 700 | 1200 | 34.7 | 60.6 |
| | XII-III | | 6 | 500 | 1200 | 25.9 | |
| II | IV-XI | 28000 | 4 | 900 | 1300 | 39.6 | 76.1 |
| | XII-III | | 5 | 600 | 1300 | 36.4 | |
| III | IV-XI | 25000 | 4 | 8000 | 1300 | 4.0 | 7.2 |
| | XII-III | | 5 | 6000 | 1300 | 3.3 | |
| IV | IV-XI | 34000 | 3 | 2600 | 5400 | 51.9 | 113.9 |
| | XII-III | | 4.5 | 1600 | 5400 | 62.0 | |
| V | IV-XI | 40000 | 1.3 | 10000 | 600 | 0.8 | 1.4 |
| | XII-III | | 1.8 | 8000 | 600 | 0.6 | |
| VI | IV-XI | 45000 | 3 | 8000 | 500 | 2.1 | 4.1 |
| | XII-III | | 4.5 | 6000 | 500 | 2.0 | |
| Всего, приток | | | | | | | 263.3 |

долины, величины водопроницаемости водоносных горизонтов карбона брались средние, по литературным данным.

По данным (Григорьева, 2009), в период 1948 - 1998 гг. в составе среднемноголетнего водного баланса водохранилища приход в год средней водности по статье «поверхностный приток» равен $9600 \times 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$.

Расчеты по формуле (3.1) – 6.71% дают цифру напорного питания $640.8 \times 10^6 \text{ м}^3 \times \text{год}$; результаты по (3.2) составляют 2.7 %. Учитывая большую приближенность исходных данных для расчетов по (3.1), мы полагаем более реальными результаты по формуле (3.2).

Кроме напорных вод, разгрузка которых происходит в днище, в питании водохранилища принимают участие ГВ, разгружающиеся субаквально в борта водохранилища, и родники, расположенные по берегам, приток которых ранее никем не подсчитывался.

Грунтовый сток $Q_г$ через берега водохранилища подсчитывался по участкам по формуле Дарси

$$Q_r = khIB$$

$$(3.4),$$

где k – K_f четвертичных отложений, слагающих берега, м/сут; h – мощность обводненных отложений, м; I – уклон потока грунтовых вод; B – длина береговой линии.

Согласно (Ахметьева, 1991), грунтовый сток для всего водохранилища оценивается величиной $462.5 \times 10^5 \text{ м}^3/\text{год}$.

Для оценки родникового стока рассмотрим те родники, которые разгружаются непосредственно в водоем в виде поверхностного стока либо линейным потоком, либо пойменным высачиванием. Субаквальная разгрузка в контексте данного подраздела относится непосредственно к ГВ, если это борта водохранилища, и к напорным водам, если это литологическое «окно».

Для расчетов использовались данные по всем родникам, выявленным в результате маршрутных обследований по периметру береговой линии водохранилища.

Измеренные расходы по каждому роднику осредняли до среднемесячных, пересчитывали на год и затем суммировали, в результате чего родниковый сток в водохранилище Q_r за год оценивается величиной $0.17 \times 10^6 \text{ м}^3$.

К особенностям территории относится широкое распространение палеодолин, в пределах которых происходит тесная гидравлическая взаимосвязь между напорными, грунтовыми и поверхностными водами (Маевский, 1969).

Палеодолины разгружаются в современную долину р. Волги и являются дренами, в которых скапливается, главным образом, грунтовая подземная вода. Согласно работам (Горецкий, 1966; Маевский, 1969) на территории верхней Волги развиты палеодолины, глубина вреза которых достигает по одним данным – 40 м, по другим – 100 м. Они образовались в доледниковое время, сложены преимущественно песчаными отложениями, простираются в широтном направлении. После отступления ледника в четвертичный период гидрографическая сеть российского севера и северо-запада претерпела большие изменения. Долина верхнего течения р. Волги и ее основные притоки в

современном виде сформировались именно в этот период. Самыми древними террасами р. Волги являются среднечетвертичные, высотой около 20 м, сложенные преимущественно песчаными отложениями, залегающими на известняках карбона (в пределах г. Твери и выше города), или на четвертичных моренных суглинках (ниже г. Твери).

Мощность древнеаллювиальных отложений достигает 20 – 30 м. Сверху они перекрыты песчано - суглинными ледниковыми отложениями среднечетвертичного и позднечетвертичного возраста. Перекрывающие отложения нередко представлены флювиогляциальными песками с гравием и галькой, либо моренными суглинками. Значительное количество АО территории, равнинный или слабо всхолмленный рельеф способствует образованию подземного стока и скоплению воды в древних аллювиальных долинах.

Ориентировочно можно подсчитать приток подземной воды за счет погребенных долин в местах, где такие долины установлены. Например, севернее Шошинского плеса в широтном направлении протекала палеорека. По данным бурения (Горюцкий, 1966) известно, что эта долина имела мощность аллювиальных отложений 20 - 30 м, ширину около 50 - 70 м, состав отложений преимущественно песчаный с K_f около 1 м/сут, уклон долины можно принять равным 0.07 (типичный уклон для равнинных рек северо-запада европейской части России).

Произведя расчеты, определим, что приток воды через палеодолину Q_p в Ивановское водохранилище со стороны Шошинского плеса составит

$$Q_p = kmVi = 1 \times 20 \times 70 \times 0.07 = 98 \text{ м}^3/\text{сут}, \text{ или } 35770 \text{ м}^3/\text{год} \text{ (3.5)},$$

где k – коэффициент фильтрации, м/сут; m – мощность аллювия, м; V – ширина потока, м; i – уклон долины.

Другая палеодолина р. Волги проходит также в широтном направлении южнее затопленного города Корчева. В связи с тем, что данных по мощности и составу аллювиальных отложений недостаточно, будем считать, что она аналогична долине, вскрытой у Шошинского плеса. Значит, приток грунтовых

вод за счет продолины в район V составит $35770 \text{ м}^3/\text{год}$, а всего $Q_{\text{п}}$ составит $7.15 \times 10^4 \text{ м}^3/\text{год}$.

Таким образом, годовое подземное питание Иваньковского водохранилища $Q_{\text{подз}}$ складывается из следующих составляющих:

$$Q_{\text{подз}} = Q_{\text{и}} + Q_{\text{г}} + Q_{\text{р}} + Q_{\text{п}} = 2633 \times 10^5 + 462.5 \times 10^5 + 1.7 \times 10^5 + 0.72 \times 10^5 = 3097.9 \times 10^5 \text{ м}^3 \quad (3.6)$$

где $Q_{\text{и}}$ – напорная часть, $Q_{\text{г}}$ – грунтовая, $Q_{\text{р}}$ – родниковая; $Q_{\text{п}}$ – приток из палеодолин.

Несмотря на относительную приближенность исходных данных, использование разных способов расчетов подтверждает, что поступление в ложе водохранилища артезианских вод имеет место и составляет около 2.7 % от среднееголетнего расхода Волги на участке Тверь–Дубиа.

Установлено, что подземное питание на этом участке происходит, в основном, за счет напорных вод верхнего карбона. Грунтовое питание (вместе с родниковым стоком) составляет порядка 0.5 %, а общее питание водохранилища за счет подземных вод составляет, по нашим расчетам, около 3.2 %.

Полученные цифры не противоречат данным (Григорьева, 2009), по которым невязка годового баланса Иваньковского водохранилища, куда входит подземный приток, составляет 4.79 % в многоводную фазу и 1.05% - в экстремально маловодные годы.

Проведенные работы также подтверждают, что глубокий врез речных долин в коренные отложения даже в районах сглаженного платформенного рельефа активизирует артезианский сток в реку.

Установленная генетическая структура подземного притока в Иваньковское водохранилище важна для разработки методов управления качеством его вод, определения приоритетных водоохранных мероприятий в регионе, а в дальнейшем при оценке влияния подземного стока на биоту водохранилища – ее состав, распространение и особенности развития.

3.2. Родниковый сток как элемент подземного стока малых рек

В последнее время большое внимание уделяется малым рекам – вопросам их экологического состояния, охраны от истощения и деградации, сохранения разнообразия биоты и др. Изучением малых рек Верхневолжья с разной целью занимались многие исследователи. Выявлено влияние дренажных стоков болот на качество рек - водоприемников (И. Ф. Ларгин, В. И. Косов), изучено воздействие урбанизации водосбора на гидрохимические и гидрологические характеристики стока (А.А. Цыганов), на гидробиологические параметры (Л.П. Черных), дана оценка антропогенных нагрузок на водосборы (Н. И.Алексеевский), описано современное экологическое состояние притоков (И.В. Ланцова, И.Л. Григорьева). Исследованы реки - притоки Волги от ее истоков до Твери, уточнены расходы рек и их химический состав (Ю.Н. Женихов, В.В. Кузовлев); разработана методика количественной оценки подземного притока в реки на основе уравнений руслового водного и ионного гидрохимического балансов (П. И. Яковлев).

Тем не менее вопросы подземного питания рек, особенно структуры его подземной составляющей, до сих пор остаются малоизученными.

Если раньше разделением подземного стока в реки на генетические составляющие в силу слабой загрязненности подземных вод (в целом) можно было пренебречь, то сейчас ситуация изменилась: ГВ становятся все более некондиционными, а хорошо защищенные с дневной поверхности напорные воды имеют относительно стабильные характеристики.

Многие исследователи полагают, что именно взаимодействие речных и подземных вод определяет возможность антропогенных нарушений водного режима речных бассейнов (Калинин, 1998).

Общепринято, что в Тверской области многолетнее среднегодовое питание малых рек состоит из снегового (50% и более); грунтового с верховодками (25 - 35%, у некоторых авторов до 40%) и дождевого (15 - 20%). Такая структура выдвинута в середине прошлого века, и с этого времени практически не менялась (Гавеман, 1955; Ланцова, 2000).

Подземное питание рек складывается из грунтового и артезианского стока, причем априори под грунтовым питанием подразумевается сумма напорного и грунтового питания (в силу неизвестности и предполагаемой незначительности доли притока артезианских вод).

Родниковый сток определяют как сток родников (источников), принимающий участие в формировании речного стока в рассматриваемом створе (Чеботарев, 1970). Субаквальная разгрузка подземных вод в дно реки и родниковый сток в настоящее время вызывают большой интерес в связи с бассейновым подходом к оценке величины подземного притока в реки.

В конце прошлого века проводилась детальная разведка месторождений пресных подземных вод по ряду объектов в Тверской области. В результате полевых работ Калиинской гидрорежимной партии установлено, что основная доля в разгрузке подземных вод в реку Тверца относится к родниковому стоку и склоновому высачиванию (72.5%). На долю разгрузки подземных вод непосредственно в русло (субаквальная разгрузка) приходится до 15%, а на испарение с поверхности грунтовых вод и заболоченной поймы примерно 12.5%. Исследователи считают, что порядок цифр распространяется на все реки Тверской области (Отчет, 1989).

Однако, на отрезке Тверь – Дубна притоки Волги с геолого-гидрогеологических позиций на данный момент времени изучены недостаточно, и единственным способом восполнить пробелы остаются экспедиционные исследования (Малые, 2003).

В период 2001 – 2006 годов по теме гранта РФФИ «Миграция загрязняющих веществ в болотных массивах с учетом гистерезиса процессов сорбции-десорбции: разработка математической теории, экспериментальные исследования и численное моделирование» авторами проведены гидрометрические съемки от верховьев реки до устья. Проведение такого рода работ позволяет установить особенности взаимосвязи подземных и речных вод на отдельных участках, выявить места субаквальной разгрузки и подземных потерь речного стока по всей длине реки. Использовался упрощенный

гидрометрический метод оценки подземного питания на беспроточных участках рек в период отсутствия осадков.

Работы состояли из определений скоростей течения реки на выбранных поперечниках (створах) методом поплавков. Гидрометрическая съемка совмещалась с измерением уровня первого от поверхности БнГВ в пробуренных вручную временных разведывательных скважинах глубиной 0.8 - 3.0 м на расстоянии 5 - 25 м от уреза (в зависимости от геологических и гидрогеологических условий местности). Если рядом с рекой располагался колодец, то УГВ измеряли в колодце.

Исследованы левобережные притоки Орша и Созь, правобережные Дойбица, Донховка и Сучок, Лама в нижнем течении.

В таблице 3.14 представлены общие гидрологические характеристики рек.

Таблица 3.14

Общие характеристики рек (Ресурсы, 1966; Ресурсы, 1972)

| Приток | Длина реки, км | Площадь водосбора, км ² | Заболоченность/лесистость*, % | Ширина русла, верховья/устье, м |
|----------|----------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Орша | 72 | 752 | 41/32 | 6.0**/55 |
| Созь | 34 | 575 | 65/13 | 3.0-4.0/250-300 |
| Дойбица | 24 | 192 | 1.3/7 | 1.0/80-100 |
| Сучок | 17 | 58.3 | 14/60 | 1.0/40-60 |
| Донховка | 27 | 158 | 10/60 | 5.0/400 |

Примечание: *рассчитаны В.В. Кудряшовой по (Атлас, 2002); ** полевые данные, створ Давыдово, 2013.

Все изученные водотоки вытекают из болотных массивов либо питаются в истоках болотными водами.

Долины слабо террасированы, глубина эрозионного вреза незначительна (до 40 м) и редко прорезает водоупорные толщи. Русло проложено в четвертичных породах, вытопленных озерно-ледниковыми и суглинистыми отложениями московской и днепровской морен. В таблице 3.15 даны гидрологические характеристики водотоков.

Величина годового стока изученных рек (Ресурсы, 1972; Мирзоев, 1995)

| Река | Среднеголетний сток в устье | | Годовой сток расчетной обеспеченности, м ³ /с | | |
|----------|-------------------------------------|-------------------|--|------|------|
| | 10 ⁶ м ³ /год | м ³ /с | 95% | 75% | 50% |
| Созь | 116.05 | 3.68 | 2.36 | 3.07 | 3.66 |
| Дойбица | 39.42 | 1.25 | 0.79 | 1.02 | 1.22 |
| Сучок | 11.98 | 0.38 | 0.24 | 0.31 | 0.37 |
| Инюха | 78.84 | 2.5 | 1.61 | 2.09 | 2.49 |
| Донховка | 32.48 | 1.03 | 0.65 | 0.84 | 1.0 |

Глубина рек колеблется в среднем от 1.5 до 5.0 м, а в устьевой части притоков водохранилища – до 7.0 м.

Подземное питание рек по условиям дренирования складывается из субаквальной разгрузки (когда подземный поток разгружается на относительно большом участке русла водоема или его ложа, это называют также пластовым выходом) и родниковой, когда имеется сосредоточенный естественный выход подземных вод на поверхность (Попов, 1968). Рассмотрим особенности родниковой разгрузки.

Маршрутные исследования показали, что исследованные реки по количеству выходов родников в береговой зоне неравноценны.

Химический состав родникового стока также различается (таблица 3.16).

Таблица 3.16

Особенности химического состава родникового стока на водосборах рек Дойбица, Сучок, Донховка, Созь и Орша, летняя межень

| Местонахождение родника | Минерализация | Ионный состав, % - экв |
|-------------------------|------------------------|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Река Дойбица | | |
| Д. Кочедыково, колодец | 0.51 г/дм ³ | HCO ₃ 55 SO ₄ 20 NO ₃ 17Cl ⁻ / Ca68Mg29 |
| Д. Завидово, колодец | 1.28 | Cl57HCO ₃ 35SO ₄ 7NO ₃ 2/ Ca50Mg30 Na+K20 |
| Река Сучок | | |
| Д. Долинки, колодец | 0.4 | HCO ₃ 88 SO ₄ 10 Cl ⁻ / Ca66Mg18K10Na5 |
| Река Донховка | | |
| Селихово | 0.78 | HCO ₃ 70 Cl 16SO ₄ 9 /Ca60Mg30 |

Таблица 3.16. продолжение

| 1 | 2 | 3 |
|---|------|---|
| Филимоново | 0.63 | HCO ₃ 72 Cl 7SO ₄ 6 NO ₃ 2/ Ca71Mg29 |
| Сорокопенно | 0.62 | HCO ₃ 66 SO ₄ 22 Cl10NO ₃ 2 / Ca64Mg30 Na+K6 |
| Конаково, Октябрьский мост | 0.68 | HCO ₃ 68 SO ₄ 20 Cl2/Ca68Mg29 |
| Конаково, Школа № 6 | 0.89 | HCO ₃ 60 SO ₄ 28Cl 11/ Ca61Mg26Na11 |
| Конаково, ул. Кооперативная | 0.92 | HCO ₃ 79 Cl 12SO ₄ 8 NO ₃ 1/ Ca63Mg31 |
| Река Созь | | |
| Окулово | 0.26 | HCO ₃ 85 Cl 7SO ₄ 6 NO ₃ 2/ Ca80Mg15 |
| Никольское | 0.51 | HCO ₃ 79 SO ₄ 9Cl 3NO ₃ 3/ Ca58Mg42 |
| Поповское | 0.59 | HCO ₃ 59 NO ₃ 19SO ₄ 15Cl 8 / Ca63Mg37 |
| Река Орша | | |
| Тованово | 0.47 | HCO ₃ 87 SO ₄ 10 /Ca72Mg27 |
| Савватьевский | 0.23 | HCO ₃ 80 SO ₄ 13 /Ca71Mg22 |
| Оршинский | 0.09 | HCO ₃ 89 /Ca60Mg30 |
| р. Инюха | | |
| Вахонино, левый берег р.Инюхн | 0.59 | HCO ₃ 68SO ₄ 15Cl10NO ₃ 7/ Ca66 Mg29Na5 |
| Вахонно, левый берег р.Волгн | 1.45 | HCO ₃ 68SO ₄ 15Cl10NO ₃ 7/ Ca66 Mg29Na5 |
| Вахонно, левый берег Инюхи, высачивание | 0.6 | HCO ₃ 62Cl27SO ₄ 10NO ₃ 1/ Ca55Mg22Na+K23 |
| р. Лама | | |
| Павельцево | 0.28 | HCO ₃ 56SO ₄ 31Cl8NO ₃ 5/ Ca47 Mg23Na21K9 |
| Бушмино | 0.09 | HCO ₃ 61SO ₄ 32Cl5NO ₃ 2 / Ca51Na20Mg17K9 |
| Койдиново | 0.34 | HCO ₃ 82 SO ₄ 13 NO ₃ 3Cl 2 / Ca59Mg29Na9K2 |

На водосборах Дойбицы и Сучка родников в виде сосредоточенного выхода на дневную поверхность нет; восходящие напорные воды разгружаются в ключевые колодцы. Родники Дойбицы имеют повышенную минерализацию, связанную с разгрузкой глубоких вод; распространены воды гидрокарбонатно - сульфатного кальцево-магниевого и хлоридно - гидрокарбонатного кальцево - магниевого состава.

Больше всего родников выходит по берегам Донховки; состав воды гидрокарбонатно - сульфатный кальциево - магниевый, либо гидрокарбонатный кальциево - магниевый.

На Сози и Орше имеется по три родника, приуроченных к аллювиальным надпойменным террасам; родник в Окулово (III группа) питается межморенными водами, в половодье – водами Сози, состав воды гидрокарбонатный кальциевый либо гидрокарбонатный кальциево-магниевый. У родников в устье рек вода мало минерализованная, они подвержены значительному антропогенному влиянию.

Родниковый сток Инюхи более минерализован, общая минерализация колеблется от 0.6 до 1.5 ммоль/дм³, воды в основном гидрокарбонатного кальциево-магниевого и гидрокарбонатного кальциевого состава, присутствуют ЗВ – нитраты, фосфаты, так как водосборная площадь испытывает значительную рекреационную и сельскохозяйственную нагрузку.

Родники Ламы в силу труднодоступности исследованы однократно, состав воды преимущественно гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый.

Наибольшая величина родникового стока выявлена у Донховки, на водосборе которой выходит шесть родников.

Так как мы располагаем данными режимных наблюдений за расходами родников, рассчитаем объемы родникового стока за год для каждой реки (расчеты проведем для наиболее изученных рек Орша, Донховка, Созь и Инюха).

Известно, что на участке Тверь – Дубна доля подземного притока в реки от среднеголеетного стока в устье составляет в среднем 32% (Иваньковское, 2000). Поскольку устье является зоной подпора, определим гипотетическую долю родникового стока в подземном стоке рек.

Данные по среднеголеетному стоку представлены в таблице 3.15, сток для Орши составляет 5 м³/с (Ресурсы, 1972). Итоговые расчеты по объемам родникового стока и их доли в подземном притоке каждой реки представлены в таблице 3.17.

Годовые объемы родникового стока притоков Иваиыковского водохранилища и его доля в их подземном питании

| Местоположение родника | Объем родникового стока, м ³ /год | Доля в подземном стоке, % в год |
|------------------------|--|---------------------------------|
| Река Орша | | |
| Саватьево | 3784.32 | - |
| Устье Орши | 3153.60 | - |
| Суммарный объем | 6938.92 | 0.014 |
| Река Созь | | |
| Окулово | 3469.0 | - |
| Никольское | 3153.6 | - |
| Поповское | 12614.4 | - |
| Суммарный объем | 19237.0 | 0.052 |
| Река Донховка | | |
| Селихово | 39528.0 | - |
| Октябрьский мост | 1244.2 | - |
| Сорокопенино | 1264.9 | - |
| Школа | 18536.3 | - |
| Ул. Кооперативная | 3110.4 | - |
| Суммарный объем | 63683.8 | 0.61 |
| Река Ииюха | | |
| Вахоино, у Волги | 3784.3 | - |
| Вахоино, у Ииюхи | 380.0 | - |
| Суммарный объем | 4164.3 | 0.02 |

Несмотря на то, что расчеты объемов родникового стока очень приблизительны (не учтены величины склоновых высачиваний и т.д.), за счет использования фактических данных порядок цифр вполне достоверен. Наибольшая величина суммарного родникового стока выявлена у Донховки; она составила 6.37×10^4 м³/год, или 0.6% от расчетного гипотетического годового подземного стока в реку. На остальных изученных реках разгрузка нисходящих родников составляет около 0.02 – 0.05 % от годового притока подземных вод.

Проведенные гидрометрические съемки от верховьев до устья позволили выделить на реках отдельные участки относительно интенсивной субаквальной разгрузки. Одним из таких участков является с. Селихово, где на реке

Донховка расположен опорный родник. Выход находится на левом берегу реки, за автодорожным мостом; в 15 м от него ниже по течению, через реку перекинуты мостки. Расстояние от автомоста до мостков – 35 м. В летнюю межень 2011 года на этом участке проведено определение долей родникового стока и субаквальной разгрузки в подземном стоке Доиховки. Для корректного получения локальных значений притока/оттока на отдельных участках реки необходимо, чтобы разница расходов превышала возможные погрешности их измерения не менее чем в 3 раза (Шестаков, 2003). Измеренный расход реки у автомоста составил $0.33 \text{ м}^3/\text{с}$, у мостков – $0.34 \text{ м}^3/\text{с}$, приращение равняется $0.01 \text{ м}^3/\text{с}$, или 10 л/с , что с учетом стандартной погрешности измерения расхода 3.5% (Яковлев, 2007) является корректной величиной. Замеренный дебит родника – 1.21 л/с , что составляет 12% от величины субаквальной разгрузки в русло на этом участке, и 0.36% - от стока реки.

Аналогичные расчеты по опорным родникам в д. Окулово и д. Савватьево (родник – створ реки в $10\text{--}15 \text{ м}$ ниже выхода родника) показали, что доля родникового стока от стока реки в створе составляет 0.01% и 0.006% соответственно, что согласуется с гипотетическими расчетами в таблице 3.17.

Для равнинных рек несущественность вклада родникового стока выявлена во второй половине прошлого века (Куделин, 1959). Таким образом, проведенные исследования подтверждают, что для притоков Волги от Твери до Дубны родниковый сток в реки с дневной поверхности играет подчиненную роль.

Основную часть подземного притока на описываемой территории составляет субаквальная разгрузка в русло реки.

Известно, что в ряде случаев напорные водоносные пласты дренируются непосредственно эрозионными врезами и депрессиями водоемов, разгрузка тогда происходит по системе разломов или тектонических трещин. Скорее всего, для изученных притоков разгрузка восходящих глубоких вод происходит через «гидрогеологические окна» или путем перетекания через относительно водоупорную кровлю.

В последнем случае подземное питание реки происходит через залегающие выше горизонты ГВ, то есть при дренировании самой крупной дреней – Волгой в зоне разгрузки происходит сложное смешивание подземных вод разного генезиса, которые в виде субаквальной разгрузки питают реку.

На рис. 3.14 представлено распространение дочетвертичных пород на водосборах изученных рек. На рисунках указаны створы, где двумя авторами проводились гидрометрические работы.

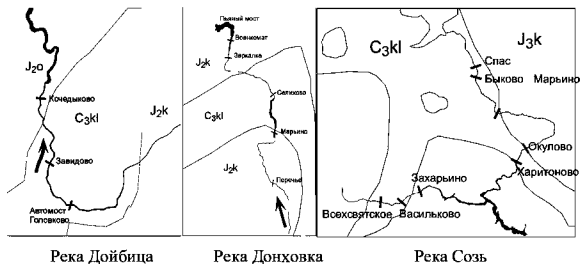


Рис. 3.14. Распространение дочетвертичных отложений на водосборе Дойбицы, Донховки и Сози (Геология, 2000) Стрелкой указано направление течения, цилиндрами – створы-поперечники

Водотоки протекают по местам размыва юрских отложений. Дойбица от верховьев и почти до подпора приурочена к литологическому «окну»; истоки Сози до створа Марьино расположены в зоне распространения известняков клязьминского водоносного горизонта; на водосборе Донховки опорный родник Селихово находится в центре литологического «окиа». В зоне «окон» четвертичные отложения залегают непосредственно на известняках верхнего карбона, что создает предпосылки для фильтрации потока восходящих вод в русло реки.

Для подтверждения такой фильтрации, имея в своем распоряжении данные по химическому составу речных вод в разные гидрологические фазы, проведем ее грубую ориентировочную оценку для реки Сучок.

По методу Л.С. Балашова рассчитаем приток артезианских вод в створе д. Вахромеево (в 2-х км от устья) по формуле (Михайлов, 1985)

$$Q_a = Q_3 \times C_3 - Q_2 \times C_2 / C_a \quad (3.7)$$

где Q_a – артезианский сток, Q_2 – поверхностный сток, формирующий речной, Q_3 – речной сток в половодье ($\text{м}^3/\text{с}$); C_a – концентрация HCO_3^- в разгружающихся артезианских водах, $\text{мг}/\text{дм}^3$; C_2 – в поверхностном стоке; C_3 – в паводочном стоке.

Подставляя в формулу (6) свои данные, получаем

$$0.6 \times 85 - 0.14 \times 244 / 310 = 0.054 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.8)$$

из чего следует, что приток артезианских вод в реку Сучок (субаквальная разгрузка) имеет место. Рассмотрим особенности подземного притока в исследованные реки. В таблице 3.18 представлено изменение химического состава рек по створам, показанным на рис. 3.14 и 3.16. Из таблицы видно, как на водосборе реки Сучок меняются основные индикаторы субаквальной разгрузки на участке Долинки – Новошино, на водосборе Дойбицы на створе Кочедыково общая жесткость всегда выше, чем в других створах; на водосборе Донховки на створах Марьино и Селихово меняются величины цветности, ЭПР, ПО.

