

ЭКОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РОДНИКОВОГО СТОКА ЮГО-ВОСТОКА ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ

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

Излагаются результаты экологических, гидрогеологических и гидрохимических исследований родников юго-восточной части Тверской области на основе режимных наблюдений. В воде родников определено содержание макро- и микрокомпонентов, дана эколого-медицинская оценка воды родников, наиболее часто используемых для питья. Статистическими методами установлено, что для родниковых вод региона существует тесная связь содержания NO_3 с содержанием Mo и Cd ; Ni – с V и Cu ; Zn – с Al и Pb .

Особый интерес представляют ключи, бьющие в основании низинных болот. Благодаря таким родникам образованы глубокие (до 17 м) озера воронковидной формы, содержащие воду хорошего качества и дающие начало многим ручьям и рекам.

Приводятся рекомендации по сохранению родникового стока.

Водоснабжение Тверской области базируется в основном на водоносных горизонтах верхнего и среднего карбона, которые эксплуатируются скважинами в хозяйственно-питьевых и технических целях. Используемые воды относятся к напорным пластово-трещинным водам, расположенным в пределах Московского артезианского бассейна. Отложения карбона сверху перекрыты юрскими водоупорными отложениями и чехлом четвертичных пород, содержащих поровые грунтовые воды – безнапорные и слабонапорные (межморенные). Геолого-гидрогеологические условия области, в том числе наличие разломов и древних переуглубленных долин, способствуют тесной гидравлической связи между всеми водоносными горизонтами зоны активного водообмена и соответственно увеличивают обильность их родниковой разгрузки.

Родники играют важную роль в обеспечении населения питьевой водой, особенно в сельской местности и в пределах дачных поселений. Экологическая, рекреационная и историко-культурная ценность родников требует не только более внимательного их изучения, но и разработок рекомендаций по их сохранению и использованию.

В гидрогеологии родником, или источником называется естественный сосредоточенный выход подземных вод на поверхность земли или под водой.

Обнаружить на местности открытый сосредоточенный родник несложно, но рассеянные выходы подземных вод на поверхность могут быть незаметны. В этом случае их находят по косвенным признакам: заболачиванию склонов, произрастанию травы более зеленого цвета, вспучиванию почвы по склонам, скоплению натечных минеральных образований, наличию оползней. Родники встречаются в бортах надпойменных террас, в мочажинах и западинах рельефа, прирусловых валах поймы. В долине р. Волги выход родников приурочен главным образом к основанию высоких террас, сложенных сверху аллювиальными песками с редкой галькой, залегающих на моренных суглинках. Местные жители рассказывают, что много родников находится под водой, в прибрежной полосе. Водосборная площадь этих родников совпадает с площадью распространения террасы. В случае расположения в пределах террасы какого-либо очага загрязнения (склада минеральных удобрений, силосной ямы, навозохранилища) его следы будут отражаться в химическом составе воды родника.

Родники ранее не входили в государственную систему мониторинга водных объектов, однако в настоящее время они включены в нее как «важные поверхностные водные объекты» [1]. На изученной территории, расположенной вокруг Ивановского водохранилища от г. Твери до г. Дубны, регулярные наблюдения в течение 15–20 лет проводились только по отдельным (опорным) родникам, остальные обследовались эпи-

зодически. При исследовании родников использованы также данные прежних гидрогеологических съемок и фондовые материалы. Всего обследовано порядка 50 родников, в том числе – групповые выходы и ключевые колодцы. На рис. 1 представлена схема расположения обследованных родников, совмещенная с картой дочетвертичных отложений территории [2].