Для реки Созь определение подземного питания по всей ее длине, согласно имеющимся створам, представляет определенную трудность из-за сложных условий озерного регулирования и большого числа притоков (порядка 19).

На водосборе Орши в кровле известняков карбона повсеместно залегают юрские отложения, что усложняет взаимосвязь речных и подземных вод; Донховка в верховьях частично канализована, русло завалено топляками, поэтому провести полиценную гидрометрическую съемку на этой реке не удалось. Дойбица приурочена к зоне интенсивной трещиноватости, и стоит особняком в ряду исследованных рек.

Гидрохимические характеристики изученных рек от верховьев до устья, летняя межень

| Створ | рН | Цвет. | ПО | Са | Са+Mg | HCO ₃ | NO ₃ | NH ₄ | Cl | SO ₄ | ЭПР мS/м |
|-----------------------|------|-------|---------------------|--------------------|-----------------------|------------------|----------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-------------|
| | | град. | мгО/дм ³ | мг/дм ³ | ммоль/дм ³ | дм ³ | мг N/дм ³ | мг/дм ³ | мг/дм ³ | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Сучок, 1999 год | | | | | | | | | | | |
| Горбасьево | 6.81 | 300 | 30 | 17 | 1.05 | 2 | 0.4 | 0.83 | - | 16 | 17.3 |
| Долинки | 6.69 | 200 | 26 | 26 | 2.05 | 2.85 | 0.82 | 0.81 | 0.7 | 33 | 28.8 |
| Вахромеево | 7.05 | 230 | 22 | 28 | 3.3 | 3.15 | 0.29 | 0.72 | 1.4 | 18 | 32.7 |
| 2011 год | | | | | | | | | | | |
| Горбасьево | 6.90 | 240 | 48 | 26 | 1.7 | 1.4 | 0.27 | 0.61 | 0.7 | 7.4 | 14.8 |
| Новошино | 7.0 | 250 | 54 | 28 | 2.2 | 2.2 | 0.25 | 1.49 | 0.7 | 6.6 | 21.4 |
| Долинки | 7.4 | 30 | 7.3 | 64 | 4.9 | 4.6 | 0.34 | 0.20 | 4.3 | 23.0 | 51.9 |
| Вахромеево | 7.7 | 140 | 32 | 60 | 4.6 | 4.1 | 0.08 | 0.35 | 50.4 | 7.8 | 56.3 |
| Устье | 7.3 | 50 | 16.3 | 46 | 3.7 | 3.3 | 0.08 | 0.23 | 20.8 | 15.9 | 43.2 |
| 2012 год | | | | | | | | | | | |
| Новошино | 6.9 | 300 | 56 | 28 | 2.2 | 1.5 | 0.95 | 0.91 | 1.9 | 17.2 | 22.4 |
| Долинки | 7.0 | 200 | 56 | 32 | 2.2 | 1.4 | 1.31 | 0.90 | 6.5 | 23 | 25.3 |
| Вахромеево | 7.2 | 175 | 47 | 40 | 2.9 | 2.0 | 1.40 | 0.86 | 10.9 | 27 | 32.1 |
| Р. Донховка, 2004 год | | | | | | | | | | | |
| Задний двор | 6.95 | 240 | 30.4 | 34 | 2.2 | 4.1 | 0.2 | 0.65 | 2.8 | 19 | 42 |
| Поречье | 6.78 | 105 | 19.2 | 70 | 9.8 | 3.7 | 0.22 | 0.58 | 7 | - | 70.9 |

| | | | | | | | | | | | |
|----------|------|-----|------|----|-----|-----|------|------|------|-----|----|
| <i>l</i> | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Марьино | 7.90 | 105 | 13 | 42 | 3.2 | 4.7 | 1.1 | 0.5 | 42 | - | 63 |
| Селихово | 7.30 | 100 | 18.2 | 38 | 2.6 | 4.2 | 0.15 | 0.4 | 16 | 53 | 51 |
| Устье | 6.49 | 80 | 16.1 | 32 | 2.2 | 2.1 | 0.4 | 0.31 | 4.05 | 9.5 | 24 |

2011 год

| | | | | | | | | | | | |
|----------|------|-----|------|----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Поречье | 7.20 | 160 | 53 | 64 | 4.4 | 4.2 | 0.2 | 0.52 | 1.4 | 6.9 | 39.7 |
| Марьино | 7.40 | 65 | 19.9 | 52 | 4.2 | 3.8 | 0.12 | 0.22 | 15.6 | 18.1 | 41.2 |
| Селихово | 7.2 | 70 | 19.2 | 72 | 5.3 | 4.9 | 0.38 | 0.42 | 29 | 27 | 58.5 |
| Устье | 7.8 | 64 | 14.3 | 36 | 2.6 | 2.6 | 0.12 | 0.19 | 6.5 | 9.4 | 25.7 |

р. Созь, 2001 год

| | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------|-----|------|------|-----|------|------|------|-----|------|------|
| Исток, оз. Великое | 4.98 | 240 | 137 | 4.0 | 0.2 | 0.15 | 0.23 | 1.6 | 1.2 | 10.4 | - |
| 0.6 км выше Спаса | 7.05 | 200 | 29 | 4.0 | 0.5 | 0.51 | 0.43 | 0.31 | 0 | 13.3 | - |
| Спас | 7.01 | 160 | 10.8 | 6.0 | 0.5 | 0.35 | 0.32 | 0.11 | 0.6 | 9.6 | 5.12 |
| Окулово | 6.72 | 200 | 33 | 12.0 | 0.8 | 0.6 | 0.65 | 0.36 | 0.6 | 21 | 8.1 |
| 1 Мая | 7.35 | 110 | 40.1 | 10.0 | 0.7 | 0.5 | 0.32 | 0.28 | 1.9 | 8.6 | 8.8 |

р. Дойбица, 2011 год

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|----|-----|----|------|-----|------|------|-----|-----|----|
| Головково | 7.5 | 28 | 8.5 | 56 | 12.5 | 4.8 | 0.07 | 0.14 | 7.9 | 9.5 | 55 |
| Завидово | 7.6 | 27 | 6.8 | 60 | 11.9 | 4.4 | 0.21 | 0.22 | 58 | 38 | 82 |
| Кочедыково | 7.4 | 25 | 6.4 | 82 | 11.8 | 5.3 | 0.08 | 0.14 | 33 | 29 | 75 |

2013 год

| | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|------|----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Головково | 7.5 | 180 | 34.0 | 38 | 2.7 | 2.2 | 0.38 | 1.24 | 15.2 | 20.8 | 23.8 |
| Завидово | 7.7 | 230 | 30.0 | 46 | 3.1 | 2.8 | 0.36 | 1.48 | 24.2 | 13.1 | 30.9 |
| Кочедыково | 7.7 | 100 | 17.6 | 60 | 4.2 | 3.6 | 0.41 | 1.01 | 30.4 | 24.8 | 41.2 |

Река Сучок является типичной, хорошо изученной, нисходящих родников по ее берегам при маршрутном обследовании не обнаружено, притоки во время проведения съемок пересохли, поэтому рассмотрим особенности субаквальной разгрузки в дно рек на ее примере.

Река Сучок берет начало в болотном массиве Второе Моховое, в Конаковском районе (Мирзоев, 1995). Средняя высота водосбора составляет 135 м, уклон (на 1000 м) – 0.625 (Общегеографическая, 1991). Сучок имеет ярко выраженное половодье и относительно устойчивый период летне-осенней и зимней межени. Река пересекает железнодорожную линию сообщения Москва-Конаково, вдоль ее правого берега почти до устья на протяжении 4.5 км пролегает автотрасса. На площади водосбора Сучка выделяются следующие водоносные горизонты (Отчет, 1974):

1. *Современный болотный hIV*. Отложения этого горизонта отмечаются локальными участками в междуречье рек Сучок и Донховка, и более мелкими пятнами на остальной площади водосбора р. Сучок. Представлены торфом, иловатыми суглинками, песками, реже глиной. Болота низинные или переходные, с мощностью отложений 2 - 5 м. Коэффициент фильтрации торфа колеблется от 0.002 до 2.2 м/сут, уровень ГВ - от 0.5 до 2.0 м. Болотные воды обычно слабокислые, гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-магниевые, содержат повышенное количество железа (2 - 3 мг/дм³), иногда фосфора (0.07-0.1 мг/дм³).

2. *Современный аллювиальный aIV*. Отложения его приурочены к современным долинам малых притоков, представлены преимущественно песками, иногда глинистыми, содержащими гравийные зера, мелкую гальку, прослойки супеси, сугликов и переотложенных торфов. Иногда встречаются мелкие валуны. Коэффициент фильтрации пород 0.1- 1.0 м/сут, мощность отложений до 6 - 8 м. Глубина залегания УГВ 1 - 3 м. Воды гидрокарбонатные, кальциево-магниевые с общей минерализацией 200 - 400 мг/дм³.

3. *Верхнечетвертичный аллювиальный водоносный горизонт a III*. Отложения его распространены в устьевой части р. Сучок, прослеживаются узкой полосой.

Водовмещающие породы представлены с/з песками, слоистыми, хорошо отсортированными, однородными, полимиктовыми с коэффициентом фильтрации 1 - 16 м/сут. Мощность отложений до 10 - 16 м, глубина залегания УГВ 1 - 7 м, преобладает 2.0 - 2.5 м. По химическому составу воды гидрокарбонатные кальциево-магниевые с общей минерализацией 100 - 500 мг/дм³.

4. *Надмосковский флювиогляциальный водоносный горизонт fIms.* Распространен почти по всей площади водосборов изученных рек. Горизонт представлен главным образом песками, местами с галькой, гравием, щебнем и включениями глинистых прослоев, мощность его до 5.0 м. Местами породы дренированы, коэффициент фильтрации 0.1 - 1.0 м/сут. УГВ залегает не глубже 2.0 м. По химическому составу грунтовые воды обычно гидрокарбонатные кальциево-магниевые с общей минерализацией 200 - 500 мг/дм³.

5. *Горизонт спорадического распространения в московской морене среднечетвертичного возраста (g II ms)* распространен почти повсеместно и приурочен к изолированным линзам песков, супесей, местами галечников среди валунных суглинков без видимой закономерности по площади и по разрезу. Мощность линз от долей метра до нескольких метров. Воды песчаных линз иногда напорные. K_f водовмещающих пород колеблется от 0.1 до 2 - 3 м/сут, а моренных суглинков в приповерхностной части 0.01 - 0.1 м/сут. Глубина залегания УГВ 1 - 3 м. На площадях распространения лесов ГВ обычно имеют гидрокарбонатный кальциевый состав с общей минерализацией 400 - 700 мг/дм³.

6. *Московско-днепровский аллювиально-флювиогляциальный водоносный горизонт (a, f II dn-ms).* Приурочен к межморенным отложениям, распространен почти по всей территории на глубине 25 - 40 м. Водовмещающие породы представлены песками м/з и с/з, реже к/з.

Горизонт перекрывается московской мореной и подстилается днепровской. Мощность водоносного горизонта до 27 м, величина напоров изменяется по площади в пределах 3 - 25 м. Коэффициент фильтрации песков

составляет 5 - 8 м/сут. Воды пресные гидрокарбонатные кальциево-магниевого с общей минерализацией 200 - 900 мг/дм³.

8. *Клязьминский C₃kl водоносный горизонт верхнего карбона* имеет мощность от 20 до 60 м, приурочен к зоне развития интенсивной трещиноватости. Мощность юрского водоупора в кровле колеблется от 5 до 20 м, на участке от створа Новошино до Долинок включительно водоупор отсутствует, и моренные днепровские суглинки залегают непосредственно на известняках карбона. Величина водопроницаемости в бассейне Сучка составляет в среднем 1200 м²/сутки (Ковалевский, 2001). В таблице 3.19 представлены характеристики химического состава питающих реку вод.

Таблица 3.19

Характеристики химического состава (мг/дм³) р. Сучок, АО, вод верхнего карбона C₃kl и ГВ первого от поверхности водоносного горизонта

| Параметр | Р. Сучок* | Осадки | C ₃ kl | БнГВ |
|----------------|--------------|--------|-------------------|------|
| Минерализация | 145-473/348 | 34 | 450 | 690 |
| Общее железо | 0.1-1.45/1.0 | 0.1 | 1.0 | 0.12 |
| Кальций | 30-56/42 | 6 | 70 | 112 |
| Гидрокарбонаты | 110-226/159 | 18 | 336 | 421 |

Примечание:* в числителе минимальные и максимальные концентрации, в знаменателе – среднегодовые.

Из таблицы видно, что наиболее минерализованы ГВ, что связано с их высокой испаряемостью на пойме в летнее время при высокой температуре воздуха и отсутствии осадков.

При детальном исследовании подземного притока в реку Сучок проведено уточнение распределения его величин для отдельных участков водосбора.

В летнюю межень 2004 года по изложенной выше методике выполнены полевые работы по всей длине реки на створах близ истока (в полутора км от него), в д. Горбасьево, близ железнодорожного моста (д. Новошино), в СНТ «Долники» и режимном створе Вахромеево.

Соотношение абсолютных отметок установившегося уровня грунтовых вод в пробуренных скважинах и отметок максимальных глубин поперечника створа («урез») представлено на рисунке 3.13.

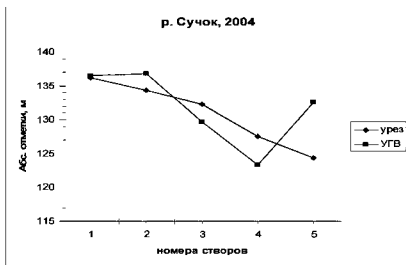


Рис. 3.16. Кривые абсолютных отметок максимальных глубин поперечников (урез) и уровней залегания грунтовых вод в скважинах (колодцах) прибрежной зоны на продольном профиле р. Сучок в летнюю межень 2004.

Створы: 1 – 1.5 км ниже истока; 2 – Горбасьево; 3 – ж/д мост; 4 – Долинки; 5 – Вахромеево

Скважины глубиной 90 м, вскрывшие клязьминский водоносный горизонт и пробуренные в 7 км на юг от д. Новошнно и в д. Горбасьево, имеют абсолютные отметки статического уровня 129.55 м и 129.4 м соответственно, что свидетельствует о возможности поступления вод известняков карбона в моренные отложения, а из них – в русло Сучка, то есть субаквальная разгрузка происходит, видимо, закрытым артезианским стоком (Попов, 1968).

В разрезе скважин четвертичные отложения представлены в основном глинами, днепровская морена содержит обломки известняка и прослой песков (Михайлова, 1968).

На продольном профиле Сучка гидравлическая связь между речными и подземными водами носит разнонаправленный характер. Расчеты оценки подземного питания между створами проводились по упрощенной формуле (Лучшева, 1989)

$$q = Q_n - Q_v/L$$

(3.9)

где q – приток (отток) подземных вод на 1 км русла реки между заданными створами ($\text{м}^3/\text{с км}$); Q_n – расход воды в нижнем, Q_v – в верхнем створе, ($\text{м}^3/\text{с}$), L – расстояние между створами, км.

Проведенные расчеты показали, что величины притока подземных вод в русло варьируют в пределах 0.003 - 0.014, оттока речных вод – 0.0014 - 0.009 $\text{м}^3/\text{с км}$.

В таблице 3.21 представлена динамика гидрохимических характеристик реки Сучок вдоль водотока и наличие притока подземных вод между створами.

Таблица 3.21

Динамика химического состава ($\text{мг}/\text{дм}^3$) реки Сучок от верховьев вдоль русла, и наличие (отсутствие) субаквальной разгрузки, $\text{м}^3/\text{с км}$, август 2004 года

| Створ | T, °C | Eh, мВ | HCO_3^- $\text{мг}/\text{дм}^3$ | $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ $\text{ммоль}/\text{дм}^3$ | Ca^{2+} $\text{мг}/\text{дм}^3$ | Приток+/ Отток (-) |
|------------|-------|--------|---|---|---|-----------------------|
| Исток | 16 | +135 | 104 | 2.1 | 30 | - |
| Горбасьево | 18 | +60 | 85 | 1.85 | 26 | +0.014 |
| Новошино | 16 | -46 | 128 | 2.4 | 32 | -0.009 |
| Долинка | 18 | 93 | 146 | 2.7 | 40 | +0.003 |
| Вахромеево | 20 | 170 | 171 | 3.3 | 44 | -0.0014 |
| Подпор | 21 | 176 | 162 | 3.1 | 42 | - |

Примечание: * субаквальная разгрузка (+), поглощение речных вод (-).

На участках от истока до Горбасьево и от Новошино до Долинок выявлена разгрузка подземных вод, в Вахромеево и Новошино происходит поглощение речных вод аллювиальными толщами. На рис. 3.14 показано, как меняется содержание маркера напорных вод - иона HCO_3^- , от истоков к устью: в заболоченных верховьях, где известняки карбона перекрыты юрскими глинами, фиксируются концентрации на уровне $100 \text{ мг}/\text{дм}^3$, однако в Долинках, где предположительно происходит субаквальная разгрузка клязьминского водоносного горизонта верхнего карбона в четвертичные отложения и далее в русло, концентрации резко возрастают до $280 \text{ мг}/\text{дм}^3$ (почти в 3 раза).

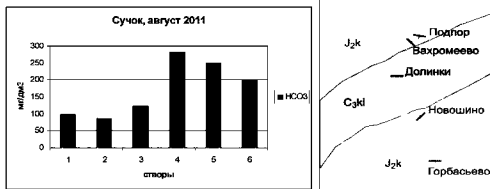


Рис. 3.16. Динамика иона HCO_3^- , от верховьев до устья. Распространение дочетвертичных отложений по (Геология, 2006)

Сучок, август 2011, створы: 1 – Полушкино, 2 – Горбасьево, 3 – Новошино, 4 – Долинки, 5 – Вахромеево, 6 – подпор

В реках, протекающих по заболоченной местности, косвенным признаком разгрузки является содержание растворенных ОВ, определяемых по степени цветности воды и ПО. В таблице 3.18 представлена диаграмма этих показателей вниз по течению реки Сучок, а также колебания рН и ЭПР в 2011 году, август месяц.

Очевидно, что в Долинках (створ, расположенный в центре литологического «окна») происходит резкое возрастание величин концентраций иона гидрокарбонатов, солей кальция и магния – косвенных показателей субаквальной разгрузки в русло глубоких напорных вод. Отрицательный редокс-потенциал и его небольшие величины на участках Новошино и Долинки (таблица 3.21) указывают на разгрузку глубоких восходящих вод в русло, поскольку грунтовые воды, тоже минерализованные (таблица 3.19), характеризуются величиной Eh в диапазоне 130-180 мВ.

Оценим величину разгрузки на разных участках реки Сучок по модулю подземного стока $M_{\text{подз}}$, используя формулу (Климентов, 1977)

$$M_{\text{подз}} = Q_1 - Q_2 / F_1 - F_2, \quad (3.10)$$

Где Q_1 и Q_2 – соответственно нижний и верхний створы, л/с; F_1 и F_2 – соответствующие водосборные площади, км².

Результаты расчетов модуля подземного стока, проведенных по данным

гидрометрических работ на реке Сучок в зимнюю и летнюю межень, представлены в таблице 3.22.

Таблица 3.22

Временная и пространственная изменчивость модуля подземного стока на разных участках реки Сучок

| Дата | Створы | $M_{\text{подз}}$, л/с км ² |
|---------|-----------------------|---|
| 07.2011 | Горбасьево - Новошино | 1.1 |
| | Новошино - Долинки | 6.0 |
| | Долинки - Вахромеево | 36.6 |
| 01.2012 | Новошино - Вахромеево | 1.93 |

В зимнюю межень величина модуля подземного стока уменьшается. В летнюю межень для каждого участка реки модуль меняется в зависимости от величины субаквальной разгрузки. Возрастание $M_{\text{подз}}$ от Долинок к Вахромеево (до 36.6 л/с км²) летом 2011 можно объяснить тем, что при снижении УГВ в результате испарения и увеличения искусственной разгрузки (забор воды из колодцев и скважин на полив, орошение и бытовые нужды) интенсивность восходящей фильтрации в русло соответственно становится больше.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что подземный приток в изученные реки на всем протяжении водотока дискретен, что обусловлено величиной напора подземных вод, эрозионной расчлененностью рельефа местности, степенью гидравлической взаимосвязи подземных и речных вод и многими другими факторами.

На изученном отрезке Волги основной формой подземного питания рек является субаквальная разгрузка в русло реки водоносных горизонтов карбона по зонам гидрогеологических окон. Родниковый сток в реки играет подчиненную роль.

Выявленные особенности питания малых рек региона имеют важное прикладное значение. При планировании водозаборных и водовыпускных мероприятий необходимо учитывать информацию, на каких именно участках реки происходит разгрузка артезианских вод – условно более защищенных от загрязняющих веществ по сравнению с грунтовыми водами. Следует особое внимание уделить защищенности областей питания вод верхнего карбона.

Глава 4. Антропогенное воздействие на качество воды родников

4.1. Динамика содержания загрязняющих веществ в воде родников за многолетний период

Исследованные родники расположены по берегам рек, в лесу, в пределах урбанизированных территорий, местах паломничества, зонах рекреации. Ключевые колодцы, как правило, приурочены к дачным участкам и сельским поселениям.

Населенные пункты связаны железными дорогами и автомагистралями; в городах работают жилищно-коммунальные службы и энергетические предприятия: Калининская АЭС близ Удомли, ТЭЦ - 3 в Твери, Конаковская ГРЭС – в г. Конаково (Доклад, 2001). Все перечисленные ландшафты и их элементы в той или иной степени оказывают влияние на качество воды родников.

Выбросы от сжигания топлива при функционировании крупных животноводческих комплексов поставляют в атмосферу диоксид серы, оксиды азота и углерода, углеводороды и др. В ряду транспортных источников загрязнения окружающей среды на первое место выдвинулся автомобильный: его газодымовые выбросы содержат оксиды азота, серы, свинец (Белоусова, 2006).

На территории сельских и дачных поселений, свиноводческих и молочно-товарных ферм для повышения плодородия почв используют навоз и минеральные удобрения, содержащие азот, фосфор, калий. В городах происходят утечки из канализационных сетей (хлориды, соединения азота и фосфора, ОВ, патогенные микроорганизмы). Зимой на дорогах применяется противогололедная смесь, содержащая хлориды, натрий, реагенты на основе нитратов кальция, магния, мочевины.

Все эти вещества попадают на водосборную площадь родников, откуда вместе с фильтрующимися на УГВ осадками могут достичь водоносного горизонта ГВ.

Согласно санитарным правилам (СанПиН 2.1.4.1175–02), вода родников, предназначенных для питья, должна иметь рН в пределах 6 - 9, цветность не более 30 градусов, общую жесткость до 10 ммоль/дм³, общую минерализацию

не более 1500 мг/дм³, предельно допустимые концентраций нитратов не более 45.0 мг/дм³, сульфатов – до 500 мг/дм³, хлоридов – до 350 мг/дм³ (Санитарная, 2003).

Благодаря имеющимся режимным стационарным наблюдениям можно оценить антропогенное воздействие на качество воды опорных родников за многолетний период. Проведенные в предыдущие годы исследования подземных вод в регионе позволили выделить наиболее характерные для него индикаторы загрязнения, имеющие антропогенное происхождение: это хлориды, нитраты и сульфаты (Ахметьева, 2008).

Перечисленные соединения достаточно полно отражают риски загрязнения от названных источников, характеризуются простотой химического определения, мобильностью и общепризнанной информативностью (Методика, 2000).

Рассмотрим, как менялись в течение года концентрации индикаторов в районах с сельскохозяйственной нагрузкой (с. Селихово), в местах рекреации (родник Раздолье), сочетания транспортной нагрузки и урбанизации (родник Никифоровский); сочетания транспортной и сельскохозяйственной нагрузки (с. Городня).

Изменение гидрохимической характеристики качества воды родников (по содержанию индикаторов) по сезонам в течение 2011 г. представлено в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Внутригодовая динамика ионов Cl, NO₃⁻ и SO₄²⁺ (в мг/дм³) в опорных родниках, 2011

| Сезон | Городня | | | Селихово | | | Раздолье | | | Никифоровский | | |
|-------|---------|-----------------|-----------------|----------|-----------------|-----------------|----------|-----------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|
| | Cl | NO ₃ | SO ₄ | Cl | NO ₃ | SO ₄ | Cl | NO ₃ | SO ₄ | Cl | NO ₃ | SO ₄ |
| Зима | 48 | 131 | 63 | 58 | 28.3 | 52 | 3.8 | 2.0 | 14 | 4 | 2 | 14 |
| весна | 48 | 93 | 56 | 57 | 27.3 | 57 | 80.0 | 10.2 | 51 | 3 | 1.8 | 16 |
| Лето | 32 | 73 | 60 | 60 | 34 | 50 | 73.0 | 6.3 | 19 | 5 | 4.3 | 15 |
| осень | 47 | 105 | 92 | 59 | 30 | 36 | 2.9 | 1.8 | 17 | 57 | 0.44 | 42 |
| ПДК | 350 | 45 | 500 | 350 | 45 | 500 | 350 | 45 | 500 | 350 | 45 | 500 |

Ранее водосборные территории родников в селах Городня и Селихово подвергались сильной антропогенной нагрузке преимущественно животноводческого типа (Содержание, 1988). С закрытием птицефабрики, молочно-товарной фермы, свинарников и крупного колхоза на территории сел с 2002 года влияние на окружающую среду прекратилось.

Используем методики оценки воздействия на геологическую среду, одним из компонентов которой являются подземные воды. Для расчетов примем формулу определения коэффициента интенсивности загрязнения вод каким-либо веществом K_i (Аммонийсодержащие, 1995; Королев, 1995)

Внутригодовой разброс концентраций индикаторов в этих родниках минимальный – по Cl и SO_4 не более 30%, по NO_3 - 50%. В то же время в воде родника пос. Никифоровский разброс составляет 70 - 95% и 80% соответственно. Следовательно, проводить ретроспективный анализ по среднегодовым данным можно по родникам типов III – V, для I – II типа вблизи локальных очагов загрязнения нужно сравнивать зимнюю либо летнюю межень.

Содержание индикаторов в родниках Раздолье и Никифоровский не вызывает опасений, поэтому далее рассматриваются только родники Селихово и Городня.

Используем методики оценки воздействия на геологическую среду, одним из компонентов которой являются подземные воды. Для расчетов примем формулу определения коэффициента интенсивности загрязнения вод каким-либо веществом K_i (Закутнн, 1995; Королев, 1995)

$$K_i = C_i / ПДК_i \quad (4.1)$$

где C_i – концентрация компонента i -того вида, $ПДК_i$ – ПДК компонента i -того вида.

На рисунках 4.1 и 4.2 представлена динамика искомого коэффициента, рассчитанная для хлоридов и сульфатов в воде родников сел Городня и Селихово.



Рисунок 4.1. Многолетняя динамика Кі по хлоридам и сульфатам, родник Городня, 1997-2012 годы



Рисунок 4.2. Многолетняя динамика Кі по хлоридам и сульфатам с линией тренда, родник Селихово, 1996-2012 годы

Из рисунков видна тенденция снижения коэффициента нагрузки по обоим компонентам. Пик содержания иона SO₄ на рисунке 4.1 в 2003 году, видимо, связан с засухой 2002 года, когда за счет интенсивного испарения резко увеличилась минерализация порового раствора. Уже к 2006 году кривая выполаживается, и в 2012 году Кі по сульфатам составляет 0.13 против 0.18 в 1998. Поскольку с. Городня имеет протяженность 4 км и располагается по обеим сторонам от трассы М-10, процессы самоочищения по сравнению с родником в Селихово здесь проходят менее интенсивно из-за поступления в ГВ с водами оттепелей и весенним стоком компонентов противогололедных реагентов и выхлопов автотранспорта (Na, Cl, N и др.)

При статистическом анализе* многолетних данных содержаний в воде родника сульфатов и хлоридов выявлены монотонно убывающие тренды. Снижение интенсивности загрязнения родниковых вод сульфатами лучше всего

*Расчеты проведены В.А. Бакшевской (статистическая программа «Grafer»).

аппроксимируется линейной зависимостью и может быть представлено следующим уравнением регрессии для линейного тренда:

$$y = -0.0148x + 0.3436, \text{ (достоверность аппроксимации } RI = 0.31)$$

Динамика интенсивности поступления хлор-иона аппроксимируется уравнением регрессии

$$y = -0.0041x + 0.1992, \text{ значение достоверности аппроксимации } RI = 0.15$$

Поскольку коэффициент RI не лежит в диапазоне 0.9–1.0, установленные зависимости нельзя использовать для предсказания результата, однако тренды свидетельствуют о снижении содержания ZB в водах родника после ликвидации птицефабрики - основного очага загрязнения.

В роднике села Селихово анализ изменений концентраций сульфатов и хлоридов за многолетний период также выявил монотонно убывающие тренды. Снижение интенсивности загрязнения родниковых вод сульфатами лучше всего аппроксимируется линейной зависимостью и может быть представлено следующим уравнением регрессии для линейного тренда:

$$y = -0.015x + 0.2143, \text{ значение достоверности аппроксимации } RI = 0.9304$$

Таким образом, на рис. 4.2 (родник Селихово) коэффициенты корреляции выше (0.93 и 0.51) по сравнению с рис. 4.1 (родник Городня), где коэффициенты корреляции составляют 0.3 и 0.15, т. е. для Городни аппроксимирующие кривые хуже описывают данные.

На рисунках 4.3 - 4.4 представлено изменение K_i по нитратному азоту в тех же объектах. Мы снова наблюдаем пик коэффициента в 2003 году, а в 2008 году, когда выпало осадков значительно выше нормы, мы видим результаты разбавления – по обоим родникам коэффициент снизился.

В целом родник в Городне продолжает испытывать антропогенную нагрузку по N в силу ее комплексности (оксиды азота содержатся в автомобильных выхлопах, трасса перегружена многотоннажным транспортом).

В опорном роднике Селихово абсолютные величины коэффициента в 3 раза ниже по сравнению с Городней, однако налицо тенденция роста коэффициента K_i по нитратному азоту. Поскольку зона аэрации водосборной

**Динамика K_{NO_3} , родник в
с. Городня, 1997-2012**

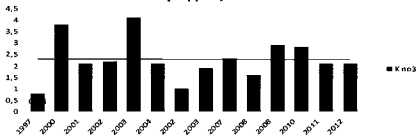


Рисунок 4.3. Многолетняя динамика K_i по азоту нитратов с линией тренда, родник Городня, 1997-2012 годы

**Динамика K_{NO_3} , родник в
с. Селихово, 1996-2012**

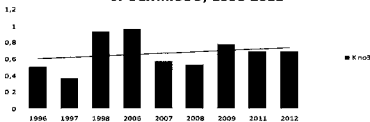


Рисунок 4.4. Многолетняя динамика K_i по азоту нитратов с линией тренда, родник Селихово, 1996-2012 годы

площади родника в Селихово представлена суглинками, сорбиравшими компоненты азотных удобрений в предыдущие годы их интенсивного использования, в роднике при благоприятных условиях вполне возможно вторичное загрязнение азотом.

Теперь рассмотрим изменение K_i за многолетний период в родниках II группы (опорный родник Бор). На рисунке 4.5 представлена динамика K_i за

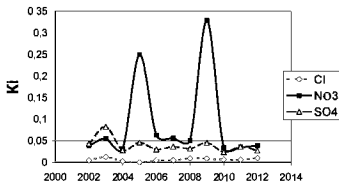


Рисунок 4.5. Динамика K_i по хлоридам, сульфатам и азоту нитратов, родник в бору близ г. Конаково, 2002-2012

одиннадцать лет по триаде техногенных индикаторов загрязнения. По изменению концентраций сульфатов и хлоридов очевидно, что за многолетний временной период в целом наблюдается снижение антропогенной нагрузки по этим компонентам.

Родник в бору считается фоновым. Однако из-за того, что его питание обеспечивают БГВ первого от поверхности водоносного горизонта, наиболее уязвимого к поступлению ЗВ с дневной поверхности, мы видим два пика коэффициента интенсивности загрязнения по азоту нитратов: 2005 и 2009 годы. Экстремумы, скорее всего, могут быть связаны с какими-то импульсными разовыми поступлениями азотных соединений. Благодаря промывному режиму качество воды родника достаточно быстро восстанавливается до приемлемого.

Родник в селе Селихово наблюдался с 1994 года по 2000, затем по ряду причин наблюдения прервались и возобновились в 2006 году – когда повсеместно началось снижение сельскохозяйственной антропогенной нагрузки, то есть временные периоды наблюдений сопоставимы по длительности. Благодаря проведенным наблюдениям за изменением химического состава родника можно оценить его отклик на изменение воздействия окружающей среды.

С начала 80-х годов прошлого века в Конаковском районе процветало крупное сельскохозяйственное предприятие – совхоз Конаковский, на территории которого располагались тепличные хозяйства, несколько молочно-товарных ферм, пашни и кормовые угодья. В совхозе для повышения урожайности применяли значительное количество минеральных и органических удобрений: до 20 т/га органических и до 200 кг д.в. NPK/га минеральных удобрений (Штригер, 2003). Территориально к совхозу относились Селихово, Сорюкпеново и Филимоново – пункты, где нами выявлены родники и родниковые колодцы (Приложение 1).

Водосборная площадь родника приурочена к зоне тектонической трещиноватости, поэтому сюда поступают воды водоносных горизонтов карбона. Содержание стронция в роднике составляет 170 - 200 мкг/дм³, общая

жесткость колеблется в пределах 8 - 12 ммоль/дм³, температура воды практически постоянная (7 - 9 °С).

Наблюдения проводились по возможности раз в месяц, раз в сезон – обязательно.

На рис. 4.6 показана многолетняя динамика общей минерализации родника Селихово. Максимальная величина общей минерализации в первом временном блоке наблюдений составила 870 мг/дм³ при минимальном значении 670, во втором – 810 и 650 мг/дм³ соответственно.

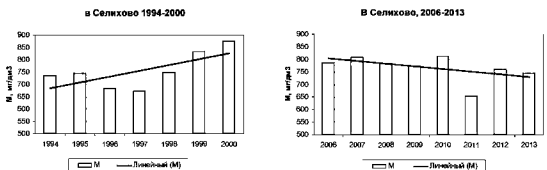
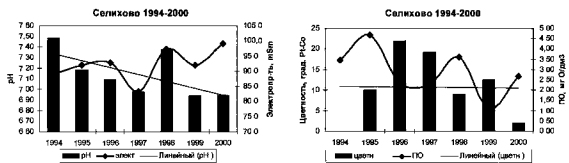


Рис. 4.6. Динамика величин общей минерализации с линией тренда в роднике Селихово, периоды 1994-2000 и 2006 – 2013 гг.

Очевидно, что до 2000 года интегральный показатель минерализованности родника возрастал, а с 2006 года происходит его уменьшение.

На рис. 4.7 и 4.7а представлена серия графиков многолетней динамики основных компонентов химического состава и биогенных веществ родника Селихово за два указанных периода.



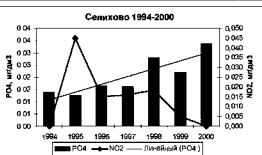
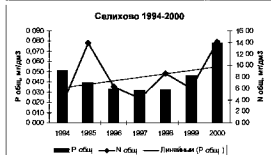
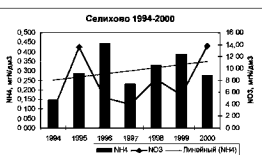
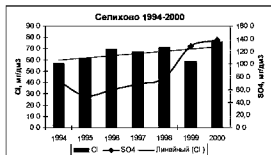
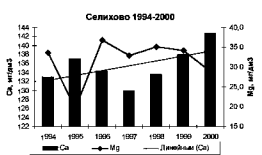
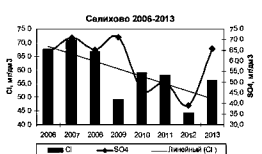
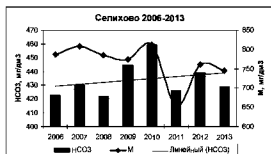
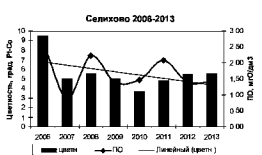
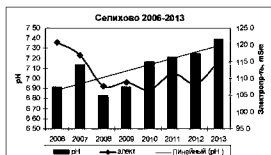


Рис. 4.7. Родник Селихово, первый блок наблюдений, 1994 – 2000 гг.



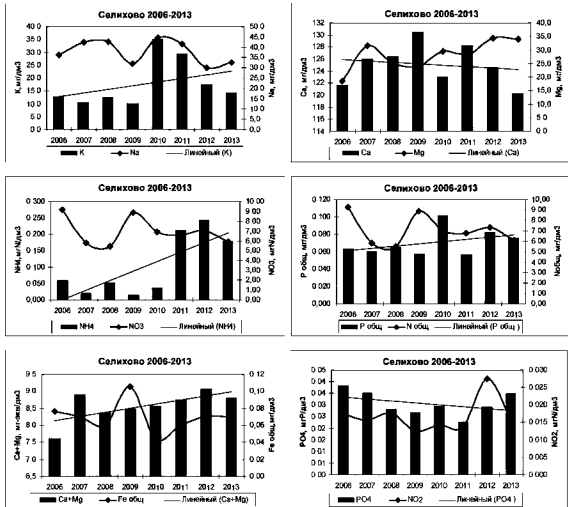


Рис. 4.7а. Серия графиков многолетней динамики основных компонентов химического состава и биогенных веществ родника Селихово, второй блок наблюдений, 2006-2013 годы

Содержание ОВ в максимуме (косвенно, по величине цветности) составило в первом блоке наблюдений 22 градуса, во втором – 9.5 градусов. Коицентрации нитратного азота в максимуме в первом блоке – 15 мгN/дм³, во втором – 8 мгN/дм³; сульфатов в первом блоке – 140 (минимум 100) и 72 мг/дм³ (минимум 40) во втором; хлоридов 140 (50) и 70 (42) мг/дм³ – во втором блоке соответственно.

Отметим, что рН с 1994 до 2000 года снизился с 7.35 до 6.9, но за последующие годы постепенно увеличился до 7.3, то есть рН не выходит из диапазона нейтрального (6.5 – 7.5); рН воды клязьминского водоносного горизонта при самоизливе, по собственным данным, составляет 6.5 – 7.7,

Максимальное содержание среднегодовых концентраций сульфатов снизилось в два раза, минимальное – в 2.5 раза, максимальное содержание хлоридов – в два раза.

Анализ представленных данных показывает, что благодаря питанию родника глубокими восходящими водами гидрокарбонатная кальциево - магниевая система устойчива к внешнему воздействию, и при снижении последнего достаточно быстро восстанавливается.

Значительное снижение концентраций сульфатов и хлоридов может быть связано с климатическими изменениями в XXI веке. Согласно последним опубликованным данным, в настоящее время по сравнению с серединой прошлого века на 15 – 30 % возросла доля меженного стока в годовом объеме стока притоков Верхней Волги (Формирование, 2012).

В связи с потеплением увеличилось инфильтрационное питание ГВ, что могло способствовать разбавлению восходящих вод карбона и улучшению питьевых качеств родника

Родник в д. Юрятно можно привести как пример родника, имеющего гидравлическую связь с водами водохранилища. Родник расположен на левом берегу р. Волги, почти у самого уреза. Его дебит составляет 0.1 – 0.4 л/с.

Корреляционный анализ имеющихся данных между химическим составом родника и величинами сброски водохранилища (НПУ), проведенный с помощью стандартного пакета Excel, выявил относительно тесные отрицательные связи между гидрокарбонатами и НПУ ($R=0.59$): то есть с увеличением НПУ (поступлением вод водохранилища в берега залива) концентрации иона HCO_3^- уменьшаются.

Гидравлическая связь между родником и водохранилищем также подтверждается значительными амплитудами величин общей жесткости (3.15 ммоль/дм³ в половодье и до 7.1 ммоль/дм³ в зимнюю межень).

В большинстве остальных родников корреляционная связь между НПУ и компонентами химического состава не обнаружена.

Благодаря инфильтрации водохранилищных вод в берега происходит

смешение грунтовых, водоохранлициных и глуконкх напорных вод клязьминского водоносного горизонта, что способствует повышению качества воды родника в Юрятино.

Родник в с. Дмитрова Гора расположен в поселке, который в прошлом веке являлся административным центром колхоза «Дмитрогорский». Объект наблюдался регулярно с 1997 года по 2009, затем наблюдения стали эпизодическими.

В 2001 году вместо колхоза в селе создано крупное производственное объединение «Дмитрогорское», которое располагает свиноводческим комплексом, фермой крупного рогатого скота, кормовыми и пахотными угодьями. Родник относится к IV группе. Основным источником питания являются восходящие воды клязьминского водоносного горизонта верхнего карбона (юрские отложения здесь размыты, в кровле известняков карбона залегают суглинки днепровской морены).

Диапазоны показателей химического состава родника за годы наблюдений представлены в разделе 2.2; содержание марганца в воде родника составляет в среднем 0.25 мг/дм^3 , БПК₅ – $0.6 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$, растворенного кислорода – $1.7 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. Качество воды за период 1997 - 2009 годов в целом соответствовало требованиям к нецентрализованным источникам водоснабжения. Однако эпизодические наблюдения последних лет показали, что в период половодья в воде родника увеличиваются концентрации биогенных веществ: нитратного азота – до 29 мгN/дм^3 (ПДК 9.1), фосфатов – до 1.29 мгP/дм^3 (ПДК 1.05) и аммонийного азота – до 1.6 мгN/дм^3 (ПДК 2.0).

Такие концентрации свидетельствуют о том, что при возрастании антропогенной нагрузки (увеличение поголовья свиней и коров, соответствующее возрастание водоотбора из скважин комбината) родник может перейти из категории «защищенный» в разряд незащищенных водных объектов, то есть исследованные родники обязательно подлежат охране.

Вопросы охраны родников от загрязнения прописаны в Водном Кодексе, статья 59 гласит «физические лица, юридические лица, деятельность которых

оказывает негативное воздействие на состояние подземных водных объектов, обязаны принимать меры по предотвращению загрязнения, засорения и истощения вод» (Водный, 2006).

Под защищенностью от загрязнения понимается «совокупность геолого-гидрогеологических условий, препятствующая проникновению ЗВ или предотвращающая их проникновение с поверхности земли в водоносный горизонт» (Гольдберг, 1984). В настоящее время защищенных подземных вод в природе практически нет (Белоусова, 2001).

Последнее время в гидрогеологии оперируют термином «уязвимость», который по своей сути противоположен понятию защищенности (Зекцер, 2001). Проведенная своевременно оценка уязвимости родников к загрязнению способствует принятию необходимых мер для снижения негативного изменения их качества. Уязвимость может быть общей (когда учитываются антропогенное влияние на окружающую среду и геологическое строение местности) и специальной, когда изучается уязвимость подземных вод к какому-то определенному загрязнителю.

Разработанная сводная классификация, основанная на изучении условий формирования и динамики химического состава родниковых вод, позволяет дать качественную характеристику общей уязвимости родниковых вод и подразделить их по степени уязвимости.

Исследованиями установлено, что родниковые воды долины Волги на отрезке Тверь - Дубна формируются за счет напорных, субнапорных и безнапорных водоносных горизонтов (в разных пропорциях), в меньшей степени – за счет АО. Однако факторы, определяющие уязвимость подземных вод к загрязнению, для безнапорных и напорных вод различны.

Для напорных подземных вод основными факторами являются соотношение уровней (напоров) водоносных горизонтов и вышележащего безнапорного водоносного горизонта, определяющее возможность поступления сверху загрязненных вод; мощность и литологический состав верхнего водоупорного слоя, определяющие возможную величину перетекания сверху

загрязненных вод. Для безнапорных и слабонапорных водоносных горизонтов основные факторы – мощность, литологический состав и сорбционная способность пород вадозной зоны (Зекцер, 2001).

На основании проведенных исследований родники описываемой территории по степени уязвимости можно подразделить следующим образом:

слабо уязвимые – группы III, IV, V;

уязвимые – группы I, II.

Исследования по оценке уязвимости ГВ к нитратному азоту, проведенные авторами ранее, показали, что на описываемой территории наибольшее влияние на проникновение ЗВ на УГВ оказывают сорбционная способность и литологический состав почв и пород зоны аэрации (Ахметьева, 2002). Наиболее уязвимы к загрязнению воды первого от поверхности горизонта ГВ, то есть "родники I - II групп.

Например, в родниковом колодце I группы д. Ново-Семеновское выявлен гидрокарбонатно-нитратный кальциевый состав воды, что в совокупности с низким содержанием солей кальция и магния снижает потребительские качества воды.

Если зона аэрации сложена суглинками или песками, подстилаемыми глинами, ГВ менее уязвимы за счет снижения скорости продвижения ЗВ и процессов сорбции (Боचेвер, 1979). Однако в очагах локального постоянного загрязнения суглинки могут служить источниками вторичного загрязнения родников (с Селихово, пос. 1 Мая). В случае аллювиальных песков может произойти быстрое промывание горизонта, и за счет разбавления наступит улучшение качества воды родника (микрорайон Зеленый Бор).

Области питания восходящих вод карбона находятся в водораздельной части Тверского региона, где антропогенная нагрузка минимальна. Если основным источником питания родника (IV-V групп) служат восходящие воды верхнего карбона, то качество воды остается хорошим до тех пор, пока пьезометрический уровень напорного водоносного горизонта остается выше уровня БНГВ. В случае интенсивного водоотбора напорных вод образуется

депресссионная воронка, напор снижается, и тогда загрязненные БНГВ могут питать напорный горизонт (д. Ст. Погост).

Таким образом, слабо уязвимые родники при соответствующих условиях становятся уязвимыми, именно поэтому при исследовании родников вопросы их охраны являются приоритетными.

В целях охраны родника от попадания загрязнений разработаны специальные требования к его оборудованию, которые особенно тщательно нужно соблюдать, если выход расположен в сельской местности или на урбанизированной территории, и если родник используют в питьевых целях. У каптажных камер должны иметься горловина с люком и крышкой, водозаборные и переливные трубы, труба опорожнения диаметром не менее 10 см; округ каптажной камеры следует обустроить павильон либо будку. Для защиты камеры от затопления при половодьях положено делать отмостки из кирпича, бетона или асфальта в сторону водоотводной канавы (СанПиН 2.1.4.1175–02; Санитарная, 2003).

Эти требования касаются непосредственно места выхода родника; также следует соблюдать требования к охране водосборной территории родника (Минкин, 1972). Выгребные ямы положено располагать на расстоянии не ближе 50 м ниже по потоку ГВ от родника; в радиусе 20 м от него не мыть автотранспорт, не поить животных, не стирать белье. Каптаж рекомендуется чистить не менее раза в год (Требования, 1996; Санитарная, 2003). Для родников губительны несанкционированные строительные работы, нелегализованные водозаборные сооружения, свалки на территории дачных участков, способствующие снижению качества воды либо исчезновению родника.

Например, общественный родниковый колодец в д. Кочедыково наблюдается с 1999 года. Колодцу около 85 лет, его глубина составляет 16.5 м, он расположен на правом берегу Дойбицы, в 120 м от уреза, на II надпойменной террасе, питающий горизонт – f II dn-ms. Температура воды в начале наблюдений колебалась в пределах 7.0 – 7.5°C, столб воды в колодце

имел высоту 2.5 м и при разборе восстанавливался за 1.5 – 2 часа, общая жесткость составляла 5.6 ммоль/дм³. В последние годы увеличилось количество жителей, многие выкопали собственные колодцы либо пробурили скважины. Объем водоотбора повысился, из-за чего контур питания скважин увеличился, и высота столба воды в родниковом колодце уменьшилась до 1.5 м. Соответственно изменился и химический состав: общая жесткость в 2013 году возросла до 6.9 ммоль/дм³.

В родниках, приуроченных к зонам тектонической трещиноватости и расположенных ближе к водораздельной части района работ, иногда встречаются высокие показатели общей жесткости: до 20 ммоль/ дм³ (родники в д. Максимцево, Рязаново). Воду таких родников нельзя использовать в питьевых целях (величина жесткости согласно требованиям к источникам нецентрализованного водоснабжения лимитирована содержанием суммы солей кальция и магния 10.0 ммоль/ дм³).

Родники III – V групп, отнесенные к разряду слабо уязвимых, как правило, содержат мало нитратов и фосфатов, характеризуются нейтральным рН, содержат сбалансированные количества микроэлементов, насыщены солями кальция и магния; именно они рекомендуются к использованию в питьевых целях.

Таким образом, анализ имеющейся базы данных показал, что в родниковых водах прибрежной зоны Ивановского водохранилища в многолетнем разрезе наблюдаются тенденции снижения содержания прежних основных ЗВ региона – хлоридов и сульфатов. Содержание соединений азота в бывших локальных очагах загрязнения, возможно, из-за прогрессивного роста личного автотранспорта, снижается значительно медленнее. Качество воды фоновых родников остается стабильным, однако даже труднодоступность источника не всегда оберегает его от массовых посещений.

Все большую популярность приобретает паломничество к так называемым «святым» родникам. Верующие окунаются в купель, приезжают к родникам на автомобилях и автобусах, оставляют на водосборной площади

источника остатки пищи и своей жизнедеятельности, что способствует ухудшению качества родниковых вод. Остановимся на наиболее посещаемых святых родниках описываемой местности.

«Святые» родники

Родник близ д. Игуменка, освящен в честь Казанской Божьей матери. Расположен на контакте аллювиальных песков с подстилающими суглинками. Родник каптироваи, над ним построена живописная деревянная часовенка. Дебит родника порядка 0.03 л/с, температура воды составляет 6-10 °С. Для родника характерны отрицательные или близкие к нулю значения Eh: от (45) до (-083) мВ, что свидетельствует о разгрузке глубоких напорных вод карбона.

Родник в д. Койдиново носит имя Святителя Николая Чудотворца, выход находится на левом берегу Ламы, у староречья в 9 м от левого берега. У этого родника выявлен самый большой дебит: порядка 9 - 10 л/с, вода по составу гидрокарбонатная кальциевая, соответствует требованиям к питьевым водам.

Родник у школы № 6 г. Конаково освящен в честь Георгия Победоносца, состав воды гидрокарбонатно - сульфатный кальциево - магниевый, в питьевых целях не используется.

Родник в селе Селихово освящен в честь пророка Илии, состав воды гидрокарбонатный кальциево - магниевый. Качество воды ухудшается во время половодья, когда родник затопливается; в остальное время года вода пригодна для питья.

Родник в д. Тешвлово освящен в честь Святителя Николая Чудотворца, расположен на правом берегу Шошинского плеса, за прудом, неподалеку от храма Вознесения господня. К роднику проложены деревянные мостки, он оборудован удобным подходом и бетонным кольцом. Верующими и братией храма строго соблюдаются правила по охране родника от загрязнения (не разрешается подходить к роднику с собаками, запрещается курить и бросать мусор). Вода хлоридного типа.

Родник Бор освящен в честь пророка Илии, вода родника маломинерализованная, весной с тальми водами на УГВ попадают патогенные

микроорганизмы, органические и биогенные вещества, воду нужно обязательно кипятить.

Родник в с. Городня освящен в честь Рождества Богородицы. Он широко используется местными жителями для питья, вода гидрокарбонатного кальциево-магниевого состава, в половодье иногда наблюдаются повышенные концентрации нитратного азота и фосфатов, в остальное время года вода в целом соответствует требованиям к источникам децентрализованного водоснабжения.

Савватьевские источники, названные в честь св. Савватия, вытекают из расщелин в правом борту надпойменной террасы реки Орша, близ д. Савватьево Калининского района. Родниковый выход имеет вид многочисленных мелких струй, которые вытекают на протяжении нескольких метров, с дебитами 0.014 – 0.050 л/с. Выход источников приурочен к контакту аллювиальных песков с сугликами, в каньонообразной долине, на глубине 1.0 - 1.5 м от дневной поверхности. Положительные значения E_h воды свидетельствуют о грунтовом питании родников, следовательно, они могут быть загрязнены с поверхности.

В связи с тем, что источники располагаются рядом с автомобильной дорогой, где интенсивность движения постоянно возрастает, качество воды постепенно ухудшается.

Данные (Киселев, 1966) показывают, что в 1964 году в Савватьевских родниках не обнаружены ионы NH_4^+ , Cl^- ; $Fe_{общ}$, PO_4^{3-} равнялась 0.96 мгО/дм³, общая жесткость – 2.26 ммоль/дм³, концентрация SO_4^{2-} – 18 мг/дм³.

В настоящее время уже отмечается несколько повышенное содержание иона SO_4^{2-} – до 56 мг/дм³, PO_4^{3-} до 8-9 мгО/дм³, иона NH_4^+ до 0.8 мг/дм³.

Антропогенная деятельность влияет не только на химический состав воды родника, но и на возможность его существования. Химический состав родника Раздолье за время наблюдений претерпел существенные изменения. В октябре 1998 года произведено первое опробование родника, которое показало величину общей жесткости 13.3 ммоль/дм³, рН – 6.69, концентрации иона

HCO_3^- – 11.6 ммоль/дм³, Cl^- – 43.0 мг/дм³, из чего следует, что основным источником его питания служили восходящие глубокие воды.

С 1999 года, когда родник включили в систему регулярных наблюдений, общая жесткость составила 5.5 ммоль/дм³, дебит родника стал уменьшаться (на конец июля 2006 года равнялся 0.0055 л/с против 0.011 л/с на июль 2002 года).

В последующие годы наблюдений расходы увеличились, но залегали в диапазоне 0.015 – 0.04 л/с. Изменение химического состава родника показало значительно возросшую долю БГВ и АО питания родника, на что указывает также выявленное уменьшение расходов.

Можно предположить, что из-за интенсивной застройки берегов Ивановского водохранилища, водоотбора из собственных скважин в коттеджах и реконструкции турбазы «Раздолье» напоры разгружающихся водоносных горизонтов снизились, и родник Раздолье почти иссяк.

Следует вспомнить о тех родниках, которые иссякли совсем и остались только в памяти местных жителей или в письменных свидетельствах.

Утраченные родники

В 1937 году на Волге построено Ивановское водохранилище, которое изменило гидрологический режим реки и гидрогеологические условия окрестных территорий. После наполнения водохранилища его уровень (НПУ) составил 124 м, а сезонные колебания – 3.0 - 4.5 м. Подпор распространился до д. Горохово, 10 км ниже г. Твери.