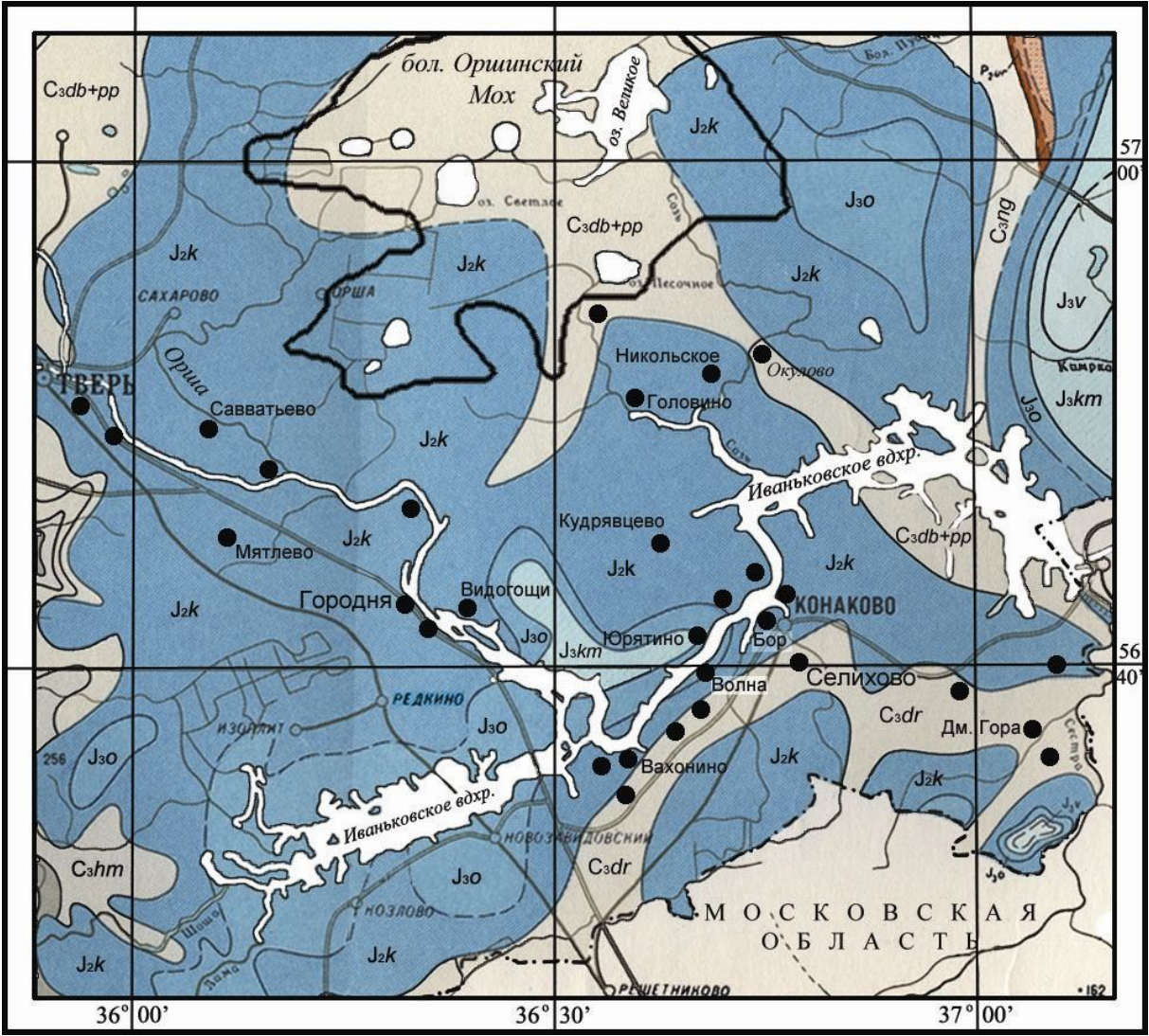


Рис. 1. Карта дочетвертичных отложений исследуемого района:

- J – юрские отложения (глины), С – каменноугольные отложения (известняки),
- – обследованные родники, ~ – граница болота Оршинский Мох

Среди выявленных родников преобладают нисходящие, чаще эрозионного (в оврагах, тальвегах) и контактового типа, выходы которых приурочены к контакту аллювиальных песчаных пород с подстилающими суглинками в склонах долин. Встречаются нисходящие родники и на водоразделах. Восходящие родники на изученной территории встречены значительно реже, обычно они приурочены к долинам рек [3].

В период с 1994 по 2006 гг. проведены режимные исследования (гидрохимические и гидродинамические) на опорных родниках. Установлено, что их дебиты в межень в среднем составляют 0,03–0,2, в половодье достигают 0,27 л/с. Коэффициенты динамичности (отношение максимального дебита к минимальному) варьируют в пре-

делах 2–14, в среднем составляют 2–3, то есть по степени изменчивости расходов родники относятся в большинстве случаев к постоянным и переменным. Максимальный дебит одного сосредоточенного выхода 2 л/с зафиксирован нами только в д. Мятлево Калининского района.