Огромные прибрежные территории были затоплены и подтоплены, многие родники перестали существовать. Ниже д. Глинники до самой плотины не обнаружено ни одного родника. А по воспоминаниям жителей затопленного г. Корчева и деревень, расположенных ниже по течению р. Волги, прибрежные родники функционировали во многих местах. Выше д. Глинники до г. Твери родники встречаются, но их режим сильно изменен в связи со значительной антропогенной нагрузкой.

Большие изменения в дислокации родников и их дебитов произошли на участке д. Горохово - пос. Эммаус - с. Городня. В 1963 году гидрогеолог Дворцов П. А., проводивший гидрогеологическую съемку, описал пластовые выходы воды протяженностью около 100 м в уступе второй надпойменной террасы, обрывающейся к реке Волга. В связи со строительством в 1970-ые и 80-ые годы пятиэтажных домов на террасе, вырытые котлованы нарушили движение грунтового потока по направлению к реке, и прибрежные родники иссякли.

По словам местных жителей, исчез родник и на северной окраине пос. Эммаус.

Родник в с. Свердлово в 1980-ые годы выходил на поверхность в тальвеге оврага, в 5 - 6 метрах от уреза водохранилища. Он детально обследован одним из авторов книги. Дебит родника равнялся 0.1 л/с, чувствовался запах сероводорода, близ выхода наблюдался светло-серый налет серы (?), вода была очень холодная (2 - 3°C).

Проведенный анализ на содержание в нем гелия показал, что эта вода не грунтовая, она сформировалась в глубоких слоях литосферы. В воде отсутствовал и тритий, свидетельствующий о связи родника с атмосферными осадками. Химический анализ воды от 25 августа 1986 года показал почти полное отсутствие биогенных компонентов – соединений азота, фосфора и калия, несмотря на то, что вокруг родника располагались удобряемые поля. В настоящее время этот уникальный родник запахан, а мог бы быть лечебным, представляющим достопримечательность данного места.

Родник в г. Твери. В центре г. Твери в XVIII веке была построена церковь «Живоносного источника», где хранится икона Богородицы «Всех скорбящих радость». На этом месте бил родник с чистой прозрачной водой, обладающей, по мнению верующих, целебными свойствами. Однако в связи с интенсивным использованием подземных вод для нужд города статический уровень водоносного горизонта в известняках верхнего карбона значительно снизился, и в середине XX века источник иссяк.

До 1937 года (время создания Иваньковского водохранилища) на площади Мира, у моста в виде струящихся родников происходила разгрузка касимовского водоносного горизонта. После строительства водохранилища родники исчезли.

4.2. Применение люминесцентного метода биотестирования для определения интегральной токсичности родниковых вод

Определение интегральной токсичности дает оперативное представление о безопасности или опасности используемой воды и в последние годы является составной частью комплекса системы контроля при стандартном анализе воды (Методика, 2011). Одним из перспективных методов ее определения признан люминесцентный метод биотестирования с использованием светящихся бактерий. Их действие основано на способности менять интенсивность свечения в зависимости от токсичности среды. Преимущества люминесцентного метода по сравнению с другими биотестами заключаются в его высокой чувствительности, хорошей воспроизводимости и оперативности (результат известен через 15 минут).

В качестве тест-объекта использовалась природная морская люминесцирующая бактерия *Photobacterium phosphoreum* (Ковальшева, 1996). Люминесценция бактерий измерена на портативном пробирочном люминометре «Emilite – 1003A».

Первоначально светящиеся бактерии предполагалось использовать как тест-объект для исследования сточных вод и медицинских препаратов. В процессе исследований *Photobacterium phosphoreum* успешно применили для определения токсичности природных вод, в частности, поверхностных вод реки Детройт с целью точного определения источников и степени водного загрязнения, а в 1980 году метод был стандартизирован в Германии (Кратасюк, 1987).

Оценка уровня токсичности воды интерпретировалась по шкале токсичности, представленной в таблице 4.2 (Ковальшева, 1994).

Шкала токсичности (по Bulish, 1982; Ковальшевой, 1994)

| Относительные единицы токсичности (θ) | Величина эффекта | Уровень токсичности |
|--|---------------------------------|-------------------------|
| $\theta = 0$ | Нет тушения свечения | Образец не токсичен |
| $0 < \theta < 0.3$ | Тушение свечения до 25% | Образец слабо токсичен |
| $0.3 < \theta < 3.0$ | Тушение свечения от 25% до 75 % | Образец токсичен |
| $\theta > 3.0$ | Тушение свечения более 75% | Образец сильно токсичен |
| $\theta = 1.0$ | Тушение свечения 50 % | LC ₅₀ * |

Примечание: * По аналогии с другими биотестами концентрацию, в которой наблюдается 50 % потери светового излучения, обозначают LC₅₀ (Jeng, 1981).

Методика исследований заключалась в следующем. Использовались две суспензии: исходная и рабочая. Исходную получали путем суспендирования стандартной порции лиофилизированных бактерий (флакон емкостью 5-10 мл) в 1 мл 2% - ного раствора NaCl, предварительно охлажденного до +5 °С, затем доводили объем до 10 мл 3%-ным раствором NaCl и ставили на час в холодильник при температуре +5 °С. Рабочую суспензию готовили из 0.5 мл исходной путем доведения объема до 10 мл 3%-ным раствором NaCl и считали, что она активна в течение рабочего дня. Во всех испытываемых образцах рН доводили до 7.0. Анализ проводили при температуре воздуха в помещении не выше 25 °С.

Из емкости с приготовленной рабочей суспензией отбирали 0.5 мл, вносили в пробирку для измерения, добавляли 0.5 мл 3%-ного раствора NaCl, встряхивали и замеряли интенсивность свечения; при измерении токсичности вместо NaCl добавляли 0.5 мл подготовленного образца с фиксацией момента добавления по секундомеру.

Расчет относительных единиц (отн. ед.) токсичности проводился с использованием γ -функции, которая широко применяется для практических целей в качестве параметра биотестирования. Она определяется как отношение световой потери к световому остатку (Bulish, 1981). Оценка уровня токсичности

образца рассчитывалась по эффекту люминесценции светящихся бактерий, выраженного через относительные единицы токсичности (θ). Расчет θ проведен с учетом 15-минутного экспонирования проб по формуле

$$\theta = [\text{abs}(J_0 - J_{15})/J_{15}] \quad (4.2)$$

где J_0 - интенсивность люминесценции стандарта, J_{15} - образца (Ковалышева, 1994).

Проведено биотестирование различных видов природных вод: артезианских с глубины 70 - 75 м (водоносный горизонт C_3kl); грунтовых с глубины 2 - 6 м из аллювиального и межморенного водоносных горизонтов; родниковых; поверхностных (воды Иваньковского водохранилища и его притока реки Сучок). Одновременно с измерением интенсивности свечения в образцах определяли стандартный ряд гидрохимических характеристик (рН, ЭПР, ПО, цветность, БПК₅, содержание O_2 , фосфора общего, валового и минерального, ионы SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^-).

В таблице 4.3 представлены результаты определения токсичности различных образцов природных вод в относительных единицах.

Таблица 4.3

Токсичность разных видов природных вод

| Тип природных вод | Адрес | Геологический индекс | Θ , отн. ед. |
|---------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Артезианская | д. Плоски | $C_3 kl$ | 0.3 |
| Грунтовая, УГВ 2.0 м | Режимная скважина 19 | f II ms | 0.22 |
| Родниковый колодец | Д. Долинки | a IV | 0.08 |
| Родниковая | д. Вахонино | f II dn-ms | 0.35 |
| Поверхностная, река Сучок | Створ Вахромеево | - | 0.06 |
| | верховье | - | 0.01 |

Из таблицы видно, что разгружающиеся родниковым стоком воды межморенного водоносного горизонта имеют уровень токсичности 0.35 относительных единиц, что соответствует категории «токсичный образец». Вода самоизливающейся скважины имеет уровень токсичности 0.3. На рис. 4.8 показано соотношение уровня токсичности водохранилища и артезианской скважины на его берегу: если в водохранилище ход кривой токсичности

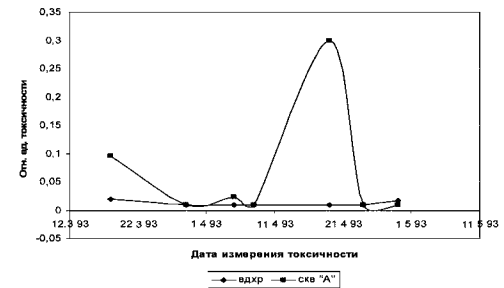


Рис. 4.8. Кривые интегральной токсичности артезианских (скважина А) и поверхностных вод (Иваньковское водохранилище), летняя межень

выположенный, то для скважины А ход кривой имеет синусоидальный характер.

В единицах показаний люминометра без пересчета с применением γ -функции по шкале токсичности J_{15} не бывает ниже единицы при любом качестве первоначальной суспензии бактерий. В грунтовых водах J_{15} обычно ниже единицы, кроме образцов с повышенным содержанием нитратного азота, в которых величины интенсивности свечения выше 1.0. В образцах поверхностных вод J_{15} ниже в 2-3 раза по сравнению с артезианскими, грунтовыми и родниковыми образцами.

Установлено, что по вертикали от поверхности водохранилища к ложу наблюдается снижение J_{15} не только летом, но и в зимний период, когда происходит более интенсивное питание водоема за счет поступления в ложе разгружающихся артезианских вод.

Исследование токсичности воды Иваньковского водохранилища в створах по русловой вертикали позволило установить, что в летнюю межень токсичность придонного слоя обычно выше поверхностного, а токсичность образцов с глубины 3 м может быть больше или меньше, чем у дна, что хорошо видно из таблицы 4.4.

Изменение токсичности по русловой вертикали на створах Иваньковского водохранилища, июнь 1992

| Створ | Глубина отбора, м | θ |
|--------------------|----------------------|------------------|
| С. Городня | поверхность/3 м/ 9 м | 0.09 / 0.32/0.28 |
| Волга – о. Низовка | поверхность/3 м/ 9 м | 0.19/0.32/0.35 |
| О. Низовка - Шоша | поверхность/3 м/ 9 м | 0.18/0.16/0.19 |

Примечание: во втором столбце 9 м – придонный слой водной толщи.

Представленные результаты измерений токсичности образцов различных природных вод показали, что связь между интенсивностью свечения и токсичностью образца воды не всегда однозначна. Например, качество артезианской воды полностью соответствует государственным требованиям к водам питьевого назначения, однако по шкале данный образец является токсичным.

В то же время образцы сточных вод Завидовской птицефабрики (рис. 4.9) оказались слабо токсичными, хотя концентрация в этих водах аммонийного азота достигала 10-15 ПДК (Ковалышева, 1994).

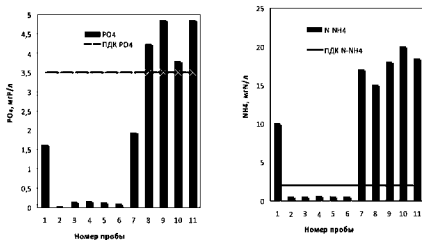


Рис. 4.9. Интегральная токсичность в сточных водах Завидовской птицефабрики

Неоднозначность взаимосвязи требует как минимум корреляции между гидрохимическими характеристиками образца и неожиданным изменением

кинетических параметров биолюминесцентной реакции.

Поскольку в образцах сначала измеряли токсичность, а затем проводили полный стандартный анализ в химической лаборатории, исследованы корреляционные зависимости величин токсичности и гидрохимических параметров.

В качестве пар использован весь макрокомпонентный ряд, рН, ЭПР, азот нитратный и аммонийный, фосфор минеральный, общий и валовый, ПО, цветность, растворенный O_2 и БПК₅. Установлено, что из всех перечисленных характеристик качества природных вод ближе всего к колебаниям уровня токсичности характер изменения БПК₅ (в отдельных случаях коэффициент корреляции составлял 0.95), а из ряда биогенных веществ с уровнем токсичности коррелирует фосфор. Коэффициенты корреляции составили для пары θ - Р общ. 0.58, θ - Р вал. – 0.55.

В качестве базы данных использованы замеры токсичности воды Ивановского водохранилища в летнюю межень 1992 и 1993 годов, то есть результаты относятся только к водам водохранилища. Для выявления корреляционных связей в природных водах другого типа мы не располагаем репрезентативной выборкой.

Основными показателями загрязненности природных вод считаются содержание растворенного кислорода O_2 (чем его больше, тем лучше качество воды) и величина биохимического потребления кислорода за 5 или 20 суток БПК₅: чем выше этот показатель, тем хуже качество воды (Голубев, 1999).

Содержание O_2 в природных водах определяет степень аэрированности воды и возможности существования в ней форм жизни (Никаноров, 1989).

В результате исследований между содержанием O_2 и токсичностью образца установлены корреляционные связи с обратно пропорциональной зависимостью, то есть с уменьшением в воде содержания O_2 степень токсичности (по реакции тест-объекта) возрастает.

В таблице 4.5 представлено содержание O_2 , величины БПК₅ и общего фосфора в родниках разных групп.

Содержание растворенного кислорода, величины БПК₅ и общего фосфора в родниках разных групп

| Адрес родника | Группа | O ₂ , мгO ₂ /дм ³ | БПК ₅ , мгO ₂ /дм ³ | P _{общ} , мгP/дм ³ |
|----------------------------|--------|--|--|--|
| Парк | III | 0.6 | 1.9 | 0.29 |
| Городня | IV | 8.1 | 1.6 | 0.13 |
| Раздолье | III | 7.5 | 1.5 | 0.02 |
| Савватьево | II | 8.4 | 1.3 | 0.29 |
| Крутец | V | 2.6 | 0.1 | 0.28 |
| Окулово | III | 7.7 | 1.2 | 0.33 |
| Иваньковское водохранилище | | 11.0 | 7.5 | 0.15 |

В воде Иваньковского водохранилища летом содержания растворенного O₂ достигают максимальных концентраций (10 - 12 мгO₂/дм³). Подземные воды бедны кислородом (чем ниже по отношению к дневной поверхности залегает водоносный горизонт, тем меньше содержится O₂). Самоизливающаяся скважина на берегу характеризуется неустойчивым содержанием растворенного кислорода; видимо, поэтому на рис. 4.8 наблюдается пик токсичности.

Величины БПК₅ в опробованных родниках совсем невелики, но низкий уровень содержания кислорода оказался губителен для светящихся бактерий.

Результаты определения токсичности образцов природных вод с применением люминесцентного метода биотестирования хорошо согласуются с данными других биотестов (Ковалышева, 1996). В Саратове метод биотестирования использовался для сравнения качества родниковых и поверхностных (питьевых) вод. Установлено, что токсичность родниковой воды «нулевая», токсичность водопроводной воды колеблется от «слаботоксичной» до «сильнотоксичной» (Гигиенические, 2011). Величина минерализации воды в опробованных саратовских родниках колебалась от 140 до 500 мг/дм³, общей жесткости – от 3 до 7, то есть опробованы кислородсодержащие родники с преимущественно грунтовым и атмосферным

типом питания. Авторы определяли интегральную токсичность в водах с общей жесткостью 5.4 и 9.2 ммоль/дм³ (артезианская скважина и родник Вахонино соответственно).

Следовательно, метод люминесцентного биотестирования можно использовать при определении геиезиса воды родника как дополнительный. Если по результатам анализа образец воды имеет категорию «токсичный», значит, доля восходящего напорного питания высокая (родники IV-V групп). Для непосредственного определения питьевых качеств родниковых вод (соответствует ли родниковая вода требованиям ГОСТ) метод не может быть использован в силу неоднозначности интерпретации его результата.

В результате исследований также установлено, что благодаря экспрессности и высокой чувствительности люминесцентный метод можно задействовать для непрерывного мониторинга качества вод водохранилищ питьевого назначения и родников I – II групп.

Применение метода для анализа артезианских вод с целью определения интегральной токсичности не рекомендуется из-за низкого содержания растворенного кислорода, способствующего гибели светящихся бактерий.

Однако метод может быть успешно использован как дополнительный при проведении и интерпретации термометрических измерений с целью выявления зон субаквальной разгрузки глубоких напорных вод, что требует дальнейших исследований (Гриневский, 2005).

4.3. Микрокомпоненты в воде родников

Микрокомпоненты, или микроэлементы, находятся в водах зоны активного водообмена, как правило, в рассеянном состоянии. В пресных водах их содержание составляет 5 - 10% минерального состава, в высокоминерализованных водах - до 1 % (Михайлов, 1985). Микроэлементы присутствуют в организме человека в достаточно малых количествах. Они входят в состав биологически важных молекул – ферментов, катализируют различные биохимические процессы, регулируя обмен веществ, поэтому их

дефицит или избыток влияет на адаптацию организма, предрасположенность к заболеваниям.

Под суточной потребностью организма человека в том или ином химическом элементе понимается возможность его потребления из различных источников. Однако в последние десятилетия именно потребление веществ с питьевой водой признается все более важным путем поступления химических элементов и их соединений для человеческого организма (Смирнова, 2004).

В настоящее время много внимания в мировой науке уделяется исследованиям медико-экологического характера, связанным с содержанием в питьевых водах микроэлементов и их сочетаний. Особый интерес вызывает проблема определения нижних пределов минерализации питьевых вод.

Исследователями обнаружено, что при употреблении животными воды с минерализацией ниже 100 мг/л начинаются необратимые заболевания (Бородулина, 2006).

Людам, для улучшения своего здоровья самостоятельно переходившим на употребление только дистиллированной воды, приходилось обращаться к врачам, так как самочувствие у них значительно ухудшалось. Если родник питается восходящими водами, химический состав которых хорошо сбалансирован и насыщен микроэлементами, беспокоиться не приходится. Однако в случае чрезмерного увлечения водой родника из I группы стоит задуматься о микроэлементозе.

Существует ряд жизненно важных элементов, обеспечивающих нормальное функционирование организма человека: Mn, Cu, Mo, Zn, Co, Cr, Ni, V, Se, Fe, As (Хомич, 2004). Микроэлементы могут оказывать на накопление друг друга как синергичное, так и антагонистическое влияние. Например, при дефиците Se усиленно накапливаются As, Cd и Hg, и они в свою очередь усиливают недостаток Se в организме. С недостатком Mg, Zn, Cu, Mg, Cr, Si, I при избытке Hg и Pb связывают плохую память у детей. Нарушение остроты зрения наблюдается при недостатке Mg, Ca, Zn, Cu, Mn, Se и Cr. С функциями эндокринной системы тесно связаны Cu (недостаточное ее поступление

усиливает дефицит йода) и Zn, который участвует в образовании инсулина и других гормонов (Яромейок, 2013).

С целью определения концентраций наиболее важных микроэлементов пробы из популярных среди населения родников проанализированы на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Agilent ICP-MS 7500a.

Всего опробовано 12 родников, в том числе три из II группы, два – из группы III и 7 из группы IV.

Результаты анализа с точки зрения дефицита/избытка того или иного микроэлемента представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5

Эколого-медицинская оценка содержания в родниковых водах региона жизненно важных микроэлементов (мкг/л)

| Компонент | Диапазон | Среднее | ПДК, мкг/л | Последствия дефицита/избытка микроэлемента * |
|-------------|-----------|---------|------------|--|
| Марганец Mn | 3.4-309.0 | 46.1 | 100.0 | Анемия, онкология, замедление ростовых процессов /тяжелые отравления |
| Медь Cu | 1.4-19.5 | 7.7 | 100.0 | Остеопороз, варикоз, онкология, анемия /эпилепсия, желтуха, дефицит Zn, Mo, Mn |
| Молибден Mo | 1.0-9.8 | 2.51 | 250.0 | Анемия, рак пищевода/задержка роста, мочекаменная болезнь, расстройство кишечника, подагра, атаксия |
| Цинк Zn | 0.7-86.0 | 26.3 | 1000.0 | Диабет, депрессия, воспаление простаты, куриная слепота/задержка роста, дефицит Cu, Fe, Cd, деформация костей |
| Кобальт Co | 0.4-3.0 | 1.63 | 100.0 | Эндемический зоб, анемия, мышечная дистрофия/астма, поражение сердца, слухового нерва, онкология |
| Хром Cr | 0.7-7.6 | 3.73 | 100.0 | Сахарный диабет, рак желудка, заболевания глаз, нарушения углеводного обмена /головные боли, экзема, астма |
| Никель Ni | 0.8-10.8 | 4.26 | 100.0 | Снижение аппетита/астма, контактный дерматит, анемия, отек легких, онкология |
| Ванадий V | 0.5-2.1 | 0.87 | 100.0 | Сахарный диабет, онкология/аллергия, лейкопения, воспаление слизистой |
| Селен Se | 9.1-21.9 | 15.1 | 10.0 | Мышечная дистрофия, сердечно-сосудистые заболевания, болезнь Кешана/увеличение печени, судороги |
| Железо Fe | 180-593 | 362 | 300.0 | Анемия, снижение иммунитета/аллергия, зуд и сухость кожи, высыпания |
| Мышьяк As | 0.6-3.1 | 1.6 | 50.0 | Упадок сил, заболевания дыхательных путей, выпадение волос/головные боли, поражение сосудов ног, конъюнктивит, новообразование |

Примечание: * две последних графы по (Гидрогеохимия, 1991; Ахметьева, 2007).

Концентрации микрокомпонентов в воде исследованных родников в целом довольно низкие, за исключением железа. Однако, биологическое значение железа велико, ведь от его содержания в крови зависит уровень гемоглобина, работа в организме ферментов, обеспечивающих тканевое дыхание. Железо не относится к токсичным ингредиентам, его содержание в воде нормируется по органолептическим признакам: железистому привкусу, рыжим хлопьям и мутности, бурому осадку на стенках труб и посуды (Бородулина, 2006).

Обращает на себя внимание большой разброс концентраций марганца (Mn) в родниковых водах. Согласно данным Тверского комитета охраны природы, описываемый район характеризуется его повышенным природным фоном (Государственный, 2012).

Марганец относят к 3В III класса опасности для человека. Основная роль в организме – поддержка репродуктивных функций и нормальной работы центральной нервной системы. При нормативных содержаниях Mn регулирует работы нервных и эндокринных систем, защищает клетки от свободных радикалов, обеспечивает норму глюкозы в крови (Мартынова, 2011). С водой в организм человека поступает 4–5 % его общего требуемого количества.

Определение марганца в отобраных пробах родников производилось фотометрически с использованием формальдоксима на следующий день после отбора, пробы хранились в холодильнике.

Его содержание в изученных родниках колеблется в широких пределах: от 0.02 (родник Бор) до 2.4 мг/дм³ (колодец в д. Пеенье). ПДК РФ для марганца составляет 0.1 мг/дм³. Установлено, что в родниках I - II групп содержание марганца колеблется в пределах 0.02 – 0.1, то есть не превышает ПДК. В родниках III - V групп содержание марганца колеблется в широких пределах и не является постоянной величиной. Если родник питается водами межморенных водоносных горизонтов, содержащих большое количество железа и марганца, концентрации последнего варьируют от 0.13 до 0.33 (Парк, с. Даниловское). Аномально высокие концентрации марганца обнаружены

только в двух родниковых колодцах – в д. Пенье и в д. Орешково: 2.4 и 1.2 мг/дм³ соответственно, что составляет более 10 ПДК. Тверская область характеризуется повышенным природным фоном не только марганца, суммы солей кальция и магния, но и железа (Гладков, 2000). В подземных водах Fe растворено в форме бикарбоната закиси – Fe(HCO₃)₂; когда подземные воды изливаются на поверхность, CO₂ улетучивается, и образуется закись железа Fe(OH)₂, которая окисляется в окись Fe₂O₃ (Телитченко, 1968).

Окись в воде трансформируется в коллоидальную гидроокись железа, при коагулировании которой и образуются рыжие пышные хлопья (фото 8).

Содержание серебра в роднике села Городня на порядок больше, чем в других источниках. Скорее всего, это объясняется тем, что во время царя Ивана Грозного здесь находился монетный двор, где чеканили серебряную «деньгу Городенскую».

Химический состав родников при знании генезиса питающих его вод является важным информативным источником знаний о путях миграции того или иного микроэлемента. В таблице 4.6 представлены содержания ряда микрокомпонентов в опорных источниках: Бор, Саватьево (группа II), Парк (III), Городня и Школа (IV).

Таблица 4.6

Микроэлементный состав родников, летняя межень 2007, мг/дм³

| Микроэлемент (ПДК России) | Городня | Бор | Саватьево | Парк | Школа |
|---------------------------|---------|-------|-----------|--------|--------|
| Zn (0.02) | 0.0007 | 0.026 | 0.086 | 0.026 | 0.004 |
| Ni (0.1) | 0.003 | 0.006 | 0.0008 | 0.0063 | 0.002 |
| Cu (1.0) | 0.0017 | 0.015 | 0.005 | 0.015 | 0.007 |
| Mn (0.1) | 0.031 | 0.09 | 0.008 | 0.145 | 0.006 |
| Pb (0.03) | 0.0002 | 0.002 | 0.002 | 0.0021 | 0.0001 |
| Ba (0.1) | 0.078 | 0.062 | 0.016 | 0.062 | 0.042 |
| Mo (0.25) | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.0004 |
| As (0.05) | 0.0011 | 0.003 | 0.0007 | 0.0031 | 0.0011 |
| Se (0.1) | 0.009 | 0.009 | 0.022 | 0.004 | 0.0015 |
| Cr (0.05) | 0.00007 | 0.002 | 0.0048 | 0.017 | 0.017 |
| Sr (7.0) | 0.369 | 0.08 | 0.073 | 0.081 | 0.176 |

Содержание цинка (первая строка таблицы) свидетельствует о том, что в родниках (Бор и Савватьево), питающихся преимущественно атмосферными осадками, его на два порядка больше, чем в Городне. Такое распределение цинка указывает на то, что в Тверском регионе основные источники его поступления находятся на дневной поверхности, что подтверждается данными других исследователей.

По данным Г. И. Романовой, на территории Ивановской НИС в 1976-1980 годах в лежалом снеге содержалось Fe 25 - 160 мкг/дм³ при средней концентрации 86, Mn - 15 - 60 (32.0) мкг/ дм³, Cu 3 - 9 (5), Zn 22.5 - 75 (44.6) мкг/ дм³. В то же время в ГВ режимных скважин НИС концентрации Fe колебались в пределах 70 - 726, Mn - 42-280, Cu 5 - 15 (8.5), Zn 21.5 - 461.5 (128.9) мкг/ дм³. В двух скважинах, вскрывающих клязьминский водоносный горизонт близ д. Плюски, концентрации этих металлов составляли соответственно 90 - 1795 (534), 6.5 - 74 (29), 8 - 43.5 (20) и 20 - 124 (45) мкг/ дм³, то есть происхождение цинка в осадках - поверхностное (Романова, 1987).

Содержание стронция, меди, железа имеет обратное распределение, что указывает на подземное происхождение этих элементов.

Исследования показали, что изученные родники не содержат опасных концентраций тяжелых металлов.

Однако в родниках I группы имеет место недостаток микроэлементов, особенно в родниках с водой ультрапресного типа (общая минерализация до 0.1 ммоль/дм³), как в родниках Бушмино, Видогощи. Ультрапресные воды обладают большой растворяющей способностью, выщелачивают из организма кальций (Перельман, 1982). Постоянное употребление такой воды может привести к микроэлементозу; поэтому эти родники не рекомендуется использовать в питьевых целях.

Заключение

Авторами исследовано 42 родника и 28 родниковых колодцев, приуроченных к долинам рек, их террасам и водоразделам; также изучены воды рек – притоков р. Волги, болот и Ивановьковского водохранилища, выполнено около 1000 химических анализов.

На восьми опорных родниках проведены режимные круглогодичные наблюдения в течение последних 3 – 15 лет.

Получен ценный материал по замерам дебита родника, температуры воды, pH, Eh, химическому составу, позволивший применить методы статистической обработки данных, использовать модель WATBUG для подсчета инфильтрационного питания, построить графики для выявления трендов по различным химическим элементам.

Установлено, что в формировании родников изученной территории большую роль играют напорные воды известняков карбона и субнапорные воды межморенных флювиогляциальных отложений. Безнапорные грунтовые и атмосферные воды имеют первостепенное значение лишь в небольшой группе родников, подверженных интенсивному антропогенному загрязнению. Большая часть исследованных родников имеет смешанное питание – за счет атмосферных, грунтовых и напорных вод в разных пропорциях.

Авторами составлена сводная генетическая классификация родников водосборной площади Ивановьковского водохранилища.

Основной критерий, по которому производилось деление родников на группы – это соотношение питающих вод разного генезиса, выраженное химическим составом воды родника: величиной жесткости, наличием или отсутствием антропогенных загрязнителей (NO_3 , NH_4 , $\text{P}_{\text{общ}}$, ПО, цветность) и микрокомпонентов (Sr, F, B). Следует учитывать и другие показатели – температуру воды, pH, Eh, содержание кислорода, железа и марганца, характер изменения по времени дебита родника.

Сравнение смоделированных величин инфильтрационного питания с результатами аналитических расчетов по данным режимных наблюдений за уровнями грунтовых вод показало, что программа WATBUG может быть успешно использована как дополнительная при расчетах фактического суммарного испарения при УГВ 0.3 – 5.0 м.

Ретроспективный анализ динамики содержания основных загрязнителей региона (сульфатов и хлоридов) в родниковых водах показал, что их концентрации с 1994 года по настоящее время стабильно уменьшаются.

В результате проведенных гидрометрических и гидрогеологических работ на реках от истока до устья определены особенности взаимосвязи подземных и речных вод на отдельных участках водотока. Установлено, что основной формой подземного питания притоков Волги на изученном отрезке является

субаквальная разгрузка подземных вод в русло; родниковый сток играет подчиненную роль. По длине рек гидравлическая связь водоток – водоносный горизонт носит разнонаправленный характер. При принятии управленческих решений рекомендуется учитывать информацию, на каких именно участках реки происходит разгрузка артезианских вод – условно более защищенных по сравнению с участками, где разгружаются грунтовые воды. Особое внимание следует уделить защищенности областей питания вод верхнего карбона.

Площадные съемки, проведенные на акватории Шошинского плеса Иваньковского водохранилища, показали, что разгрузка глубоких восходящих вод по зоне тектонической трещиноватости происходит не только в зимний период, но и в летнюю межень.

Исследованиями установлено, что люминесцентный метод биотестирования с использованием бактерий *Phosphoribacter phosphoreum* может быть успешно использован как дополнительный при проведении и интерпретации работ по выявлению зон субаквальной разгрузки глубоких напорных вод.

Выявленные составляющие подземного стока в Волгу на отрезке Тверь – Дубна распределяются следующим образом: напорные воды - 84.6%, грунтовые воды – 14.9%, родниковый сток – 0.5%. Доля родникового стока рассчитана по собственным данным о расходах нисходящих родников, она составила $1.7 \cdot 10^5$ м³ в год. Определенная генетическая структура подземного стока даст возможность вернее корректировать расчеты стока загрязняющих веществ с подземным притоком в Иваньковское водохранилище – основной источник водоснабжения г. Москвы.

Родники ранее не входили в государственную систему мониторинга водных объектов, однако в настоящее время они включены в систему как важные поверхностные водные объекты (Водный, 2006). При поиске режимных родников долины верхней Волги для постановки сети опорного мониторинга первостепенную важность имеет определение в ряду компонентов и показателей химического состава суммы солей кальция и магния, содержания стронция и Ен. Сеть специализированного мониторинга, в частности, для определения степени воздействия на окружающую среду свиноводческих и животноводческих комплексов, должна ставиться с учетом содержания в родниковых водах повышенного количества соединений азота и фосфора.

Выработанная сводная классификация имеет практическое значение. Она позволяет выделить родники с преимущественно напорным питанием, которые имеют постоянный (или слабо меняющийся по сезонам года) дебит, низкую температуру, отсутствие в воде антропогенных загрязнителей. Эти родники защищены от аварийных ситуаций, которые могут произойти на поверхности

земли – разлив нефтепродуктов, попадание на землю отравляющих веществ, удобрений, мусора, материалов со свалок и др.

Родники описываемой территории изменяют со временем свой дебит, химический состав, несколько родников вообще исчезло за последние 50–100 лет. Это происходит, главным образом, по причине халатного и бесхозяйственного подхода человека к природе и в частности к родникам.

Жители городов Твери, Конаково и поселков городского типа предпочитают использовать для питья родниковую воду. В выходные дни люди из городов едут к родникам, отбирая воду в канистры емкостью по 10 – 20 литров, используя ее в течение недели. Наиболее популярные родники в окрестностях Твери расположены у с. Никифоровское, в устьевой части р. Орша, близ д. Савватьево, а также у д. Игуменка, Окулово, Городня. Жители г. Конаково активно используют воду родника в городском бору и в с. Селихово. Надо иметь в виду, что родники грунтового питания подвержены антропогенному загрязнению. Например, Савватьевские родники, расположенные поблизости от автодороги и зверосовхоза, имеют воду значительно худшего качества, чем 100 лет назад. По данным химического анализа в воде содержатся нитраты в количестве 10 - 30 мг/дм³ (ПДК для NO₃ в питьевых водах до 50 мг/л), они также слабо загрязнены нефтепродуктами.

По старинной традиции пить воду из Савватьевских родников люди по-прежнему продолжают. Однако этого, по нашему мнению, делать не стоит, особенно поить ею детей. Другой пример касается родника в д. Вахонино. Химический анализ воды показал, что в ней высокое содержание нитратов (до 50 мг/дм³), анализ производился уже в текущем столетии. Причиной этого является склад минеральных удобрений в деревне, который был ликвидирован в 1989 году, но его влияние сохраняется и в наши дни.

Таким образом, химический состав родников грунтового питания, водосборная площадь которых находится на территории поселков, промышленных предприятий, автомобильных дорог, обрабатываемых полей или теплиц, подвержен сильному изменению, которое следует учитывать.

Родники, получающие питание за счет разгрузки напорных вод известняков карбона или межморенных песков, изолированы от антропогенного загрязнения. Эти родники имеют стабильный химический состав и, как правило, биогенные элементы и органические соединения в них отсутствуют. Они рекомендуются для использования. Родники такого типа находятся в с. Селихово, Дмитрова Гора, д. Крутец, Окулово и др. Необходимо заботливое и бережное отношение к родникам, особенно в местах массовых посещений. Не следует загрязнять не только место выхода самого родника, но и территорию в радиусе нескольких десятков метров. Места выхода родников рекомендуется обустроить, сделав его местом культурного ландшафта.

Приложение 1

Краткая характеристика и местонахождение родников

| п/п | Населенный пункт | Местонахождение | Широта | Долгота |
|--------------------------|------------------------------|---|---------------|---------------|
| Изученные родники | | | | |
| 1 | д. Новинки | правый берег р. Тьмы, 8 м от уреза | 56°52'21.04"С | 35°33'17.05"В |
| 2 | д. Савватьево | 8 км на В от Твери, правый берег реки Орша | 56°49'49.19"С | 36° 5'50.23"В |
| 3 | Оршин Вознесенский монастырь | Правый берег реки Орша, устье | 56°47'59.11"С | 36°11'4.73"В |
| 4 | д. Поповское | левый берег р. Созь, 12 м от уреза | 56°51'5.02"С | 36° 0'14.75"В |
| 5 | д. Никольское | левый берег левого притока р. Созь, в 4 м от уреза | 56°49'35.23"С | 35°49'29.10"В |
| 6 | д. Окулово | правый берег р. Созь, 12 м от уреза | 56°52'51.12"С | 36°44'18.57"В |
| 7 | д. Кудрявцево | 130 м на юг от западной оолицы деревни | 56°44'15.50"С | 36°35'48.07"В |
| 8 | д. Орешково | 150 м на ю-ю-з от д. 16, в понижении рельефа | 56°44'15.50"С | 36°35'48.07"В |
| 9 | пристань Топорок | 30 м от уреза левого берега Волги, слева от паромной переправы | 56°47'45.69"С | 37°15'28.15"В |
| 10 | б/о завода Москинап | 80 м от уреза левого берега Волги | 56°41'43"С | 36°45'11"В |
| 11 | д. Юрятино | 5 м от уреза залива левого берега Волги, у мостика | 56°47'7.74"С | 36°15'6.13"В |
| 12 | СНТ «Рябеево» | правый берег Волги, 5 м от уреза | 56°50'14.88"С | 35°43'35.74"В |
| 13 | с. Никифоровское | 50 м к западу, на берегу ручья, впадающего в Волгу | 56°48'4.96"С | 36° 2'10.70"В |
| 14 | д. Неготино | 6 м от дороги | 56°47'6.88"С | 35°54'39.74"В |
| 15 | д. Каменка | левый берег р. Каменка | 56°45'21.52"С | 35°51'34.06"В |
| 16 | д. Каменка | Правый берег р. Каменка | 56°45'10.36"С | 35°51'3.85"В |
| 17 | д. Мятлево | восточная окраина деревни | 56°45'16.20"С | 36° 8'33.82"В |
| 18 | д. Головино | Левый берег Сосцы, надпойменная терраса, 350 м на ю-в до уреза | 56°50'16.4"С | 36°35'17.0"В |
| 19 | д. Игуменка | в борту II надпойменной террасы | 56°46'34.45"С | 36°19'38.74"В |
| 20 | с. Городня | 6 м от уреза правого берега Волги, напротив д. 38 | 56°42'38.27"С | 36°19'42.42"В |
| 21 | с. Городня | борт II надпойменной террасы, 400 м направо от церкви, 120 м от уреза | 56°42'38.32"С | 36°19'38.67"В |
| 22 | д. Тешилово | 650 м на в до уреза правого берега Шошинского плеса, за прудом | 56°34'31.76"С | 36°26'11.87"В |
| 23 | с. Козлово | рядом с прудом и р. Котевля | 56°30'49.3"С | 36°15'28.1"В |
| 24 | д. Курьяново | Правый берег р. Лихуша | 56°26'56.5"С | 36° 5'6.6"В |

| | | | | |
|----|---------------------------------|---|----------------|---------------|
| 25 | д. Бушмино | 5 м от уреза, правый берег Шопинского плеса | 56°27'58.6"С | 36° 06'08.8"В |
| 26 | д. Койдиново | левый берег Ламы, у староречья в 9 м от левого берега | 56°23'15.0"С | 36° 02'39.0"В |
| 27 | д. Терехово | 30 м от уреза Волги | 56°36'50.2"С | 36°33'19.50"В |
| 28 | д. Щелково | высокая пойма, 16 м от уреза Волги | 56°36'39.1"С | 36°36'32"В |
| 29 | д. Шуклово | левый берег притока в р. Гусевка, в 28 м от уреза | 56°35'54.8"С | 36°36'59.4"В |
| 30 | с. Вахонино | левый берег р. Инюха, в борту террасы | 56°36'52.73"С | 36°38'5.34"В |
| 31 | с. Вахонино | правый берег Волги, в борту террасы | 56°36'44.33"С | 36°37'9.50"В |
| 32 | б/о «Раздолье» | 60 м от уреза правого берега Волги | 56°38'32.63"С | 36°37'45.46"В |
| 33 | с. Селихово | левый берег р. Донховка, 2 м от уреза | 56°39'45.28"С | 36°49'8.08"В |
| 34 | г. Конаково | правый берег р. Донховка, за школой № 6 | 56°41'34.89"С | 36°46'14.87"В |
| 35 | г. Конаково | ул. Кооперативная, частный | 56°40'59.72"С | 36°46'50.92"В |
| 36 | г. Конаково Октябрьский мост | левый берег р. Донховка, 4 м от уреза | 56°40'53.70"С | 36°46'55.51"В |
| 37 | г. Конаково | реликтовый сосновый бор, в 2.5 км от входа в парк по берегу Волги, 120 м от уреза | 56°42'5.17"С | 36°44'43.95"В |
| 38 | Вход в лесопарк г. Конаково | на левом берегу ручья Глухарка, в 20 м от уреза правого берега Волги | 56°42'11.06"С | 36°45'33.00"В |
| 39 | СНТ «Медик» | На СВ от СНТ, в 1.2 км от уреза Волги, в лесу | 56° 38'33.30"С | 36°40'50.77"В |
| 40 | с. Дмитрова Гора | ул. Советская, в ложбине | 56°39'49.8"С | 36°58'40.2"В |
| 41 | д. Сенинское | у дороги на Дубну | 56°39'40.50"С | 36°56'46.1"В |
| 42 | д. Заборовье | левобережье Волги, в 2.1 км ниже устья Орши | 56°49'03"С | 36°45"В |

Ключевые колодцы

| | | | | |
|----|---------------------------|---|--------------|--------------|
| 43 | микрорайон Зеленый бор | III надпойменная терраса, 300 м до уреза Волги на север | 56°41'46.4"С | 36°44'18.9"В |
| 44 | д. Верханово | частный колодец | 56°40'17"С | 36°53'55"В |
| 45 | д. Безбородово | 900 м до а/д моста трассы на СПб, 10 м от дороги влево | 56°35'21"С | 36°29'21"В |
| 46 | д. Ново-Семеновское | 180 м до уреза, левый берег р. Инга, частный | 56°46'39."С | 36°12'50"В |
| 47 | д. Староселье | Общественный, по левую сторону дороги Тверь-Кимры | 56°51'30"С | 36°34'22"В |
| 48 | д. Васильково | общественный, 400 м до уреза левого берега р. Мал. Созь | 56°49'45"С | 36°29'44"В |
| 49 | д. Тованово | общественный, 40 м до уреза левого берега Орши | 56°55'13.1"С | 36°10'29.3"В |
| 50 | д. Видогощь | центр деревни, справа от дороги к пруду | 56°42'13.0"С | 36°22'56.6"В |
| 51 | д. Орешково | Общественный, у д. 16 | 56°42'46.6"С | 36°40'59.1"В |
| 52 | д. Перегусово | 380 м от уреза Волги | 56°51'59"С | 36°52'50"В |
| 53 | с. Даниловское | общественный | 56°46'55"С | 36°52'50"В |

| | | | | |
|------------------------------|------------------------------|--|---------------|---------------|
| 54 | д. Ст. Погост | центр поселения, общественный | 56°42'48.1"С | 36° 4'32.1"В |
| 55 | д. Цветково | общественный | 56°41'2.5"С | 35°54'54.1"В |
| 56 | д. Калистово | напротив д. 41 | 56°32'52"С | 35°55'12"В |
| 57 | д. Горохово | 120 м от уреза Волги | 56°48'49"С | 36°05'17"В |
| 58 | д. Нестерово | частный колодец, 180 м от уреза | 56°45'23.2"С | 36°29'38.5"В |
| 59 | с. Городня | в протоне у больницы | 56°41'30"С | 36°20'59"В |
| 60 | с. Завидово | Частный колодец | 56°32'5.23"С | 36°31'30.0"В |
| 61 | д. Кочедыково | II надпойменная терраса, левый берег р. Дойбицы | 56°33'17.4"С | 36°31'27.3"В |
| 62 | д. Шуклово | Частный колодец | 56°35'53.4"С | 36°36'51.1"В |
| 63 | СНТ «Долинки» | Надпойменная терраса р. Сучок, левый берег, 18 м до уреза | 56°39'19.7"С | 36°42'37.7"В |
| 64 | д. Сорокопенино | Левый берег Донховки, на склоне | 56°40'11.5"С | 36°49'07.0"В |
| 65 | д. Филимоново | частный колодец | 56°37'19.5"С | 36°51'28.7"В |
| 66 | д. Пенье | Северная околица деревни | 56°37'44.4"С | 36°56'37.1"В |
| 67 | д. Крутец | в 200 м от правого берега | 56°35'50.8"С | 36°55'55.9"В |
| 68 | д. Коробейкино | Общественный колодец | 56°42'50.4"С | 36°57'48.6"В |
| 69 | д. Юрьево | 120 м до уреза р. Тропка, левый берег | 56°51'21.3"С | 36°28'14.4"В |
| 70 | д. М. Новоселье | 180 м на восток до уреза Новосельского залива, стоит на холме | 56°46'0.2"С | 36°56'40.5"В |
| 71 | д. Федоровское | 500 м до уреза залива | 56°43'51.4"С | 36°57'39.3"В |
| 72 | д. Чублово | Частный колодец | 56°39'16.7"С | 36°51'4.6"В |
| 73 | д. Марьино | колодец у магазина | 56°38'45.7"С | 36°49'21.0"В |
| 74 | д. Горбасьево | Общественный колодец | 56°36'19.0"С | 36°43'08.0"В |
| Пойменные высачивания | | | | |
| 75 | д. Павельцево | левый берег Шошинского плеса 150 м ниже устья ручья Савинский | 56°30'06.3"С | 36°09'34.3"В |
| 76 | г. Конаково, вход в лесопарк | на левом берегу ручья Глухарка, в 20 м от уреза правого берега Волги | 56°42'08.1"С | 36° 45'42.0"В |
| 77 | д. Савватьево | Правый берег Орши | 56°49'49.19"С | 36° 5'50.23"В |
| 78 | с. Вахонино | левый берег Инюхи, вдоль борта высокой надпойменной террасы | 56°36'45.3"С | 36°37'13.7"В |
| 79 | д. Орешково | в низине, 150 м на юго-восток от д. № 16, у пруда | 56°44'15.50"С | 36°35'48.07"В |
| Иссякшие родники | | | | |
| 80 | с. Свердлово | на западной окраине села в углублении оврага за больницей | 56°37'36.1"С | 36°36'27.7"В |
| 81 | с. Тургиново | на западной окраине села | 56°30'21.6"С | 35°58'57.1"В |
| 82 | г. Тверь | Площадь Мира | 56°52'01.7"С | 35°54'01.2"В |
| 83 | г. Тверь | Храм Вознесения | 56°51'33.6"С | 35°54'33.9"В |
| 84 | д. Кленовка | на север в 150 м от с-з окраины деревни | 56°45'39.2"С | 35°06'48.9"В |
| 85 | Д. Старо-Мелково | Долина Волги | 56°39.48.3"С | 36°27'30.0"В |
| 86 | пгт. Эммаус | с-з околица поселка, в 50 м на в от медпункта | 56°46'36.2"С | 35°06'37.5"В |

Приложение 2

Таблица 1. Гидродинамические и химические характеристики родников с указанием групповой принадлежности

| № на карте | Место-положение | М*, мг/дм ³ | Химический состав (по Курлову) | Общая жесткость, ммоль/дм ³ | № группы | Q, л/с |
|------------|------------------------|------------------------|--|--|----------|--------|
| 1 | д. Новинки | 459 | HCO ₃ 59 NO ₃ 20SO ₄ 11Cl 10/ Ca 73Mg 12 | 4 6 | III | 0.013 |
| 2 | д. Савватьево | 227 | HCO ₃ 80 SO ₄ 13/ Ca 71Mg 22 | 2 9 | II | 0.04 |
| 3 | Оршинский | 98 | HCO ₃ 89/ Ca 60Mg 30 | 1 2 | I | 0.1 |
| 4 | д. Поповское | 592 | HCO ₃ 59 NO ₃ 19 SO ₄ 19/ Ca 63 Mg 37 | 7 5 | IV | 0.4 |
| 5 | д. Никольское | 514 | HCO ₃ 71 Cl 16/ Ca 64Mg 30 | 6 7 | III | 0.1 |
| 6 | д. Окулово | 259 | HCO ₃ 79 SO ₄ 19/ Ca 67Mg 28 | 3 2 | III | 0.1 |
| 7 | д. Кудрявцево | 389 | HCO ₃ 93/ Ca 71Mg 28 | 5 0 | III | 0.05 |
| 8 | д. Орешково | 380 | HCO ₃ 83 SO ₄ 11/ Ca 74Mg 26 | 4 4 | III | 0.003 |
| 9 | пристань Топорок | 382 | HCO ₃ 73 SO ₄ 17/ Ca 65Mg 32 | 4 8 | III | 0.15 |
| 10 | б/о завода Москинап | 362 | HCO ₃ 89/ Ca 69Mg 30 | 4 9 | III | 1.03 |
| 11 | д. Юрятино | 643 | HCO ₃ 71 NO ₃ 13 SO ₄ 10/ Ca 40 Na24Mg 20 K16 | 5 8 | III | 0.4 |
| 12 | СНТ «Рябеево» | 474 | HCO ₃ 91/ Ca 66Mg 32 | 5 8 | III | 0.05 |
| 13 | с. Никифоровское | 537 | HCO ₃ 71 Cl 21/ Ca 61Mg 31 | 6 9 | III | 0.12 |
| 14 | д. Неготино | 1021 | HCO ₃ 51 SO ₄ 47/ Ca 39 K24 Mg 19 Na17 | 7 4 | IV | 0.08 |
| 15 | д. Каменка | 496 | HCO ₃ 52 SO ₄ 26 NO ₃ 15/ Ca 54Mg 39 | 5 6 | III | 0.015 |
| 16 | д. Каменка | 685 | HCO ₃ 39 SO ₄ 32 NO ₃ 16 Cl 12/Ca 51Mg 39 Na10 | 7.8 | III | 0.02 |
| 17 | д. Мятлево | 350 | HCO ₃ 70 SO ₄ 17/ Ca 66 Mg 31 | 4 4 | III | 0.5 |
| 18 | д. Головино | 565 | HCO ₃ 90/Ca 73 Mg 23 | 7 2 | III | 0.015 |
| 19 | д. Игуменка | 351 | HCO ₃ 72 SO ₄ 18/Ca 63Mg 25 | 4 4 | III | 0.03 |
| 20 | с. Городня, урез | 733 | HCO ₃ 56 NO ₃ 17 Cl 14 SO ₄ 12/Ca 60Mg 29 | 8 4 | IV | 0.6 |
| 21 | с. Городня | 870 | HCO ₃ 59 SO ₄ 16Cl 13NO ₃ 12/ Ca 59Mg 17Na13 | 10.1 | IV | 0.08 |
| 22 | д. Тешилово | 675 | Cl 41 HCO ₃ 32 NO ₃ 16 SO ₄ 10/Ca 59Mg 21 Na19 | 7 8 | IV | 0.01 |
| 23 | с. Козлово | 300 | HCO ₃ 67 SO ₄ 26/ Ca 51Mg 29 Na17 K2 | 3 3 | II | 0.01 |

| | | | | | | |
|----|-------------------------------------|------|--|------|-----|--------------|
| 24 | д. Курьяново | 500 | HCO ₃ 73 SO ₄ 19/ Ca 32Mg 23 Na22 K22 | 5 4 | II | 0.05 |
| 25 | д. Бушмино | 88 | HCO ₃ 61 SO ₄ 32/ Ca 51 Na20 Mg 17 | 0 8 | I | 0.15 |
| 26 | д. Койдиново | 346 | HCO ₃ 82 SO ₄ 12/ Ca 59 Mg 29 | 4.2 | II | 01.09 .00 |
| 27 | д. Терехово | 649 | HCO ₃ 53 SO ₄ 18 Cl 10/ Ca 53 Mg 43 | 9 4 | IV | 01.01 .14 |
| 28 | д. Щелково | 736 | HCO ₃ 83 SO ₄ 10/ Ca 68 Mg 32 | 5 6 | III | 0.09 |
| 29 | д. Шуклово | 1027 | Cl 68 HCO ₃ 25/ Ca 70 Mg 30 | 15 3 | V | 0.01 |
| 30 | с. Вахонино, берег | 1252 | HCO ₃ 68 SO ₄ 15/ Ca 63Mg 30 | 9 8 | IV | 0.1 |
| 31 | с. Вахонино | 818 | HCO ₃ 54 SO ₄ 20 NO ₃ 16 Cl 11/Ca 60 Mg 33 | 9 4 | IV | 0.01 |
| 32 | б/о Раздолье | 357 | HCO ₃ 90/Ca 65Mg 32 | 4 3 | III | 0.01 |
| 33 | с. Селихово | 779 | HCO ₃ 60 Cl 21 SO ₄ 13/ Ca 64Mg 25 | 8 9 | IV | 0.13 |
| 34 | г. Конаково у школы № 6 | 868 | HCO ₃ 60 SO ₄ 28Cl 11/ Ca 61Mg 26Na11 | 10 5 | IV | 0.15 |
| 35 | г. Конаково, Кооперативная | 549 | HCO ₃ 88/ Mg 65 Ca 24 | 7 | III | 0.06 |
| 36 | г. Конаково, Октябрьский мост | 680 | HCO ₃ 68 SO ₄ 20Cl 12/ Ca 71Mg 29 | 8.4 | IV | 0.04 |
| 37 | г. Конаково, бор | 226 | HCO ₃ 85 SO ₄ 12/ Ca 67Mg 25 | 2 7 | II | 0.12 |
| 38 | г. Конаково, парк | 295 | HCO ₃ 77 SO ₄ 12Cl 10/ Ca 64Mg 25 | 3 63 | III | 0.4 |
| 39 | СНТ «Медик» | 651 | HCO ₃ 69 SO ₄ 23/ Ca 58 Mg 30 | 7 8 | IV | 0.09 |
| 40 | с. Дмитрова Гора | 647 | HCO ₃ 70 SO ₄ 13/ Ca 52 Mg 23 Na11 | 7 6 | IV | 0.01 |
| 41 | д. Сенинское | 429 | HCO ₃ 55 SO ₄ 22NO ₃ 12 Cl 11/Ca 67Mg 22 | 5 3 | III | 0.3 |
| 42 | д. Заборовье | 521 | HCO ₃ 94 Ca 64 Mg 34 | 6 1 | III | 5.0 |

Примечание: М* - общая минерализация.