Величина родникового стока находится в тесной зависимости от хозяйственной деятельности, проводимой на водосборной площади родника. Негативно на сток влияют распашка и осушительная мелиорация земель, вырубка лесов, сооружение плотин. При осуществлении этих мероприятий без согласования с учреждениями по охране окружающей среды родники могут исчезнуть. Например, начатая в 2004 году реконструкция базы отдыха «Волна» (проведение коммуникаций при строительстве новых домиков) нарушила хрупкий баланс между компонентами геологической среды, и расход родника около базы резко снизился. На графике (рис. 2) представлены кривые изменения дебитов трех режимных родников за 2005–2006 гг., на которых хорошо видно это снижение. В 2006 г. на момент измерения дебита родника у базы «Волна» в конце июля

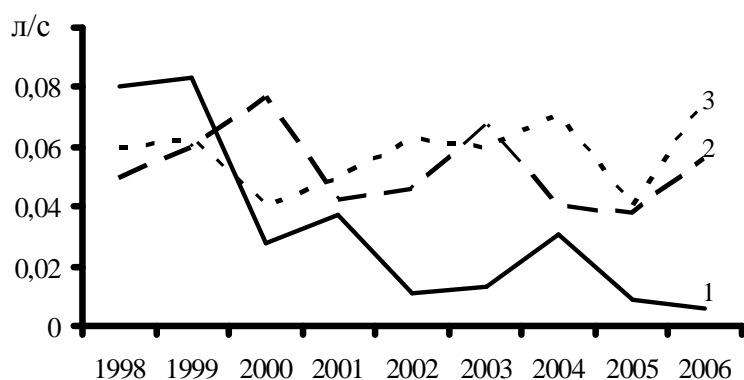


Рис. 2. Изменение дебита родников «Волна» (1), «Бор» (2) и «Городня» (3) по годам в летнюю межень

слой осадков за месяц был в два раза выше среднегогодового, однако расход составил 0,0055 л/с, как в маловодном 2002 году. В то же время дебиты других режимных родников, водосборные площади которых не подвергались негативным воздействиям, не изменились.

Мониторинг гидрохимического режима состоял в определении электропроводности, кислотно-щелочных (рН) и окислительно-восстановительных (Eh) характеристик, солевого состава, биогенных элементов и органического вещества; в опорных родниках определено содержание ряда микрокомпонентов. Макрокомпоненты и биогенные вещества определены в гидрохимической лаборатории Ивановской НИС по стандартным методикам [4]. Величины Eh и рН замерены при отборе проб портативными приборами для полевых исследований фирмы Hanna. Железо ($Fe_{общ}$) тоже определено *in situ* с помощью экспресс-теста (IR-18B Nach). Анализ проб на содержание микроэлементов проведен на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой (ICP).

Установлено, что по минерализации воды родников пресные (0,2–0,5 г/л), редко ультрапресные (<0,2 г/л) в основном гидрокарбонатного кальциевого или гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава. В таблице 1 представлены значения наиболее информативных для подземных вод показателей в воде часто посещаемых родников.

Качество воды исследованных родников по макрокомпонентам в целом соответствует нормативам. В отдельных родниках, питающихся верховодкой или неглубоко залегающими грунтовыми водами и расположенных на фоновых территориях, вода по составу близка к дождевой. Она не содержит необходимых организму элементов в нужных количествах (родники у монастыря на р. Орше, в реликтовом бору г. Конаково), в ней содержание кальция редко превышает 10–15 мг/л (при физиологической норме 25–130 мг/л). В Савватьевских родниках, расположенных под обочиной автодороги, обнаружено значительное превышение норматива по нефтепродуктам (0,8–2,8 мг/л при ПДК 0,3).

Таблица 1. Гидрохимическая характеристика воды родников (летняя межень 2006 г.)