Таблица 2. Гидродинамические и гидрохимические характеристики колодцев с указанием групповой принадлежности

| № на карте | Местоположение | Минерализация | Химический состав (по Курлову) | Общая жесткость ммоль/лм ³ | № группы | Н/УГВ, м |
|------------|------------------|---------------|---|---------------------------------------|----------|----------|
| 43 | мкр. Зеленый бор | 330 | HCO ₃ 69 SO ₄ 16/ Ca 64 Mg 27 | 4.0 | II | 7.8/1.8 |
| 44 | д. Верханово | 880 | HCO ₃ 82 SO ₄ 11/ Ca 63 Mg 22 Na+K 15 | 9.9 | IV | 6/1.5 |
| 45 | д. Безбородово | 883 | HCO ₃ 38 Cl 41 NO ₃ 13/ Ca 67 Mg 18 Na14 | 9.0 | IV | 8.2/6.7 |

| | | | | | | |
|----|-------------------|------|--|------|-----|--------------|
| 46 | д. Н.-Семеновское | 223 | HCO ₃ 52 NO ₃ 21 Cl 15 SO ₄ 11/Ca 64 Mg 16 K14 | 2.3 | I | 7.5/6.6 |
| 47 | д. Староселье | 778 | HCO ₃ 63 Cl 31/ Ca 38 Na 23 Mg 19 K19 | 6.6 | III | 5.3/3.1 |
| 48 | д. Васильково | 738 | HCO ₃ 85/ Ca 60 Mg 31 | 9.4 | IV | 5.8/3.8 |
| 49 | д. Тованово | 474 | HCO ₃ 87 SO ₄ 10/ Ca 72 Mg 27 | 5.8 | III | 2.5/1.3 |
| 50 | д. Видогощи | 145 | HCO ₃ 40 SO ₄ 46/ Ca 72 Mg 27 | 0.65 | I | 4.9/3.5 |
| 51 | д. Орешково | 185 | HCO ₃ 40 SO ₄ 27 NO ₃ 16/ Ca 63 Mg 31 | 2.7 | II | 6.0/2.4 |
| 52 | д. Перетрусово | 1977 | HCO ₃ 85 Cl 11/ Ca 61 Mg 31 | 13.8 | V | 7.5/1.9 |
| 53 | с. Даниловское | 803 | HCO ₃ 86 SO ₄ 10/ Ca 55 Mg 26 Na 18 | 8.4 | IV | 6.5/ 2.08 |
| 54 | д. Ст. Погост | 1216 | HCO ₃ 51 NO ₃ 30 Cl 12/ Ca 66Mg 24 | 12.4 | V | 5.1/ 0.8 |
| 55 | д. Цветково | 751 | HCO ₃ 55 SO ₄ 17 Cl 15 NO ₃ 12/Ca 48 Mg 25 Na 16 K11 | 7.1 | III | 7.0/4.8 |
| 56 | д. Калистово | 738 | HCO ₃ 64 SO ₄ 25/ Ca 54 Mg 25 Na 16 K 11 | 7.9 | III | 8 0/3.6 |
| 57 | д. Горохово | 940 | HCO ₃ 61 SO ₄ 25/ Ca 55 Mg 26 Na19 | 9.2 | IV | 7.5/2.5 |
| 58 | д. Нестерово | 704 | HCO ₃ 91/Ca 65 Mg 25 | 7.2 | III | 4.5/3.0 |
| 59 | с. Городня | 927 | HCO ₃ 59 Cl 22/ Ca 58 Na20 Mg 19 | 9.8 | IV | -/4.4 |
| 60 | с. Завидово | 1276 | Cl 57 HCO ₃ 35 / Ca 50 Mg 30Na 20 | 16 | V | 17/10 |
| 61 | д. Кочедыково | 543 | HCO ₃ 64 NO ₃ 17 SO ₄ 11/ Ca 71 Mg 25 | 10.8 | IV | 18/14 |
| 62 | д. Шуклово | 747 | HCO ₃ 77 Cl 15/ Ca 67 Mg 33 | 13.2 | V | 6.8/3.3 |
| 63 | СНТ «Долинки» | 507 | HCO ₃ 95/ Ca 59 Mg 40 | 7.4 | III | 2.7/0.3 |
| 64 | д. Сорокопенино | 620 | HCO ₃ 66 SO ₄ 22 Cl 10/ Ca 67 Mg 32 | 8.4 | IV | 2.7/1.5 |
| 65 | д. Филимоново | 623 | HCO ₃ 87/ Ca 42 Na27 Mg 17 K14 | 8.4 | IV | 8.3/5.5 |
| 66 | д. Пенье | 851 | HCO ₃ 61 SO ₄ 27/ Ca 65 K 16 Na25 | 9 | IV | 7.0/3.8 |
| 67 | д. Крутец | 895 | HCO ₃ 73 Cl 12 NO ₃ 10/ Ca 38 Mg 27 Na23 K 12 | 9.2 | IV | 5.1/2.4 |
| 68 | д. Коробейкино | 738 | HCO ₃ 82 SO ₄ 10/ Ca 55 Mg 43 | 9.6 | IV | 5 8/2 9 |
| 69 | д. Юрьево | 1284 | HCO ₃ 84/ Ca 52 Na24 K13 Mg 11 | 9.2 | IV | 2.9/1.6 |
| 70 | д. М. Новоселье | 830 | HCO ₃ 75 Cl 15/ Ca 52 Mg 20 K 18 Na10 | 8 | III | 4 8/2.3 |
| 71 | д. Федоровское | 645 | HCO ₃ 64 SO ₄ 20 Cl 16/ Ca 67 Mg 27 | 8.1 | III | 3 7/2 4 |

| | | | | | | |
|----|---------------|------|---|------|-----|----------|
| 72 | д. Чублово | 1112 | HCO ₃ 75 Cl 12/ Ca 55 Mg 23 Na22 | 11.4 | V | 7.0/2.5 |
| 73 | д. Марьино | 791 | HCO ₃ 87 SO ₄ 10/ Ca 60 Mg 33 | 9.6 | IV | 6.4/3.5 |
| 74 | д. Горбасьево | 753 | HCO ₃ 76 SO ₄ 15/ Ca 52 Mg 29 Na+K19 | 8.0 | III | 10.7/5.8 |

Пойменные высачивания

| № на карте | Местоположение | M* | Химический состав (по Курлову) | Общая жесткость, моль/дм ³ | № группы |
|------------|------------------------------|-----|---|---------------------------------------|----------|
| 75 | д. Павельцево | 276 | HCO ₃ 56 SO ₄ 31 Ca 47 Mg 23 Na21 | 2.7 | II |
| 76 | г. Конаково, вход в лесопарк | 340 | HCO ₃ 75 SO ₄ 14 Cl 11 Ca 67 Mg 17 Na11 | 3.9 | III |
| 77 | д. Савватьево | 227 | HCO ₃ 80 SO ₄ 13 Ca 71 Mg 22 | 2.9 | II |
| 78 | с. Вахонино | 648 | HCO ₃ 62 Cl 27 SO ₄ 10 Ca 55 Na 23 Mg 22 | 7.0 | III |
| 79 | д. Орешково | 380 | HCO ₃ 83 SO ₄ 11 Ca 74 Mg 26 | 4.4 | III |

Примечание: M* - общая минерализация, мг/дм³.

Таблица 3. Солевой состав родников, летняя межень, мг/дм³

| № на карте | Местонахождение | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ +K ⁺ | M* |
|------------|----------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|---------------------------------|------|
| 1 | д. Новинки | 21 | 32 | 220 | 79 | 7.9 | 25 | 459 |
| 2 | д. Савватьево | 6.66 | 18 | 140 | 46 | 7.3 | 2 | 227 |
| 3 | Устье р. Орши | 2 | 3 | 67 | 16 | 4.9 | 4 | 98 |
| 4 | д. Поповское | 23.1 | 43.7 | 299 | 94.6 | 33.8 | 19 | 592 |
| 5 | д. Никольское | 6.6 | 22.2 | 342 | 77.4 | 34.5 | 8 | 514 |
| 6 | д. Окулово | 4 | 18 | 177 | 48 | 9.8 | 2 | 259 |
| 7 | д. Кудрявцево | 2.7 | 12 | 281 | 72 | 17.1 | 1 | 389 |
| 8 | д. Орешково | 7.3 | 21.5 | 265 | 65.2 | 13.9 | 20 | 380 |
| 9 | пристань Топорок | 15.9 | 31 | 250 | 56 | 24.4 | 2 | 382 |
| 10 | б/о завода Москинап | 5.1 | 30 | 238 | 68 | 18.3 | 1 | 362 |
| 11 | д. Юрятино | 17 | 33 | 348 | 75 | 25.0 | 81 | 643 |
| 12 | СНТ «Рябесво» | 1.4 | 24 | 342 | 78 | 23.2 | 4 | 474 |
| 13 | с. Никифоровское | 57 | 42 | 305 | 100 | 23.2 | 9 | 537 |
| 14 | д. Неготино | 6.17 | 296 | 409 | 100 | 29.3 | 170 | 1021 |
| 15 | д. Каменка | 12.5 | 68 | 256 | 76 | 22.0 | 11 | 496 |
| 16 | д. Каменка | 31 | 109 | 317 | 96 | 36.6 | 20 | 685 |
| 17 | д. Мятлево | 15 | 38 | 201 | 60 | 17.0 | 5 | 350 |
| 18 | д. Головино | 15.6 | 13 | 403 | 92 | 31.7 | 6.5 | 565 |
| 19 | д. Игуменка | 13.3 | 48 | 207 | 64 | 14.6 | 2 | 351 |
| 20 | с. Городня, урез | 54 | 58 | 342 | 120 | 29.3 | 39 | 733 |
| 21 | с. Городня, у церкви | 55.3 | 106 | 407 | 152 | 30.4 | 75 | 870 |
| 22 | д. Тешилово | 144.9 | 48 | 195 | 115.2 | 24.9 | 48 | 675 |

| | | | | | | | | |
|----|-------------------------------|-------|------|-----|------|------|-----|------|
| 23 | с. Козлово | 3.5 | 49 | 159 | 42 | 14.6 | 20 | 300 |
| 24 | д. Курьяново | 2 | 22 | 336 | 42 | 40.0 | 55 | 500 |
| 25 | д. Бушмино | 2.1 | 17.8 | 43 | 12 | 2.4 | 9 | 88 |
| 26 | д. Койдиново | 3.5 | 25.3 | 220 | 56 | 17.1 | 14 | 346 |
| 27 | д. Терехово | 27 | 103 | 280 | 104 | 51.0 | 13 | 649 |
| 28 | д. Щелково | 28 | 42 | 244 | 84 | 16 | 3 | 417 |
| 29 | д. Шуклово | 435.6 | 38.8 | 278 | 215 | 55.5 | 61 | 1027 |
| 30 | с. Вахонино, берег | 52 | - | 915 | 138 | 35.0 | 0 | 1252 |
| 31 | с. Вахонино | 53 | 68 | 494 | 160 | 17.1 | 21 | 818 |
| 32 | б/о Раздолье | 4.43 | 4.5 | 262 | 58 | 17.1 | 2 | 357 |
| 33 | с. Селихово | 74.6 | 50 | 427 | 128 | 30.5 | 40 | 779 |
| 34 | г. Конаково, школа | 47 | 173 | 436 | 146 | 39.0 | 42 | 868 |
| 35 | г. Конаково, Кооперативная | 13.7 | 21 | 390 | 38 | 62.2 | 23 | 549 |
| 36 | г. Конаково, Октябрьский мост | 42.9 | 70.6 | 415 | 120 | 29.3 | 37 | 680 |
| 37 | г. Конаково, бор | 2.5 | 17 | 152 | 40.3 | 8.9 | 6 | 226 |
| 38 | г. Конаково, парк | 14 | 21.3 | 188 | 52 | 11.3 | 12 | 295 |
| 39 | СНТ «Медик» | 15.6 | 95 | 366 | 100 | 34.2 | 22 | 651 |
| 40 | с. Дмитрова Гора | 26.6 | 38 | 378 | 104 | 29.3 | 30 | 647 |
| 41 | д. Сенинское | 48 | 39 | 207 | 82 | 14.6 | 14 | 429 |
| 42 | д. Заборовье | 3.2 | 9.2 | 390 | 80 | 25.6 | 3.5 | 521 |

Примечание: *общая минерализация.

Таблица 4. Общие характеристики и содержание биогенных веществ в родниках

| № на карте | Место-нахождение | рН | ЭПР | цветн. | ПО мг О/ дм ³ | PO ₄ мг Р / дм ³ | Р _{общ} дм ³ | NH ₄ ⁺ мг N / дм ³ | NO ₃ ⁻ мг N / дм ³ | Fe* |
|------------|---------------------|------|-------|--------|--------------------------------|---|-------------------------------------|--|--|---------|
| | | | мS/m | | | | | | | (град.) |
| 1 | д. Новинки | 7.39 | 68 | 7 | 1 49 | 0 07 | 0 11 | 0.11 | 16.8 | - |
| 2 | д. Савватьево | 6 82 | 29.2 | 15 | 3 79 | 0 03 | 0 04 | 0.05 | 1.46 | 0.05 |
| 3 | Оршинский | 5.89 | 12.4 | 10 | 1.82 | 0 05 | 0 06 | 0.04 | 0.19 | 0 1 |
| 4 | д. Поповское | 7.8 | 83.1 | 10 | 3.5 | 0 06 | 0 16 | 0.09 | 21.9 | 0 11 |
| 5 | д. Никольское | 7.6 | 61.1 | 12 | 5.5 | 2 99 | 6 20 | 0.08 | 4.97 | 0.13 |
| 6 | д. Окулово | 6.97 | 33 3 | 15 | 1 48 | 0 05 | 0 07 | 0.06 | 0 12 | 0.1 |
| 7 | д. Кудрявцево | 7.61 | 69.6 | 10 | 1.3 | 0 02 | 0 07 | 0.28 | 0.61 | - |
| 8 | д. Орешково | 6 7 | 51 3 | 10 | 3 5 | 0 01 | 0 11 | 0 10 | 1 49 | 0 26 |
| 9 | пристань Топорок | 7.1 | 44.17 | 10 | 2 14 | 0 01 | 0 04 | 0.28 | 0.39 | 0.11 |
| 10 | б/о завода Москинап | 8.13 | 43.3 | 30 | 6 93 | 0 05 | 0 06 | 0.16 | 0 24 | 0 35 |
| 11 | д. Юрятино | 7.37 | 81.7 | 15 | 7 34 | 0 03 | 0 12 | 0.21 | 14.5 | 0 15 |
| 12 | СНТ «Рябеево» | 7.24 | 61.6 | 12 | 1 49 | 0 02 | 0 04 | 0.07 | 0.23 | 1.2 |
| 13 | с. Никифоровское | 6 53 | 62.8 | 5 | 12.54 | 0 04 | 0 05 | 0.06 | 0 13 | 0 46 |
| 14 | д. Неготино | 7.54 | 77 | 30 | 5 28 | 0 69 | 0 77 | 0 45 | 17.9 | - |
| 15 | д. Каменка | 7.5 | 55.18 | 5 | 04 | 0 03 | 0 04 | 0.03 | 11 2 | - |
| 16 | д. Каменка | 7.1 | 74.2 | 15 | 2.77 | 0 60 | 0 07 | 0 | 16.5 | - |

| | | | | | | | | | | |
|----|-------------------------------|------|-------|----|------|------|------|------|------|------|
| 17 | д. Мятлево | 7.94 | 51 2 | 10 | 3 63 | 0 02 | 0 05 | 0 01 | 2 96 | - |
| 18 | д. Головино | 7.47 | 69.3 | 10 | 1.3 | 0 02 | 0 02 | 0.31 | 0.72 | - |
| 19 | д. Игуменка | 7.75 | 42.4 | 14 | 2 48 | 0 03 | 0 07 | 0.49 | 0 12 | 0 31 |
| 20 | с. Городня, урез | 7.19 | 111 5 | 10 | 1 82 | 0 04 | 0 06 | 0 | 20.4 | 0 10 |
| 21 | с. Городня, больница | 7.07 | 123 | 10 | 3 | 0 08 | 0 13 | 0.25 | 20.6 | 008 |
| 22 | д. Тепилово | 7.9 | 131 8 | 10 | 1.7 | 0 17 | 0 22 | 0.29 | 22.0 | 0 07 |
| 23 | с. Козлово | 8.8 | 32.9 | 33 | 4.5 | 0 01 | 0 08 | 0.09 | 2.6 | 0 14 |
| 24 | д. Курьяново | 6.87 | 56 | 12 | 3 8 | 0 01 | 0 04 | 0 72 | 0 6 | 0 14 |
| 25 | д. Бушмино | 6.3 | 8 6 | 15 | 2.9 | 0 03 | 0.13 | 0.42 | 0.3 | 0.65 |
| 26 | д. Койдиново | 7 9 | 37.3 | 3 | 0 88 | 0 07 | 0 14 | 0.09 | 2 1 | 0 1 |
| 27 | д. Терехово | 6.88 | 88.4 | 20 | 8.5 | 0 13 | 0 16 | 0.11 | 15 6 | 0 07 |
| 28 | д. Щелково | 7.90 | 60 5 | 7 | 2 04 | 0 06 | 0 12 | 0 10 | 21.3 | 0 08 |
| 29 | д. Шуклово | 7.5 | 197 2 | 7 | 2.7 | 0 03 | 0.12 | 0.30 | 0.9 | 0.21 |
| 30 | с. Вахонино | 8 | 51 7 | 0 | 1 6 | 0 03 | 0 03 | 0 08 | 25.2 | 0 15 |
| 31 | с. Вахонино | 5.99 | 94 | 5 | 3 96 | 0 03 | 0 58 | 0.1 | 1.06 | 0 17 |
| 32 | б/о Раздолье | 6.8 | 51.6 | 10 | 2.97 | 0 02 | 0.04 | 0.07 | 1 83 | 0 04 |
| 33 | с. Селихово | 6.72 | 107 6 | 5 | 5.61 | 0 02 | 0 11 | 0.03 | 6 58 | 0 05 |
| 34 | г. Конаково у школы | 7.1 | 118 | 5 | 1.9 | 0 02 | 0 05 | 0.11 | 1.69 | 0 11 |
| 35 | г. Конаково, Кооперативная | 7.7 | 76.5 | 10 | 2 | 0 12 | 0 15 | 0.12 | 0 08 | 0 05 |
| 36 | г. Конаково, мост Октябрьский | 7.6 | 92.4 | 5 | 1.9 | 0 04 | 0 04 | 0 06 | 0.43 | 0 19 |
| 37 | г. Конаково, бор | 7 3 | 29 4 | 7 | 2 1 | 0 07 | 0 11 | 0 09 | 0.12 | 0 07 |
| 38 | г. Конаково, парк | 7.32 | 39 5 | 40 | 7 37 | 0 07 | 0 11 | 0.29 | 0 12 | 1 41 |
| 39 | СНТ «Медик» | 7 73 | 89.3 | 10 | 1.98 | 0 03 | 0.05 | 0.02 | 4 17 | 0 |
| 40 | с. Дмитрова Гора | 6.23 | 91.7 | 10 | 3.14 | 0 28 | 0 40 | 0 24 | 8 87 | 0 04 |
| 41 | д. Сенинское | 6.45 | 67 7 | 5 | 0 49 | 0 12 | 0 23 | 0.02 | 5.47 | 0 05 |
| 42 | д. Заборовье | - | 63 3 | 8 | 8 25 | 0 12 | 0 38 | 0 26 | 1 91 | 1 0 |

* Прочерк в графе означает: компонент в период отбора проб в лаборатории НИС не делали

Таблица 5. Солевой состав воды родника Школа, 2010 год

| дата отбора | Cl ⁻ мг/л | SO ₄ ²⁻ мг/л | HCO ₃ ⁻ мг/л | K ⁺ мг/л | Na ⁺ мг/л | Mg ²⁺ мг/л | Ca ²⁺ мг/дм ³ | Минерализация мг/л |
|-------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|--|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 4.1.10 | 46.8 | 174 | 451 | - | - | 26.8 | 148 | 864 |
| 24.1.10 | 58 2 | 164 | 462 | 6.5 | 30 5 | 43 4 | 153 | 927 |
| 25.1.10 | 51.3 | 168 | 442 | 28 | - | 43.8 | 144 | 887 |
| 16.2.10 | 49.0 | 228 | 464 | 72 | - | 41 | 152 | 1014 |
| 25.2.10 | 48.0 | 188 | 470 | 9 | 32 | 41 | 152 | 948 |
| 19.3.10 | 48 0 | 159 | 476 | 7 | 30 | 61 | 117 | 905 |
| 23.3.10 | 46.0 | 168 | 445 | 6 | 29 | 39.6 | 140 | 881 |
| 24.3.10 | 46.0 | 168 | 445 | 48 | - | 39.6 | 140 | 894 |
| 25.3.10 | 46.0 | 159 | 464 | 43 | - | 36 | 152 | 907 |
| 26.3.10 | 46.0 | 230 | 464 | 79 | - | 36 | 152 | 1014 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------|------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|
| 29.3.10 | 41.0 | 243 | 439 | 93 | - | 33.6 | 140 | 997 |
| 30.3.10 | 40.0 | 219 | 445 | 80 | - | 36 | 138 | 965 |
| 31.3.10 | 41.0 | 115 | 421 | 24 | - | 36 | 132 | 776 |
| 1.4.10 | 39.0 | 123 | 421 | 34 | - | 31.2 | 136 | 791 |
| 2.4.10 | 38.0 | 114 | 415 | 21 | - | 34.8 | 132 | 761 |
| 5.4.10 | 42.0 | 106 | 439 | 27 | - | 34 | 136 | 790 |
| 6.4.10 | 41.0 | 99 | 403 | 8.8 | - | 34 | 136 | 728 |
| 7.4.10 | 41.0 | 101 | 439 | 5.5 | 29 | 34 | 144 | 800 |
| 8.4.10 | 43.0 | 113 | 439 | 6.5 | 30 | 34 | 144 | 816 |
| 9.4.10 | 44.0 | 138 | 439 | 7 | 30 | 34 | 144 | 842 |
| 10.4.10 | 43.0 | 136 | 439 | 28 | - | 34.8 | 146 | 833 |
| 13.4.10 | 42.0 | 132 | 427 | 23 | - | 42 | 132 | 804 |
| 14.4.10 | 43.0 | 133 | 427 | 6.5 | 30 | 38 | 144 | 828 |
| 15.4.10 | 43.0 | 144 | 430 | 5.5 | 29.5 | 37 | 148 | 843 |
| 16.4.10 | 44.0 | 140 | 439 | 5.5 | 30 | 36 | 144 | 844 |
| 19.4.10 | 44.0 | 128 | 451 | 6 | 30 | 47 | 130 | 842 |
| 20.4.10 | 47.0 | 122 | 445 | 8.5 | 39 | 34 | 148 | 851 |
| 21.4.10 | 47.0 | 116 | 451 | 29 | - | 35 | 144 | 829 |
| 22.4.10 | 47.0 | 144 | 451 | 39 | - | 37 | 144 | 870 |
| 23.4.10 | 46.0 | 126 | 439 | 23 | - | 40 | 140 | 821 |
| 27.4.10 | 46.0 | 153 | 439 | 43 | - | 41 | 134 | 864 |
| 28.4.10 | 47.0 | 157 | 439 | 46 | - | 39.6 | 136 | 873 |
| 7.5.10 | 47.0 | 149 | 439 | 42 | - | 37.2 | 140 | 862 |
| 13.5.10 | 44.0 | 159 | 139 | 36 | - | 40.8 | 140 | 567 |
| 6.6.10 | 48.0 | 115 | 439 | - | - | 31.6 | 156 | 821 |
| 11.6.10 | 46.0 | 187 | 464 | 6.5 | 30 | 35 | 152 | 929 |
| 18.6.10 | 5.8 | 286 | 439 | 12 | - | 27.6 | 212 | 991 |
| 29.6.10 | 43.0 | 131 | 458 | 19 | - | 41 | 148 | 846 |
| 5.7.10 | 46.0 | 197 | 464 | 10 | 17 | 41 | 152 | 932 |
| 4.8.10 | 48.0 | 146 | 451 | 10 | 34 | 13.2 | 130 | 839 |
| 9.9.10 | 43.0 | 165 | 451 | - | - | 43.8 | 152 | 860 |
| 11.10.10 | 45.0 | 187 | 451 | 61 | - | 39 | 140 | 929 |
| 1.11.10 | 48.0 | 200 | 464 | 6 | 30.6 | 37 | 152 | 946 |
| 13.11.10 | 53.0 | 159 | 451 | 10 | 39.1 | 43 | 144 | 905 |
| 15.11.10 | 53.0 | 131 | 464 | 6.5 | 34 | 36 | 148 | 879 |
| 9.12.10 | 49.0 | 190 | 439 | 48 | - | 40 | 148 | 922 |

Таблица 6. Общие характеристики и содержание биогенных веществ, родник Школа, 2010 год

| Дата отбора | рН | ЭПР мS/м | Са ²⁺ + Mg ²⁺ ммоль/дм ³ | РО ₄ ³⁻ мг P/дм ³ | Р общ. мг P/дм ³ | NH ₄ ⁺ | NO ₂ ⁻ мг N/дм ³ | NO ₃ ⁻ | Fe общ. мг/ | цветн. (град.) | ПО | |
|-------------|------|-------------|--|---|--------------------------------|------------------------------|--|------------------------------|----------------|-------------------|------|-----------------|
| | | | | | | | | | | | мг O | дм ³ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | 8 | 9 | 10 | 11 | |
| 4.1.10 | 7.18 | 124 | 9.6 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.011 | 3.75 | 0.03 | 7 | 1.5 | |
| 24.1.10 | 7.10 | 119 | 11.2 | 0.02 | 0.07 | 0.4 | 0.002 | 2.15 | 0.04 | 5 | 1.4 | |
| 25.1.10 | 7.20 | 121 | 10.8 | 0.01 | 0.03 | 0.02 | 0.009 | 2.24 | 0.04 | 6 | 1.9 | |
| 16.2.10 | 7.10 | 130 | 10.9 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.003 | 1.90 | 0.06 | 3 | 1.9 | |
| 25.2.10 | 7.04 | 121 | 10.9 | 0.02 | 0.07 | 0.00 | 0.001 | 1.72 | 0.03 | 5 | 1.7 | |
| 19.3.10 | 7.20 | 135 | 10.9 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.002 | 1.58 | 0.04 | 5 | 1.9 | |
| 23.3.10 | 7.20 | 117 | 10.3 | 0.02 | 0.04 | 0.01 | 0.002 | 1.56 | 0.03 | 4 | 2 | |
| 24.3.10 | 7.20 | 143 | 10.3 | 0.02 | 0.04 | 0.01 | 0.002 | 1.60 | 0.03 | 4 | 2 | |
| 25.3.10 | 7.20 | 126 | 10.6 | 0.02 | 0.05 | 0.00 | 0.002 | 1.60 | 0.03 | 2 | 1.6 | |
| 26.3.10 | 7.20 | 132 | 10.6 | 0.02 | 0.04 | 0.00 | 0.003 | 1.50 | 0.05 | 4 | 1.7 | |
| 29.3.10 | 7.20 | 123 | 9.75 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.002 | 1.54 | 0.09 | 4 | 1.6 | |
| 30.3.10 | 7.20 | 122 | 9.85 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.002 | 1.58 | 0.02 | 3 | 1.7 | |
| 31.3.10 | 7.20 | 104 | 9.55 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.001 | 1.57 | 0.02 | 4 | 1.5 | |
| 1.4.10 | 7.30 | 126 | 9.36 | 0.02 | 0.08 | 0.00 | 0.001 | 1.54 | 0.02 | 4 | 1.5 | |
| 2.4.10 | 7.40 | 118 | 9.45 | 0.02 | 0.06 | 0.02 | 0.001 | 1.35 | 0.04 | 4 | 1.6 | |
| 5.4.10 | 7.20 | 119 | 9.59 | 0.02 | 0.08 | 0.02 | 0.001 | 1.31 | 0.03 | 4 | 0.9 | |
| 6.4.10 | 7.20 | 138 | 9.59 | 0.02 | 0.05 | 0.01 | 0.001 | 1.29 | 0.01 | 4 | 0.9 | |
| 7.4.10 | 7.20 | 123 | 9.99 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.001 | 1.35 | 0.02 | 2 | 0.8 | |
| 8.4.10 | 7.20 | 149 | 9.99 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.001 | 1.40 | 0.03 | 2 | 0.5 | |
| 9.4.10 | 7.20 | 96 | 9.99 | 0.02 | 0.09 | 0.02 | 0.001 | 1.42 | 0.03 | 2 | 0.8 | |

Таблица 6, продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|----------|------|-----|------|-------|------|------|-------|------|----|-----|
| 10.4.10 | 7.30 | 98 | 10.1 | 0.013 | 0.10 | 0.00 | 0.001 | 0.02 | 2 | 0.7 |
| 13.4.10 | 7.10 | 98 | 10.0 | 0.02 | 0.05 | 0.04 | 0.001 | 0.02 | 1 | 1.1 |
| 14.4.10 | 7.40 | 111 | 10.3 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.001 | 0.03 | 1 | 0.8 |
| 15.4.10 | 7.40 | 108 | 10.4 | 0.02 | 0.05 | 0.01 | 0.000 | 0.03 | 2 | 0.7 |
| 16.4.10 | 7.40 | 104 | 10.2 | 0.01 | 0.10 | 0.04 | 0.001 | 0.02 | 2 | 0.9 |
| 19.4.10 | 7.30 | 111 | 10.4 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.001 | 0.03 | 2 | 0.9 |
| 20.4.10 | 7.30 | 119 | 10.2 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.001 | 0.02 | 1 | 0.9 |
| 21.4.10 | 7.10 | 129 | 10.1 | 0.02 | 0.03 | 0.04 | 0.001 | 0.02 | 1 | 0.8 |
| 22.4.10 | 7.10 | 122 | 10.2 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.001 | 0.02 | 5 | 0.8 |
| 23.4.10 | 7.30 | 106 | 10.3 | 0.02 | 0.05 | 0.04 | 0.001 | 0.03 | 3 | 0.9 |
| 27.4.10 | 7.10 | 101 | 10.1 | 0.02 | 0.05 | 0.03 | 0.001 | 0.03 | 2 | 0.8 |
| 28.4.10 | 7.30 | 105 | 10.0 | 0.02 | 0.07 | 0.03 | 0.000 | 0.03 | 2 | 0.8 |
| 7.5.10 | 7.10 | 122 | 10.0 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.001 | 0.01 | 1 | 0.7 |
| 13.5.10 | 7.30 | 107 | 10.3 | 0.02 | 0.13 | 0.01 | 0.001 | 0.05 | 1 | 1.1 |
| 6.6.10 | 7.10 | 110 | 10.4 | 0.02 | 0.06 | 0.16 | 0.04 | 0.03 | 4 | 1.2 |
| 11.6.10 | 7.20 | 113 | 10.5 | 0.01 | 0.15 | 0.00 | 0.001 | 0.03 | 2 | 0.6 |
| 29.6.10 | 7.10 | 106 | 10.8 | 0.02 | 0.07 | 0.02 | 0.001 | 0.04 | 1 | 0.6 |
| 5.7.10 | 7.10 | 118 | 11.0 | 0.02 | 0.10 | 0.01 | 0.002 | 0.04 | 5 | 0.7 |
| 4.8.10 | 7.10 | 106 | 7.6 | 0.02 | 0.12 | 0.19 | 0.002 | 0.05 | 1 | 0.3 |
| 9.9.10 | 7.60 | 110 | 11.2 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.002 | 0.04 | 4 | 1.4 |
| 11.10.10 | 7.10 | 129 | 10.2 | 0.02 | 0.03 | 0.16 | 0.002 | 0.01 | 2 | 0.4 |
| 1.11.10 | 7.20 | 131 | 10.6 | 0.02 | 0.06 | 0.19 | 0.003 | 0.02 | 1 | 0.9 |
| 13.11.10 | 7.20 | 119 | 10.7 | 0.01 | 0.03 | 0.16 | 0.005 | 0.01 | 1 | 1.0 |
| 15.11.10 | 7.20 | 142 | 10.4 | 0.02 | 0.03 | 0.16 | 0.002 | 0.02 | 1 | 0.9 |
| 9.12.10 | 7.20 | 141 | 10.7 | 0.01 | 0.03 | 0.17 | 0.000 | 0.05 | 2 | 1.0 |

Приложение 3

Таблица 1. Солевой состав воды родниковых колодцев, мг/дм³

| № на карте | Местоположение | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ +K ⁺ | M |
|------------|-------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|---------------------------------|------|
| 43 | мкр. Зеленый бор | 9.4 | 48.5 | 165 | 55 | 13.4 | 11 | 328 |
| 44 | д. Верханово | 25.5 | 44.1 | 586 | 146 | 31.6 | 40 | 880 |
| 45 | д. Безбородово | 204 | 50.2 | 319 | 142 | 24.4 | 50.5 | 883 |
| 46 | д. Н.-Семеновское | 15.0 | 15.6 | 91.5 | 37 | 5.5 | 20 | 223 |
| 47 | д. Староселье | 108 | 3.6 | 378 | 88 | 26.8 | 148 | 778 |
| 48 | д. Васильково | 16.1 | 42 | 482 | 39 | 124 | 30 | 738 |
| 49 | д. Тованово | 4.4 | 30 | 329 | 84 | 19.5 | 2 | 474 |
| 50 | д. Видогощи | 1.23 | 3.3 | 58 | 10 | 0.2 | 1.8 | 145 |
| 51 | д. Орешково | 15.5 | 32 | 61 | 36 | 11.0 | 4 | 185 |
| 52 | д. Перетрусово | 54.8 | 28.2 | 720 | 184 | 56.1 | 28 | 1071 |
| 53 | с. Даниловское | 14.5 | 51 | 543 | 114 | 32.9 | 47 | 803 |
| 54 | д. Ст. Погост | 71 | 57.7 | 525 | 182 | 40.3 | 30 | 1216 |
| 55 | д. Цветково | 58.6 | 89 | 360 | 94 | 2.4 | 29.3 | 751 |
| 56 | д. Калистово | 18.5 | 115 | 378 | 108 | 30.5 | 60 | 745 |
| 57 | д. Горохово | 35 | 488 | 342 | 36.6 | 124 | 49 | 940 |
| 58 | д. Нестерово | 27 | 3,7 | 525 | 104 | 24,4 | 17 | 704 |
| 59 | с. Городня | 97 | 54 | 451 | 148 | 29.3 | 74 | 927 |
| 60 | с. Завидово | 400 | 63.0 | 427 | 200 | 73.2 | 90 | 1276 |
| 61 | д. Кочедыково | 17.3 | 30 | 305 | 72 | 87.6 | 2 | 543 |
| 62 | д. Шуклово | 139 | - | 366 | 134 | 79.3 | 96 | 747 |
| 63 | СНТ «Долинки» | 3.5 | 23 | 268 | 66 | 11 | 25 | 399 |
| 64 | д. Сорокопенино | 33 | 69.4 | 360 | 113.4 | 33.3 | 12 | 620 |
| 65 | д. Фильмоново | 42 | 48 | 354 | 136 | 17.1 | 15 | 615 |
| 66 | д. Пенье | 38 | 120 | 464 | 112 | 3.4 | 41.5 | 851 |
| 67 | д. Крутец | 45 | 20 | 470 | 108 | 46.4 | 137 | 895 |
| 68 | д. Коробейкино | 28 | 46.2 | 500 | 108 | 51.2 | 4 | 738 |
| 69 | д. Юрьево | 44.3 | 68 | 842 | 152 | 19.5 | 156 | 1284 |
| 70 | д. М. Новоселье | 53.2 | 23 | 470 | 116 | 26.8 | 104 | 830 |
| 71 | д. Федоровское | 50.6 | 84 | 348 | 116 | 28.1 | 14 | 645 |
| 72 | д. Чублово | 62.6 | 54 | 671 | 160 | 41.5 | 74 | 1112 |
| 73 | д. Марьино | 6.3 | 51 | 549 | 124 | 41.5 | 15 | 791 |
| 74 | д. Горбасьево | 17 | 69 | 458 | 102 | 35.4 | 43 | 753 |

Таблица 2. Общие характеристики и содержание биогенных веществ

| № на карте | Местоположение | рН | ЭПР | цветн. | ПО | PO ₄ | P _{общ} | NH ₄ ⁺ | NO ₃ ⁻ | Fe _{общ} |
|------------|-------------------|------|-------|---------|--------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------|
| | | | mS/m | (град.) | мг O/ дм ³ | мг P / дм ³ | мг P / дм ³ | мг N / дм ³ | мг / дм ³ | |
| 43 | мкр. Зеленый бор | 6.86 | 42.7 | 23 | 8.5 | 0.03 | 0.06 | 0.22 | 6.05 | 0.065 |
| 44 | д. Верханово | 7.7 | 122.2 | 10 | 2.8 | 0.01 | 0.05 | 0.30 | 1.40 | 0.22 |
| 45 | д. Безбородово | 6.93 | 143.4 | 18 | 4.18 | 0.042 | 0.07 | 0.80 | 23.6 | 2.99 |
| 46 | д. Н.-Семеновское | 6.13 | 35 | 7 | 4.95 | 0.13 | 0.13 | 0.11 | 0.02 | - |
| 47 | д. Староселье | 7.36 | 46 | 90 | 33.8 | 0.84 | 1.04 | 0.46 | 5.15 | - |

| | | | | | | | | | | |
|----|-----------------|------|-------|----|------|------|------|-------|------|------|
| 48 | д. Васильково | 7.14 | 89.5 | 10 | 2.34 | 0.01 | 0.02 | 0.27 | 1.08 | - |
| 49 | д. Тованово | 6.9 | 56.7 | 5 | 4.95 | 0.04 | 0.05 | 0.13 | 0.86 | - |
| 50 | д. Видогощи | 6.39 | 18.8 | 40 | 2.8 | 0.16 | 0.19 | 0.65 | 4.20 | - |
| 51 | д. Орешково | 6.43 | 28.6 | 20 | 4.95 | 0.04 | 0.06 | 0.39 | 5.6 | - |
| 52 | д. Перетрусово | 7.07 | 125.6 | 15 | 3.67 | 0.01 | 0.02 | 1.03 | 0.2 | - |
| 53 | с. Даниловское | 7.4 | 86.9 | 10 | 3 | 0.01 | 0.05 | 0.179 | 0.10 | 0.6 |
| 54 | д. Ст. Погост | 7.16 | 140 | 5 | 1.84 | 0.09 | 0.15 | 0.16 | 70.1 | - |
| 55 | д. Цветково | 6.73 | 80.1 | 0 | 2.4 | 0.09 | 0.05 | 0.40 | 17.9 | - |
| 56 | д. Калистово | 7.48 | 81.4 | 5 | 1.92 | 0.02 | 0.06 | 0.55 | 7.72 | - |
| 57 | д. Горохово | 7.3 | 97 | 7 | 1.65 | 0.03 | 0.17 | 0.01 | 11 | - |
| 58 | д. Нестерово | 7.14 | 84.6 | 23 | 9.9 | 0.10 | 0.14 | 1.9 | 0.2 | - |
| 59 | с. Городня | 7.12 | 122 | 5 | 2.38 | 0.07 | 0.09 | 0.16 | 16.5 | - |
| 60 | с. Завидово | 7.35 | 214 | 30 | 6.12 | 0.05 | 0.05 | 0.28 | 22.0 | - |
| 61 | д. Кочедыково | 8.1 | 72.3 | 13 | 1.7 | 0.02 | 0.12 | 0.22 | 8.2 | 0.21 |
| 62 | д. Шуклово | 7.5 | 138 | 0 | 2.45 | 0.13 | 0.13 | 0.18 | 3.27 | - |
| 63 | СНТ «Долинки» | 7.1 | 54.3 | 60 | 21.5 | 0.28 | 0.40 | 0.4 | 0.14 | - |
| 64 | д. Сорокопенино | 7.1 | 84.9 | 7 | 1.4 | 0.01 | 0.04 | 0.28 | 2.30 | 0.1 |
| 65 | д. Филимоново | 7.25 | 65.1 | 20 | 4.49 | 0.06 | 0.07 | 0.38 | 0.58 | - |
| 66 | д. Пенье | 7.45 | 86.2 | 25 | 3.84 | 0.09 | 0.09 | 0.560 | 5.01 | 0.08 |
| 67 | д. Крутец | 7.3 | 135.8 | 20 | 9.78 | 0.06 | 0.10 | 0.5 | 15.3 | 0.2 |
| 68 | д. Коробейкино | 6.87 | 82 | 35 | 3.56 | 0.05 | 0.07 | 2.85 | 0.18 | - |
| 69 | д. Юрьево | 7.27 | 175 | 25 | 16.5 | 0.02 | 0.04 | 1.02 | 0.27 | - |
| 70 | д. М. Новоселье | 7.36 | 119.3 | 15 | 8.1 | 0.05 | 0.05 | 0.3 | 8.43 | - |
| 71 | д. Федоровское | 7.63 | 98.7 | 7 | 5.8 | 0.02 | 0.03 | 1.01 | 0.78 | - |
| 72 | д. Чублово | 7.35 | 89.5 | 5 | 4.06 | 0.08 | 0.08 | 0.54 | 10.7 | 1.47 |
| 73 | д. Марьино | 7.85 | 66.3 | 10 | 2.04 | 0.02 | 0.03 | 0.49 | 0.73 | 1.03 |
| 74 | д. Горбасьево | 7.33 | 90.5 | 23 | 8 | 0.05 | 0.06 | 0.305 | 6.42 | 0.37 |

Примечание: прочерк означает, что на момент сбора пробы компонент в лаборатории не определяли.

Приложение 4

Таблица 1. Химический состав АО (1994-2007), осадкомерный пост СНТ «Ремонтник»

| Дата отбора | pH | HCO ₃ | SO ₄ | Cl | Ca | Mg | NO ₃ | NH ₄ | P _{общ} | ЭПР |
|-------------|------|--------------------|-----------------|------|-----|-----|-----------------|----------------------|------------------|----------------------|
| | | мг/дм ³ | | | | | | мг N/дм ³ | | мг P/дм ³ |
| дождь | | | | | | | | | | |
| 05.96 | 6.32 | 36.6 | - | 0.4 | 2.0 | 0.4 | 1.73 | 2.62 | 0,01 | 11.2 |
| 06.97 | 6.32 | 6.05 | - | 5.5 | 1.5 | 1.2 | 0.53 | 0.27 | - | 1.27 |
| 07.98 | 7.16 | 6.1 | - | 2.8 | 4.0 | - | 0.18 | 1.27 | - | - |
| 08.99 | 6.70 | 6.1 | 12.0 | 2.0 | 6.0 | 1.2 | 0.3 | 0.67 | 0.01 | - |
| 10.99 | 6.20 | 18.3 | 15.0 | 1.3 | 2 | 1.2 | 0.33 | 2.11 | 0.01 | 6.0 |
| 06.01 | 5.77 | 12.2 | 2.9 | 0.65 | 2 | 1.2 | 0.22 | 0.56 | 0.01 | 3.1 |
| 06.01 | 5.81 | 6.1 | 0.11 | 0.65 | 1 | 0.6 | 0.36 | 0.57 | 0.01 | 1.51 |
| 06.01 | 5.81 | 6.1 | 0.11 | 0.65 | 1 | 0.6 | 0.6 | 0.57 | 0.01 | 1.51 |
| 07.02 | 6.14 | 12.2 | 2.0 | 0.7 | 3 | 1.2 | 0.29 | 1.31 | 0.08 | 3.84 |
| 05.03 | 6.96 | 2.1 | 18.0 | 4.1 | 6 | 2.4 | 0.64 | 0.34 | 0.01 | 5.4 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|------|-------|------|------|-----|------|------|------|-------|------|
| 08.03 | 6.72 | 15.3 | 0.8 | 0.7 | 3 | 0.6 | 0.18 | 0.31 | 0.02 | 1.52 |
| 09.03 | 4.69 | 18.3 | 9.7 | 1.3 | 4 | 1.2 | 0.2 | 0.01 | 0.00 | 6.16 |
| 05.04 | 6.74 | 24.4 | 0.61 | 1.7 | 3 | 3.0 | 0.25 | - | 0.02 | 3.92 |
| 07.04 | 6.95 | 15.3 | 0.3 | 9 | 4 | 1.2 | 0.33 | - | 0.02 | 7.6 |
| 09.04 | 6.38 | 15.3 | 26 | 0.01 | - | - | 0.83 | 0.42 | 0.02 | 5.77 |
| 05.05 | 6.33 | 18.3 | 5.2 | 0.01 | 6 | - | 14.1 | 0.35 | 0.01 | 5.06 |
| 05.05 | 5.70 | 24.4 | 17.0 | 0.01 | 9 | 0.6 | 0.46 | 0.67 | 0.03 | 7.41 |
| 05.05 | 6.33 | 18.3 | 5.2 | 0.01 | 6.0 | 0.0 | 14.1 | 0.35 | 0.06 | 5.1 |
| 07.06 | 5.84 | 21.35 | 3.9 | 1.5 | 9.0 | 1.83 | 0.37 | 0.81 | 0.05 | 5.4 |
| снег | | | | | | | | | | |
| 02.94 | 7.60 | 24.4 | 11 | 1.4 | 6 | 1.2 | 1.32 | 2.44 | 0.05 | 2.6 |
| 02.95 | 7.35 | 3.05 | 11 | 0.7 | 4 | 2.4 | 0.28 | 0.38 | 0.1 | 2.5 |
| 03.95 | 5.54 | 12.2 | 11 | 0.7 | 2 | 1.2 | 0.22 | 0.37 | 0.04 | 1.2 |
| 03.95 | 6.60 | 12.2 | 10.4 | 0.7 | 2 | 2.4 | 0.1 | 0.33 | 0.1 | 1.8 |
| 03.95 | 5.65 | 9.15 | 9.9 | 9.2 | 2 | 1.2 | 0.36 | 0.45 | 0.31 | 3.4 |
| 03.95 | 6.15 | 6.1 | 11.6 | 0.7 | 2 | 2.4 | 0.06 | 0.46 | 0.07 | 1.88 |
| 03.95 | 6.18 | 9.15 | 10.7 | 0.7 | 2 | 1.2 | 0.27 | 0.55 | 0.1 | 1.3 |
| 04.96 | 7.86 | 6.1 | - | 0.8 | 2 | 0.6 | 0.22 | 0.44 | 0.06 | 1.01 |
| 03.98 | 8.22 | 24.4 | 19.6 | 2.4 | 0.4 | 0.2 | 0.21 | 0.51 | 0.04 | 0.35 |
| 03.99 | 5.66 | 1.52 | - | 1.8 | 4 | 1.2 | 0.4 | 0.84 | 0.03 | 0.81 |
| 03.00 | 6.10 | 6.1 | 10.0 | 1.4 | 2.0 | 0.6 | 0.46 | 0.94 | 0.02 | 1.79 |
| 02.02 | 4.91 | 6.1 | 2.4 | 1.3 | 0.4 | 0 | 0.48 | 0.19 | 0.14 | 1.3 |
| 02.02 | 5.40 | 6.1 | 1.6 | 1.3 | 0.4 | 0.1 | 0.43 | 0.17 | 0.01 | 1.5 |
| 02.02 | 5.39 | 6.1 | 0.5 | 1.3 | 0.4 | 0.1 | 0.26 | 0.21 | 0.01 | 1.2 |
| 02.04 | 6.94 | 18.3 | 0.5 | 0.7 | 4 | 0.6 | 0.43 | 0.65 | 0.02 | 1.76 |
| 03.05 | 6.34 | 9.15 | 4.4 | 5.7 | 2 | 0 | 0.77 | 0.2 | 0.012 | 6.43 |
| 03.07 | 5.20 | 3.05 | 1.9 | 1.1 | 4.0 | 0 | 0.16 | 0.2 | 0.15 | 2.93 |

Таблица 2. Химический состав АО (2008-2013), осадкомерный пост промзона «Белавино»

| Дата отбора | рН | HCO ₃ | SO ₄ | Cl | Ca | Mg | NO ₃ | NH ₄ | Р общ. | ЭПР |
|-------------|------|--------------------|-----------------|------|-----|------|----------------------|-----------------|-----------------------|------|
| | | мг/дм ³ | | | | | мг N/дм ³ | | мг P/ дм ³ | mS/m |
| дождь | | | | | | | | | | |
| 07.08 | 5.84 | 12.2 | 3.2 | 6.0 | 5.0 | 1.83 | 0.17 | 0.37 | 0.02 | 4.4 |
| 08.08 | 4.69 | 21.4 | 5.0 | 9.3 | - | - | 0.08 | 0.57 | 0.01 | 5.1 |
| 05.09 | 6.49 | 18.3 | 13.0 | 1.9 | 6.0 | 2.44 | 0.43 | 0.63 | 0.07 | 4.6 |
| 07.09 | 7.06 | 33,6 | 2.85 | 1.58 | - | - | 0.23 | 0.44 | 0.02 | - |
| 09.09 | 6.61 | 9.15 | 3.8 | 0.6 | 3.0 | 1.22 | 0.11 | 0.06 | 0.04 | 4.9 |
| 10.09 | 7.11 | 18.3 | 2.1 | 1.9 | 4.0 | 2.44 | 0.29 | 0.54 | 0.02 | 5.2 |
| 04.10 | 7.50 | 18.3 | 8.6 | 1.3 | 2.8 | 4.3 | 0.47 | 0.70 | 0.02 | 6.3 |
| 05.10 | 7.30 | 24.0 | 5.4 | 0.7 | 4.0 | 1.22 | 0.29 | 0.49 | 0.03 | 3.6 |
| 06.10 | 7.20 | 18.3 | 0.7 | 2.0 | 5.4 | 0.4 | 0.21 | 0.19 | 0.02 | 3.4 |
| 08.10 | 7.20 | 18.3 | 18 | 2.0 | 2.0 | 3.6 | 0.12 | 0.29 | 0.03 | 3.8 |
| 10.10 | 6.90 | 24.0 | 7.1 | 2.0 | 6.0 | 2.4 | 2.48 | 1.87 | 0.56 | 11.4 |
| 09.11 | 7.30 | 0.4 | 2.0 | 0.7 | 4.1 | 2.38 | 0.09 | 0.60 | 0.02 | 4.0 |
| 06.12 | 7.40 | 18.3 | 1.4 | 0.8 | 4.0 | 1.22 | 0.14 | 0.43 | 0.08 | 2.7 |
| 08.12 | - | 6.1 | 3.2 | 0.0 | 2.2 | 1.34 | 0.27 | 0.43 | 0.00 | 4.2 |
| 08.12 | - | 6.1 | 3.2 | 4.0 | 4.4 | 1.59 | 0.01 | 0.24 | 0.04 | 5.2 |
| 07.13 | 6.90 | 30.5 | - | 3.5 | 6.8 | 1.95 | - | - | 0.02 | 6.4 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-------|------|
| 09.13 | 6.80 | 24.4 | 15.8 | - | 3.2 | 3.42 | - | - | 0.00 | 6.0 |
| Снег | | | | | | | | | | |
| 03.08 | 4.69 | 9.15 | 1.8 | 1.28 | 1.0 | 0 | 0.24 | 0.38 | 0.017 | 1.79 |
| 01.09 | 5.98 | 6.1 | 7.9 | 9.33 | - | - | 0.30 | 0.45 | 0.009 | 4.55 |
| 11.09 | 7.28 | 15.3 | 1.7 | 1.9 | 3.0 | 2.44 | 0.16 | 0.01 | 0.181 | 3.05 |
| 12.10 | 7.40 | 18.3 | 3.3 | 1.3 | 2.0 | 2.4 | 0.32 | 0.46 | 0.02 | 3.3 |
| 02.11 | 7.50 | 9.2 | 0.7 | 2.7 | 3.0 | 0.61 | 0.05 | 0.49 | 0.05 | 1.4 |
| 02.13 | 7.10 | - | 2.5 | 3.2 | - | - | 0.54 | 0.74 | 0 | 4.6 |
| 04.13 | 7.00 | - | 16.2 | 24 | - | - | 1.06 | 2.57 | 0 | 11.1 |

Таблица 3. Изменение показателя pH в атмосферных осадках, СНТ «Ремонтник, 2003 год

| Дата | pH | Дата | pH | Дата | pH | Дата | pH |
|------|------|------|------|-------|------|-------|------|
| 4.1 | 7.04 | 26.2 | 6.33 | 10.9 | 5.41 | 24.11 | 7.63 |
| 13.1 | 6.70 | 23.3 | 6.80 | 20.10 | 7.11 | 8.12 | 6.50 |
| 22.1 | 6.74 | 6.8 | 6.68 | 27.10 | 7.40 | 15.12 | 6.86 |
| 30.1 | 6.69 | 26.8 | 6.43 | 3.11 | 6.62 | 26.12 | 6.61 |
| 14.2 | 6.34 | 28.8 | 6.56 | 19.11 | 8.34 | | |

Таблица 4. Изменение показателя pH в атмосферных осадках, СНТ «Ремонтник, 2004 год

| Дата | pH | Дата | pH | Дата | pH | Дата | pH |
|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| 5.1 | 6.9 | 16.4 | 5.75 | 4.6 | 6.38 | 26.7 | 6.42 |
| 19.1 | 5.84 | 23.4 | 6.65 | 7.6 | 6.29 | 12.8 | 6.79 |
| 26.1 | 7.05 | 30.4 | 6.38 | 16.6 | 6.66 | 17.8 | 6.34 |
| 14.2 | 6.94 | 14.5 | 6.13 | 5.7 | 6.95 | 24.8 | 5.95 |
| 10.3 | 5.56 | 18.5 | 6.42 | 6.7 | 6.7 | 7.9 | 6.83 |
| 31.3 | 6.45 | 24.5 | 6.74 | 12.7 | 7.22 | 18.10 | 5.14 |
| 12.4 | 6.58 | 30.5 | 5.6 | 16.7 | 6.96 | 19.11 | 5.53 |

Таблица 5. Изменение показателя pH в атмосферных осадках, промзона «Белавииска», 2010 год

| Дата | pH | Дата | pH | Дата | pH | Дата | pH |
|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| 16.2 | 7.90 | 29.3 | 7.10 | 17.5 | 7.30 | 20.6 | 7.50 |
| 24.2 | 7.20 | 4.4 | 7.20 | 31.5 | 7.40 | 26.6 | 7.40 |
| 15.3 | 7.00 | 12.4 | 7.40 | 7.6 | 7.50 | 11.7 | 7.10 |
| 22.3 | 7.20 | 10.5 | 7.40 | 14.6 | 7.30 | 22.11 | 7.10 |

Таблица 6. Изменение показателя pH в атмосферных осадках, промзона «Белавииска», 2011 год

| Дата | pH | Дата | pH | Дата | pH | Дата | pH |
|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| 9.1 | 7.60 | 28.3 | 7.00 | 27.6 | 7.50 | 13.10 | 7.50 |
| 19.1 | 7.30 | 15.4 | 7.10 | 31.8 | 7.30 | 21.10 | 7.40 |
| 26.1 | 7.20 | 3.5 | 7.20 | 15.9 | 7.30 | 10.11 | 6.10 |
| 6.2 | 7.50 | 19.5 | 7.40 | 22.9 | 7.30 | 17.11 | 6.00 |
| 9.2 | 7.60 | 24.5 | 7.30 | 29.9 | 7.40 | 9.12 | 7.20 |
| 15.2 | 7.50 | 26.5 | 7.20 | 6.10 | 7.30 | 15.12 | 7.30 |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдулов А.Х., Учаев В.К. Изучение условий подземного питания малых рек с использованием русловых геофизических наблюдений. Современные проблемы гидрогеологии и гидрогеомеханики. Сб. докладов конференции. СПб. 2002. С. 189-198.
- Аммонийсодержащие подземные воды (условия формирования и распространения) / Закутин В.П. [и др.] // Водные ресурсы. 1995. Т. 22. № 6. с. 726-737.
- Архипов Л.П. Использование подземных вод в Тверской области // Информационный бюллетень № 3. Тверь, ТГТУ. 2001. С. 24–27.
- Атлас Тверской области. Масштаб 1: 100 000. ООО АСТ-Пресс. 2002. 279 с.
- Ахметьева Н.П., Лапина Е. Е. Факторы, определяющие подверженность грунтовых вод загрязнению соединениями азота // Мелиорация и водное хозяйство. 2002. № 2. С. 16 – 18.
- Ахметьева Н.П., Лапина Е. Е., Кузовлев В.В. Эколого - гидрогеологическая оценка родникового стока юго-востока Тверской области // Вести. Тверского гос. технич. Ун-та. Тверь: ТГТУ, 2007. Вып. 10. С. 187 – 194.
- Ахметьева Н.П., Лола М.В., Горещкая А.Г. Загрязнение грунтовых вод удобрениями. М.: Наука, 1991. 100 с.
- Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е., Лола М.В. Экологическое состояние природных вод водосбора Ивановского водохранилища и пути по сокращению их загрязнения. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 240 с.
- Ахметьева Н.П., Лапина Е.Е. Генетическая структура подземного стока в Ивановское водохранилище // Водное хозяйство России. 2013. № 1. С. 33-51.
- Баланс органического вещества, биогенных элементов и микроэлементов в Ивановском водохранилище/ Кадукин А.И. [и др.] // Водные ресурсы. № 4. 1980. С. 120 – 131.
- Балашов Л.С. Роль артезианских вод в питании крупных рек на примере р. Амударьи // Тр. III Всес. Гидрол. Съезда. 1959. Т. IX. С. 146-154.
- Балицкая Т.А., Кузовлев В.В. Живи, родник, живи... Тверское областное отд. ВООП, 2001. 32 с.
- Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Экологическая гидрогеология: Учебник для вузов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 397 с.
- Белоусова А. П. Качество подземных вод: современные подходы. М.: Научный мир, 2001. 339 с.
- Бородулина Г. С. Качество подземных вод // Водные ресурсы республики Карелия и пути их использования для питьевого водоснабжения, Петрозаводск, КНЦ РАН, 2006. С. 127-139.
- Бочаров М.М. Природа Калининской области. Калининиздат, 1951. 125 с.
- Бочевер Ф.М., Лапшин Н.Н., Орадовская А.Е. Защита подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1979. 254 с.
- Булатов Р. В. Об учете роли подземных вод при управлении водосбором // Водное хозяйство России. 1999. Т.1. № 2. С.73 – 81.
- Буряков В.Я. Изучение проницаемости песчано-глинистых отложений в зоне аэрации. Автореф. дис. канд. г.-м. н. М.: МГУ, 1978. 22 с.
- Вивенцова Е.А. Методы оценки подземного стока // Вестник СПб Ун-та. Сер. 7. вып. 4. № 31. СПб. 2004. С. 107 -111.
- Водный кодекс Российской Федерации. М.: Эксмо, 2006. 64 с.
- Ворошилов Ю.И. К оценке взаимосвязи поверхностных и подземных вод: //Тр. IV Всесоюз. Гидролог. съезда. Л.: Гидрометеиздат, 1976. Т. 8. С. 286-287.
- Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии. Учебник. М.: МГУ, 1991. 351 с.
- Гавеман А. В. Московское море. Калинин, 1955. 2-е изд. 140 с.
- Гавич И.К. Гидрогеодинамика. М.: Наука, 1988. 347 с.
- География Тверской области. Тверь, 1992. 288 с.