Местоположение родника	pH	Eh	Жесткость, мг-экв/л	Ca ²⁺ , мг/л	Cl, мг/л	ПО, мгО/л	Fe _{общ} , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л
Дер. Мятлево	7,94	+12	4,4	60	15	3,6	0	38	13,1
Родник «У домика Чапаева»	7,24	-164	5,8	78	1,4	1,5	1,2	24	1,0
Дер. Новинки	7,39	–	5,9	79	21	1,5	0	32	74,4
Монастырь в устье р. Орши	5,89	+42	1,2	16	2	1,8	0,1	3	0,1
Пос. Савватьево	6,88	+73	2,7	41	3,5	4,5	0	15	8,1
Дер. Окулово	7,36	-090	4,0	58	6	2,8	0,4	23	0,2
ПДК	6–9*	–	7–10*	–	350*	5–7*	0,3**	500*	45**

Примечание. *СанПиН 2.1.4.1175-02. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников; **ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

В родниках, приуроченных к очагам сельскохозяйственного загрязнения, обнаружено повышенное содержание нитратного азота (до 135 мг/л при ПДК 45 мг/л) и минерального фосфора (до 1,5 мгР/л при фоновых концентрациях 0,2–0,3). В воде ключевых колодцев, расположенных рядом с силосными ямами или складами удобрений, встречены очень высокие содержания калия (до 157 мг/л при ПДК для стран ЕС 12 мг/л¹).

Проведенный на ИСР анализ содержания стронция (одного из маркеров вод напорных водоносных горизонтов карбона) показал, что большинство выявленных родников в большей или меньшей степени подпитываются напорными водами каменноугольных отложений (на рис. 1 обозначены индексом С). Наиболее интенсивная восходящая фильтрация происходит, когда водосборная площадь родника совпадает с местом размыва юрского водоупора (обозначены индексом J), либо с участками фациального замещения моренных суглинков более опесчаненными разностями. Таким образом, питание родников изученной местности происходит за счет почвенно-грунтовых вод и перетекания из нижележащих горизонтов межпластовых вод на участках, где пьезометрическая поверхность вод верхнего карбона устанавливается выше уровня грунтовых вод. Подобные условия обычно наблюдаются в речных долинах. Перетекание также происходит, когда в геологическом строении долины участвуют юрские глины небольшой мощности (2–3 м). Летом 2006 г. в воде водохранилища содержание стронция составило 0,09 мг/л, в реке Тьме – 0,08, а в воде родника в с. Городне – 0,37 мг/л. В то же время вода родников, питающихся водами зоны аэрации или неглубоко залегающими грунтовыми водами, имеет низкие содержания стронция (0,07–0,08 мг/л). Вода из скважин, вскрывающих напорные воды водоносных горизонтов верхнего и среднего карбона, содержит от 0,25 до 0,57 мг/л Sr.

Таким образом, химический состав родниковых вод региона зависит от особенностей геологического строения местности и типа источника загрязнения, приуроченного к водосборной площади родника.

Известно, что на отдельные системы и органы человека по-разному влияют элементы и их сочетания, например, Ca, F, Sr и Si влияют на формирование и функционирование скелета; Fe, Co, V, Cu – на систему кроветворения. Есть пары химических эле-

¹ В отечественных нормативных документах ПДК калия не установлена

ментов, только совместное присутствие которых в определенном количестве и соотношении благотворно действует на организм человека. Например, кальция в организме должно быть примерно в два раза больше, чем фосфора, иначе он будет просто выведен из организма. Дефицит Са вызывает остеопороз и расстройства нервной системы, способствует развитию сердечно-сосудистых заболеваний, а в сутки человеку требуется около 500 мг этого элемента [5].

В последнее время особенно большой интерес вызывают исследования влияния на организм человека микроэлементозов – избытка/недостатка микроэлементов и их сочетаний [6]. Результаты определения на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (Agilent ICP-MS 7500a) содержания микроэлементов в воде опорных родников с эколого-медицинской точки зрения представлены в таблице 2.

Таблица 2. Эколого-медицинская оценка содержания в родниковых водах региона жизненно важных микроэлементов (мкг/л)

Элемент	Диапазон	Среднее	ПДК	Потребность, мг/л в сутки	Последствия дефицита микроэлемента*
Mn	3,4-309	46,1	100	5-10	Анемия, онкологические заболевания, умственная отсталость, задержка развития костных тканей
Cu	1,4-19,5	7,7	100	2-3	Остеопороз, варикоз, рак
Mo	1,0-9,8	2,51	250	2	Анемия, рак пищевода
Zn	0,7-86,0	26,3	1000	10-20	Диабет, депрессия, простатит, куриная слепота
Co	0,4-3,0	1,63	100	0,1-0,2	Эндемический зоб, мышечная дистрофия
Cr	0,7-7,6	3,73	100	0,05-0,25	Сахарный диабет, рак желудка, заболевания глаз, нарушения углеводного обмена
Ni	0,8-10,8	4,26	100		Снижение аппетита
V	0,5-2,1	0,87	100	10-20	Сахарный диабет, онкологические заболевания
Se	9,1-21,9	15,1	10	0,01	Мышечная дистрофия, сердечно-сосудистые заболевания
Fe	180-593	362	300	15-18	Анемия, снижение иммунитета
As	0,6-3,1	1,6	50		Упадок сил, заболевания дыхательных путей, выпадение волос

* П р и м е ч а н и е . Две последних графы по [5, 6].

Из таблицы видно, что концентрации микрокомпонентов в воде родников в целом довольно низкие, за исключением железа. Биологическое значение железа велико, ведь от его содержания в крови зависит уровень гемоглобина, работа в организме ферментов, обеспечивающих тканевое дыхание. Однако длительное употребление человеком воды с повышенным содержанием железа может приводить к заболеванию печени (гемосидериту), возникновению аллергических реакций, образованию почечных камней, а также увеличивает риск инфарктов и заболеваний костной системы. При содержании общего железа в воде более 1–2 мг/л оно начинает придавать воде неприятный вяжущий вкус. При контакте с кислородом воздуха вода с большим содержанием железа мутнеет из-за выпадения в осадок твердых частиц Fe(OH)₃.

В отдельных родниках отмечено повышенное содержание марганца (с. Городня – до 0,3 мг/л, с. Дмитрова Гора – 0,1 мг/л). Марганец, как и железо, может быть причи-

ной ухудшения вкуса воды. Обычно принимают, что в питьевой воде содержание железа и марганца в сумме не должно быть выше 0,5–1,0 мг/л.

Статистическая обработка полученных данных по химическому составу вод опорных родников выявила, что наиболее сильные корреляционные связи ($r > 0,75$) существуют между V, Cd и Mo, между Pb, Co и Zn, а также между Ni и Cu. Парные коэффициенты корреляции содержания Al с Co, Cu, Zn и Pb варьируют в диапазоне 0,57–0,71, причем корреляционные зависимости наиболее удачно аппроксимируются линейной и реже – логарифмической функцией.

Известно, что в регионе наиболее распространенным антропогенным загрязнителем природных вод является азот нитратов (NO_3). Регрессионный анализ гидрохимических данных позволил получить эмпирические уравнения регрессии для величины содержания нитратного азота и ряда других компонентов. Оказалось, что содержание нитратов в воде родников наиболее сильно коррелирует с кадмием и молибденом; с другими компонентами связь менее тесная. Нами не обнаружено связей между нитратами и такими компонентами, как минеральный фосфор, никель, медь, цинк, что указывает на различные источники их поступления.

Согласно последним исследованиям, начиная с 1960-х годов по настоящее время, происходит антропогенное закисление атмосферных осадков и, как следствие этого явления, закисление подземных вод [7, 8]. Признаком закисления является снижение значения коэффициента ANC (acidity neutralization capacity, или кислотонейтрализующей емкости)

$$\text{ANC} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{K}^+] + [\text{Na}^+] - [\text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{Cl}^-].$$

С увеличением содержания SO_4 и NO_3 коэффициент закисления может принимать отрицательные значения, что свидетельствует об интенсивном закислении воды [8]. Наши исследования показали, что значения ANC по ряду водоисточников (Плоски, Селихово, Юрятино, Вахрамеево, Новошино, Домкино) за 25 лет наблюдений уменьшились в 1,2–2 раза, а в дер. Безбородово, расположенной вдоль шоссе Московской–Санкт-Петербург – в 10 раз, причем в 2000 г. оно составило отрицательную величину. Эти данные говорят о возможном начале закисления грунтовых вод.

Следует отметить, что в роднике села Городни, испытывающего высокую антропогенную нагрузку, уменьшения коэффициента закисления не произошло. Напротив, он даже вырос за прошедшие 20 лет в 1,5 раза. Этот родник имеет тесную гидравлическую связь с напорными водами, о чем свидетельствует высокое содержание в воде стронция.