Геология, минерально-сырьевая база и геоэкология Тверской области //Атлас карт. Комитет по охране природных ресурсов Тверской области. Тверь, 2000. 27 с.

Геологическая карта Тверской области (Карты): Дочетвертичные отложения /Мещерякова И.И., Артемьева Е.С., Фадеева Л.И. Масштаб 1: 500000. СПб, ВСЕГЕИ. 1994.

Гигиенические вопросы использования родников Саратовской области для сельского водоснабжения / Нахарякова М. В. [и др.] // ЗНиСО, ноябрь №11 (224). С. 20 – 22.

Гидрогеология СССР. Т.1. М.: Недра, 1966. 424 с.

Гидрогеология СССР: региональные и инженерно-геологические закономерности / гл. редактор А.В. Сидоренко. ВНИИГИ. М.:

Недра, 1976. вып. 1. Основные закономерности распространения подземных вод на территории СССР (Н.В. Роговская, Б.Н. Архангельский, Я.А. Сырковашина). 656 с.

Гидрогеологические карты и пояснительные записки. Листы О-36-XXV, 0-37-XXV, 0-37- XXXI, Москва, фонды ГУЦР. 1967-1985.

Гидрогеохимия питьевых вод в условиях техногенеза / Рубейкин В.З. [и др.] //сб. н. тр. Всесоюзной конф. Гидрогеологические аспекты в экологии. М.: ВСЕГИНГЕО, 1991. С. 22 - 40.

Гладков Н.Н. Использование подземных вод (состояние изученности, водопотребление, перспективы) // Водные ресурсы Тверской обл. Информац. бюлл. Тверь, 2000. № 1. С. 5-9.

Голодковская Г. А., Елисеев Ю. Б. Геологическая среда промышленных регионов. М.: Недра, 1989. 220 с.

Голубев Г.Н. Геоэкология. М: Геос,1999. 338 с.

Гольдберг В. М., С. Газда. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984. 362 с.

Горецкий Г.И. Формирование долины р. Волги в раннем и среднем антропогене. М: Госгеолтехиздат, 1966. 412 с.

Гордеев П.В., Шемелина В.А., Шулякова О.К. Гидрогеология. М.: ВыкшШк, 1990. 448 с.

Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды в Тверской области в 2010 году // Тверь, Мин-во прир. ресурсов и экологии Тверской области. 2011. 227с.

Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды в Тверской области в 2012 году // Тверь, Мин-во прир. ресурсов и экологии Тверской области. 2013. 208с.

Григорьева И.Л. Особенности водного и уровня режимов Ивановского и Угличского водохранилищ // VII конф. «Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей». М.: РУДН, 2009. С. 19 - 25.

Григорьева И.Л., Лапина Е.Е. Особенности зимнего гидрохимического режима Ивановского водохранилища и его мониторинг // сб. тезисов. Осташков. Симпозиум «Мониторинг окружающей среды и оптимизация природопользования». 1996. С. 131 - 132.

Григорьева И.Л., Бугров А.Н., Лапина Е.Е. Особенности гидродинамического и гидрохимического режимов Шошинского плеса Ивановского водохранилища. МиВХ. № 1. 1999. с. 4 – 6.

Гриневский С.О., Прокофьев В.В. К методике проведения и интерпретации термометрических измерений для выявления зон субкавалной разгрузки //Вест. МГУ, серия 4. Геология. 2005. № 3. С. 55 – 61.

Груздева Л.П. Роль ландшафтно-экологических условий водосборного бассейна водохранилища в формировании качества природных вод // Ландшафтно-экологические исследования и природопользование. 1985. С.45-57.

Дерябин Д.Г., Е.С. Алешина. Применение природных и рекомбинантных люминесцирующих микроорганизмов для биотестирования минеральных вод // Прикладная биохимия и микробиология. 2008. Т. 48. № 4. С.417-421.

Доклад об использовании природных ресурсов и состоянии окружающей среды Тверской области в 2000 году. Тверь. 2001. 269 с.

Доклад об использовании природных ресурсов и состоянии окружающей среды Тверской области в 2001 году. Тверь: Комитет природных ресурсов по Тверской области, 2002. 158 с.

Зайдельман Ф.Р. Эколого – мелиоративное почвоведение гумидных ландшафтов. М.: Агропромиздат, 1991. 320 с.

Зексер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. М.: Научный мир, 2001. 328 с.

Злобина В.Л., Медовар Ю.А. Проблемы мониторинга на месторождениях подземных вод. Разведка и охрана недр. 2013. № 7. С. 35-38.

Иванов А.Н., Неговская Т.А. Гидрология и регулирование стока. М.: Колос, 1970. 286 с.

Иваньковское водохранилище и его жизнь. Л.: Наука, 1978. (Тр. ИБВВ РАН АН СССР. Вып. 34 (37). 304 с.

Иваньковское водохранилище: современное состояние и проблемы охраны. М.: Наука, 2000. 344 с.

Калинин В.М., Ларин С.И., Романова И.М. Малые реки в условиях антропогенного воздействия (на примере Восточного Зауралья). Тюмень: Изд. ТГУ. 1998. 220 с.

Киселев С.А., Бовенко В.А. Отчет Калининской геолого-съёмочной партии о комплексной геолого-гидрогеологической съёмке масштаба 1: 50 000 в пределах листа 0 -37-107-В (1964-1956), в 6-ти томах. М. 1966.

Кислотные выпадения. Долговременные тенденции // Л. Гидрометеиздат. 1990. 438 с.

Климентов П.П., Богданов Г.Я. Общая гидрогеология. М.: Недра, 1977. 357 с.

Ковалевский В.С. Влияние изменений гидрогеологических условий на окружающую среду. М.: Наука, 1994. 138 с.

Ковалевский В.С. Гидрогеологическое обоснование совместного использования поверхностных и подземных вод в Московском регионе // Водные ресурсы. 1996. Т.23. № 4. С. 472-480.

Ковалевский В.С. Комбинированное использование ресурсов поверхностных и подземных вод. М.: Научный мир, 2001. 332 с.

Ковалевский В.С., Ковалевский Ю.В. Оценка, картирование и перспективы использования ресурсов подземных вод водосбора Волги. Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2003. № 3. С. 218-225.

Ковальшева Г.В., Лапина Е.Е. Биомониторинг качества природных и сточных вод в системе водоохранных мероприятий источников водоснабжения г. Москвы. Сб. докладов Международного конгресса ЭКВАТЭК "Вода-экология и технология". Т. 4. 1994. С. 1881-1190.

Ковальшева Г.В., Лапина Е.Е., Букреева О.П. Биотестирование вод Иваньковского водохранилища с использованием светящихся бактерий *Photobacterium phosphoreum* // Водные ресурсы. 1996. Т. 23. № 4. С. 111-115.

Колесов Г.П., Грейсер Е.Л. Оценка роли напорных вод в формировании речного стока (на примере р. Тосны) // Тр. ГТИ. Вып. 182. М.: Гидрометеиздат, 1970. С. 26-50.

Королев В.А. Мониторинг геологической среды: Учебник/ под ред В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1995. 272 с.

Космотектоническая карта Восточно-Европейской платформы М: ба 1: 2500000 / ред. В.Е.Ханн. 1984.

Крайнов С.Р., Швец В. М. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. М.: Недра, 1987. 237 с.

Красинцева В.В., Н.П. Кузьмина, М.М. Сенявин. Формирование минерального состава речных вод. М.: Наука, 1977. 176 с.

Кратасюк В.А., Гительзон И.И. Использование светящихся бактерий в биолюминесцентном анализе // Успехи микробиологии. 1987. № 21. С. 3 – 30.

Куделин Б.И. Современное состояние вопроса о подземном питании рек и задачи дальнейших исследований // Тр. III сес. Гидрологич. Съезда. Т.9. Ленинград. Гидрометеиздат. 1959. С. 6 – 23.

Курдов А.Г. Родники Воронежской области: формирование, экология, охрана. Воронеж: ВГУ, 2000. 128 с.

Лаврович О.Н., Михайлова Т.А. Объяснительная записка к Геологической карте СССР. М-6 1: 200 000. Серия Московская. Лист О-37-XXXI. – М., 1970.

Ланцова И.В., Григорьева И. Л., Тулякова Г.В. Геоэкология Ивановского водохранилища и его водосбора. Конаково, 2000. 248 с.

Лапина Е.Е. Подземное водоснабжение приволжских городов. Межвуз. сборник научн. тр. «Экология России: на пути к инновациям». Астрахань. 2011. С. 52 – 55.

Лапина Е.Е., Ерошенко С.В. Особенности гидрохимического режима Шопинского плеса Ивановского водохранилища // Доклады Всероссийской конф. «Бассейн Волги в XXI веке: структура и функционирование экосистем водохранилищ». Борок. 22-26 октября 2012. Ижевск: Издатель Пермьяков С.А. С.164-167.

Лапина Е. Е., Орехова Т.В. Изучение режима питания подземных вод востока Тверской области на основе воднобалансовой модели WATBUG // Тр. Междунар. научной конф. «Гидрогеология сегодня и завтра: наука, образование и практика». М.: «Макс-ПРЕСС», 2013. С. 123-129.

Лебедев А.В. Оценка баланса подземных вод. М.: Недра, 1989. 174 с.

Лебедева Н.А. Естественные ресурсы подземных вод Московского артезианского бассейна. М.: Наука, 1972. 147 с.

Лозовик П.А., Басов М.И., Зобков М.Б. Поверхностные воды Заонежского полуострова. Химический состав воды // Экологические проблемы освоения месторождения Средняя Падма. Петрозаводск, 2006. С. 35 - 46.

Лола М.В., Ахметьева Н.П., Медовар Ю.А. Влияние содержания органического вещества в почве на вымывание минеральных удобрений в зону аэрации и грунтовые воды // Водные ресурсы. 1984. № 3. С. 68 – 72.

Лукнер Л., Шестаков В.М. Моделирование миграции подземных вод. М.: Недра, 1986. 208 с.

Лучшева А.А. Основы гидравлики и гидрометрии. 2-е изд. М.: Недра, 1989. 173 с.

Маевский В.И. Дочетвертичный рельеф Калининской области // Ученые записки. Т. 68. Калинин: КГУ, 1969. С. 161-170.

Малые реки и экологическое состояние территории / Алексеевский Н.И. [и др.] // Водные ресурсы. 2003. Т. 30. № 5. С. 586-595.

Мартынова М.В. О причинах периодического появления высоких концентраций марганца в Москворецких водохранилищах // Водные ресурсы. 2011. Т.38. № 5. С. 631-632.

Методика изучения, оценки и прогноза изменений экологического состояния подземных вод с использованием математического моделирования. М.: ВСЕГИНГЕО, 2000. 152 с.

Методика экспрессного определения интегральной химической токсичности питьевых, поверхностных, грунтовых, сточных и очищенных сточных вод с помощью бактериального теста "Эколюм". Методические рекомендации N 01.021-07. 2011. Электронный ресурс. www.bestpravo.ru/rossijskoje-ot-zakony/b2.htm

Методические рекомендации по выбору водохранилищных мероприятий в зоне сельскохозяйственного освоения. Челябинск. 1986. 29 с.

Методы исследования качества воды водоемов / Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н. Под ред. А.П. Шишковой. М.: Медицина, 1990. 400 с.

Микробиологическая характеристика воды Ивановского водохранилища / Копылов А.И. [и др.] // Водные ресурсы. 2000. т. 27. № 2. С. 728-734.

Минкин Е.Ф. Зоны санитарной охраны. М.: Недра, 1972. 128 с.

Мирзоев Е. С., Мирзоев А. Е. Конаковский район. Краеведческий справочник. Тверь, 1995. 330 с.

Михайлов Л. Е. Гидрогеология. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 262 с.

Михайлова Т.А. Справочник по гидрогеологич. условиям сельскохоз. водоснабж. территории Конаковского района Калининской области с картой гидрогеологич. условий сельскохоз. водоснабж. М., 1968 (Фонды ГУЦР). 47 с.

Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология в теории и практике. Мат-лы 1 Всеросс. конф. «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы». Борок, 2008. С. 127-136.

Назарова Д. Е. Характеристики почвенного покрова Калининской области/Расширенное воспроизводство плодородия почв. Сб. ст. Калинин, 1985. С. 17 – 23.

Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные, ч. 1-6. Вып. 6. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 693 с.

Никаноров А. М. Гидрохимия. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 348 с.

Общегеографическая карта Тверь и окрестности. Масштаб 1: 200 000. Комитет геодезии и картографии СССР. Москва. 1991.

Олли Е.И. Воды четвертичных отложений Калининской области и их ресурсы //Физическая география Верхневолжья. Калинин: КГУ, 1978. С. 60 – 68.

Отчет о результатах ОМР по изучению источников формирования эксплуатационных запасов и качества подземных вод на объектах крупного водоотбора в пределах Московского артезианского бассейна (1982 – 1984)/ Гладков Н.Н., Плотников В.С., Просеков А.М. и др. Эммаус, 1989 (Геологические фонды). 244 с.

Отчет по теме «Изучение режима и подпора грунтовых вод прибрежной части Ивановского водохранилища» / Авдошин Е.И. [и др.] Т. 1. Кн. 1. Фонды ГУЦР. М., 1974. 186 с.

Отчет по изучению режима подземных вод и ведению Водного кадастра на территории Тверской области за 1989 – 1992 годы / Гладкова Н.К. [и др.]. Том 1. Эммаус, 1992. 150 с.

Оценка изменений гидрогеологических условий под влиянием производственной деятельности. М.: Недра, 1978. 263 с.

Павлов В. А. Петрухин В.А., Андриевский Е.И. Применение комплекса ядерно-физических методов элементного и изотопного анализа в исследовании загрязнения поверхностных и подземных вод // Ядерно-физические методы анализа в контроле окружающей среды. Труды 1 Всес. совещ. Л.: Гидрометео, 1980. С. 61-77.

Перельман А.И. Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982. 154 с.

Подземный сток на территории СССР / под ред. Б. И. Куделина. М.: Изд-во МГУ, 1966. 302 с.

Попов О. В. Подземное питание рек. М.: Гидрометеоздат, 1968. 290 с.

Почвенная карта Калининской области. Масштаб 1: 400 000 // отв. редактор А.И. Саталкин. 1985 г., ред. М.М. Медведев. 1990.

Почвы СССР/ Т.В. Афанасьева, В.И. Василенко, Т.В. Терещина, Б. В. Шеремет. М.: Мысль. 1979. 380 с.

Природа и хозяйство Калининской области (Ученые записки естественно-географического факультета). Калинин, 1960. 652 с.

Пронин Н.Н., Корнеева Г.П. Обзорная карта четвертичных отложений Калининской области. Масштаб 1: 1 000 000. ГУГК. 1987.

Просеков А.М., Яковлев П.И. Роль подземных вод в формировании стока малых рек Калининской области// Тез. докл. науч. конф. Проблемы использования и охраны малых рек Калининской области. Калинин. 1988. С. 20-24.

Пояснительная записка к листу 0 -37-XXV, масштаб 1: 200 000 / Бородин Н.Г. и др. (Конаковский, Кимрский и Калининский район). Фонды ГУЦР. 1976.

Ресурсы поверхностных вод. Гидрологическая изученность. Т. 10, Верхневолжский район. Л.: Гидрометеоздвт, 1966. 527 с.

Ресурсы поверхностных вод. Гидрологическая изученность. Т. 10, Верхневолжский район. Описание отдельных рек и озер. Л., Гидрометеоздат, 1972. 248 с.

Романова Г.И. Миграция и накопление железа, марганца, меди и цинка в донных отложениях Ивановского водохранилища. Автореф. дисс. канд. г.н. М. 1987. 24 с.

СанПиН 2.1.4.1175-02. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. [Электронный ресурс]. URL: www.businessseco.ru.

Санитарная охрана источников. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Москва: Минздрав России, 2003. 16 с.

Смирнова А.Я., Новикова Н.Н. Экологическая оценка подземных вод в связи с водоснабжением поселка Верхний мамон Воронежской области. Вестн. Воронеж. Ун-та. Сер. Геология. 2000. № 2. С.172-177.

Содержание в почвах биогенных веществ и их влияние на эвтрофирование водоема / Лола М.В. [и др.] // Водные ресурсы. 1988. № 6. С. 108 – 116.

Соколов О.А. Агроэкология. М.: МСХА, 2000. 217 с.

Справочник по инженерной геологии / Ребрик Б.М. и др. под ред. М.В. Чуринова. М.: Недра, 1968. 539 с.

Стронций и кальций в природных пресноводных экосистемах /под ред Г. Л. Андрушайтиса. Рига: Зинатне, 1979. 196 с.

Тверская область. Энциклопедический справочник. Тверь: Тверское обл. книжно-журнальное изд-во, 1994. 328 с.

Телитченко М.М., Кокин К.А. Санитарная гидробиология. Руководство к практикуму. М.: МГУ. 1968. 101 с.

Ткачук В.Г. Определение приходной части баланса грунтовых вод с сезонными колебаниями их уровня // Тр. Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР. Т. 2. М – Л., 1949. С. 183-193.

Требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников. Санитарные правила и нормы. СанПиН 2.1.4.544-96., Госкомсанэпиднадзор России. М. 1996.

Унифицированные методы анализа вод. Под ред. Лурье Ю.Ю. 2-е изд. М.: Химия. 1973. 376 с.

Фадеева Л.Н., Лебедев А.В. Теория вероятности и математическая статистика. М.: Ридгрупп, 2011. 496 с.

Фелленберг Г. Загрязнение природной среды. М.: Мир, 1997. 232 с.

Формирование современных ресурсов поверхностных и подземных вод Европейской части России / Джамалов Р.Г. [и др.] // Водные ресурсы. 2012. Т.39. № 6. С.571-589.

Хомич В.С., Какарска С.В., Кухарчик Т.И. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси. Мн.: РУП «Минсктишпроект», 2004. 260 с.

Чалов В.В., Пономарева Е.Н. Показатели водной среды и аммонийный азот в системе замкнутого водообеспечения при содержании объектов аквакультуры. Вестн. АГТУ. Сер: Рыбное хозяйство. 2010. № 1. С. 92 – 95.

Чеботарев А.И. «Гидрологический словарь», 2-е изд. Л.: Гидрометеорол. изд-во, 1970. 305 с.

Чубаров В. Н., Ларичева С. Г. Методы и результаты локальной и региональной оценки защитных свойств зоны аэрации при радионуклидном, промышленном и сельскохозяйственном загрязнении подземных вод// Гидрогеол. аспекты в экологии: сб.н.тр. М.: ВСЕГИНГЕО. 1991. С.111-118.

Швец В.М., Лисенков А.Б., Попов Е.В. Родники Москвы. М.: Научный мир, 2002. 160 с.

Шестаков В.М., Поздняков С.П. Геогидрология. М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. 176 с.

Шитников В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. М.: Наука, 2005. 281 с.

Штригер Е.Е. Оценка уязвимости грунтовых вод к сельскохозяйственным источникам загрязнения. Автореф. дис. ... канд. геол. – мин. наук. М.: ООО «Соцветие красок», 2003. 28 с.

Экологическая гидрогеология: учебник для вузов / А.П. Белоусова, Гавич И.К., Лисенков А.Б. и др. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 397 с.

Экология Верхневолжской водной системы: монография / Ю.Н. Женихов [и др.]; М-во образования и науки РФ, Твер. гос. техн. ун-т. 1-е изд. Тверь: ТГТУ, 2010. 104 с.

Яроменок Т. Б., Петренко С. В., Мельнов С. Б. Микроэлементы и их роль в поддержании гормонального статуса и генетического гомеостаза в детском организме // Медицинская экология. № 5. 2012. [Электронный ресурс].

Яковлев П.И. Выявление перспективных участков водоснабжения из подземных источников с использованием тепловой инфракрасной космосъемки и проведением наземных гидрологических работ // Вода и экология. 2007. № 3. С. 59-61.

Яковлев П.И. Оценка подземного притока Верхней Волги гидрометрическим и гидрохимическим методами на участке реки от истока до г. Твери // Вода и экология. 2012. № 2-3. С. 149-171.

Bakundukize, C., M. Van Camp, K. Walraevens. Estimation of groundwater recharge in Bugesera region (Burundi) using soil moisture budget approach. *Geologica Belgica*, 2011. 14/1-2: 85-102.

Bulish A.A. A practical and reliable method for monitoring the toxicity of aquatic samples// *Process. Biochem.* 1982. V. 17. № 2. P. 45 - 47.

Bulish A.A, Asenberg O.I Use of luminescent bacterial system for the rapid assay of aquatic toxicology. *Inst. Sos.Am.Trans.* 1981. V.5. P. 71 - 77.

de Vries, J.J. and Simmers, I. Groundwater recharge: an overview of processes and challenges. *Hydrogeology Journal*. 2002. 10 (3-4) P. 5 -17.

Jeng C. Chang, Phillis B. Taylor, Franklin R. Leach/ Use of the Mikrottox Assay System for Environmental Samples. *Bull/ Environ. Contam. Toxicol.* 1981.№ 26. P.150 -156.

Rushton, K.R. Numerical and conceptual models for recharge estimation in arid and semi-arid zones. In: Simmers I. (ed) Estimation of natural groundwater recharge. 1988. NATO ASI Series C 222. Reidel, Dordrecht. P. 223 - 238.

Scanlon, B.R., R.W. Healy and P.G. Cook. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*. 2002. 10 (3-4). P. 18 - 39.

Thornthwaite, C.W, J.R. Mather. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in Climatology*. 1957. 10(3): 183 - 311. Laboratory of Climatology, Drexel Institute of Technology, Centerton, New Jersey, USA.

Van Camp M., K. Martens, K. Walraevens. Impact of recent climate variability on an aquifer system in north Belgium. *Geologica Belgica*. 2012. 15/1-2. P.73 - 80.

Willmott, C.J. WATBUG: a Fortran IV Algorithm for Calculating the Climatic Water Budget, *Publications in Climatology*. 1977. 30 (2). P. 1-55. Centerton, New Jersey.



Фото 1. Опорный родник в с. Городня

Фото 2. Опорный родник в Конаковском сосновом бору



Фото 3. Опорный родник в с. Селихово,
левый берег реки Доиховка



Фото 4. Опорный родник у базы отдыха «Раздолье»



Фото 5. Савватъевские родники



Фото 6. Пластовое высачивание близ д. Савватъево

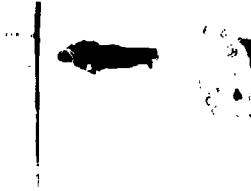


Фото 7. Отбор проб со льда, створ Безбородово, март 2012



Фото 8. Разгрузка межморенного водоносного горизонта

ОБ АВТОРАХ

Ахметьева Нина Петровна, кандидат геолого-минералогических наук, окончила Московский геологоразведочный институт, гидрогеологический факультет. Работала в экспедициях на Дальнем Востоке, в Средней Азии, на севере европейской части России, последние 30 лет – в Тверской и Московской областях. Автор 75 работ, в том числе 4-х монографий.

Лапина Елена Егоровна, кандидат геолого-минералогических наук, окончила Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, геологический факультет. Работала в экспедициях на Чукотке, в Якутии, на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, последние 20 лет – в Тверской и Московской областях. Автор 40 работ, в том числе 2-х монографий.

Кудряшова Вера Вадимовна, аспирантка Института водных проблем РАН, окончила Московский государственный открытый университет, горный факультет. Работала в экспедициях на юге России, в Тверской и Московской областях, автор 5 работ.