Особый интерес представляют родники, разгружающиеся на дне болот. В качестве примера приведем болото «Оршинский Мох». Этот болотный массив занимает огромную площадь – 200 тыс. га. Болото верховое и переходное, покрыто в основном сфагновыми мхами, шейхцерией, кассандрой, подбелом, клюквой; из древесной растительности – сосной высотой до 4 м. Мощность торфяной залежи достигает 8 м, в среднем 3,9 м. На территории болота находится множество озер: Великое, Глубокое, Светлое, Глухое, Оршинское, Песочное площадью от 50 км² до нескольких гектар. Глубина озер различна: от 2 до 17 м. Глубокие озера (более 8 м) распространены в западной части. Это озера Сухое (17 м глубиной), Чистенькое (14 м), Березово (12 м), Глубокое (9 м). Дно этих озер находится ниже подошвы торфяной залежи, поэтому они имеют особый гидрологический режим.

В геологическом отношении «Оршинский Мох» приурочен к территории, где юрские водоупорные глины на большей части размыты. По данным глубокого бурения в пос. Новая Орша, с. Рождествено и др. известно, что статический напор подземных вод карбона устанавливается на абсолютных отметках 141–143 м, которые превышают отметки дна озер. Таким образом, глубокие озера вероятно являются местом разгрузки

напорных вод в виде субаквальных источников. Температурный режим озер подтверждает наличие их ключевого питания: температура воды в глубоких озерах всегда ниже на 5–6°C, чем в озерах, имеющих атмосферное питание [9]. В оз. Великом в летний период температура воды в приповерхностном слое около 18°C, на глубине 5,5 м (дно озера) 16,5–17°C. В глубоких озерах температура воды в приповерхностном слое около 12°C, на дне 6–8°C. Химический состав воды также подтверждает ключевое питание глубоких озер. Обычно в таких озерах вода более жесткая, чем болотная, она имеет меньшую цветность, содержит небольшое количество органики, редокс-потенциал (Eh) отрицательный, значение pH составляет 7–7,5. К примеру, само название озера «Чистенькое» свидетельствует о том, что вода в нем прозрачная, чистая, имеет подземное питание.

ВЫВОДЫ

Родники восточной части региона на участке от Эммауса до Дубны преимущественно дренируют неглубоко залегающие воды верховодки и грунтовые воды. Они более подвержены загрязнению, концентрации биогенных веществ в них иногда достигают высоких значений.

Родники на территории от Эммауса до Твери и далее характеризуются более тесной гидравлической связью с напорными водами. Здесь происходит интенсивная восходящая фильтрация вод верхнего карбона. Качество воды большинства таких родников хорошее.

Для сохранности родников необходимо соблюдать санитарно-гигиенические требования на их водосборной площади, с осторожностью вести любые строительные работы, способные нарушить уровенный режим грунтовых вод, исключить расположение на водосборной площади родников автозаправочных станций, складов минеральных удобрений, животноводческих комплексов и других локальных очагов загрязнения.

Установлено, что в регионе наблюдается слабая тенденция к закислению родников, обусловленная геологическим строением территории. Закисление поверхностных водоемов и водотоков выражено более явно.

В пределах болота «Оршинский Мох» глубокие озера (более 8 м) имеют ключевое питание. Благодаря этому в разрезе такие озера имеют воронкообразную форму, и вода в них отличается своим хорошим качеством.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Водный кодекс Российской Федерации. М.: Эксмо, 2006. 64 с.
2. Геологическая карта Тверской области. Четвертичные отложения. Масштаб 1:500000. Составители: Мещерякова И.И., Артемьева Е.С., Фадеева Л.И. С.Петербург: ВСЕГЕИ, 1994.
3. Просеков А.М., П.И. Яковлев. Роль подземных вод в формировании стока малых рек Калининской области. Калинин, 1988. С. 20-24.
4. Методы исследования качества воды водоемов // Новиков Ю.В. и др. М.: Медицина, 1990. 400 с.
5. Рубейкин В.З. и др. Гидрогеохимия питьевых вод в условиях техногенеза // Гидрогеологические аспекты в экологии. М.: ВСЕГИНГЕО, 1991. с. 22-40.
6. Бородулина Г. Качество подземных вод // Водные ресурсы республики Карелия и пути их использования для питьевого водоснабжения. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2006. С. 127-139.
7. Моисеенко Т.И. Закисление вод. Факторы, механизмы и экологические последствия. М.: Наука, 2003. 276 с.
8. Злобина В.Л. Воздействие атмосферных осадков на закисление подземных вод. Автореферат дисс. М.: ООО КПСФ, 2002. 49 с.
9. Природа и хозяйство Калининской области. Калинин, 1960. 652 с.