

УДК 551.495+.002.637

Таблица 1. Дозы внесения минеральных удобрений на территории юго-востока водосбора Ивановского водохранилища (Конаковский район), кг д.в. NPK на 1 га

**ФАКТОРЫ,
ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ
ПОДВЕРЖЕННОСТЬ
ГРУНТОВЫХ ВОД
ЗАГРЯЗНЕНИЮ
СОЕДИНЕНИЯМИ АЗОТА**

*Н.П. АХМЕТЬЕВА,
канд. геол.-минерал. наук,
Е.Е. ШТРИТЕР (ИВП РАН)*

Грунтовые воды (ГВ), пространственно занимая промежуточное положение между поверхностными и напорными, способствуют задержанию и трансформации загрязняющих веществ (ЗВ), защищая тем самым от загрязнения артезианские и поверхностные воды хозяйственно-питьевого назначения. Изменения гидрохимического и уровня режимов ГВ несут в себе информацию о будущих деформациях той экосистемы, компонентом которой они являются [1]. Следовательно, ГВ могут служить высокочувствительным индикатором, фиксирующим начало отклонения экосистемы от равновесного состояния. Именно поэтому в системе мониторинга ГВ следует считать одним из приоритетных объектов.

Качественные изменения ГВ, или степень их загрязнения, обуславливаются их уязвимостью. Содержание термина "уязвимость" сегодня является дискуссионным [2]. Авторы придерживаются мнения, высказанного А. Запорожцем, что "уязвимость является внутренним свойством системы подземных вод, которая зависит от чувствительности системы к антропогенному или природному воздействию" [3]. Различают два типа уязвимости: общую, обусловленную природными факторами, и специальную - уязвимость по отношению к определенному загрязнителю.

При изучении проблемы уязвимости подземных вод исследователи в зависимости от поставленной задачи изучают ряд факторов, имеющих разную значимость при рассмотрении потенциального загрязнения ГВ: фильтрационные свойства почвенного покрова, грунтов зоны аэрации и водовмещающих пород, инфильтрационное питание, глубину до уровня грунтовых вод (УГВ), рельеф дневной поверхности и пр. Какие-то факторы изучаются, какие-то игнорируются. Ряд исследователей считает, что для безнапорных водоносных горизонтов (ВГ) наиболее существенными факторами, влияющими на уязвимость ГВ, являются глубина до зеркала воды (УГВ), проницаемость грунтов зо-

ны аэрации, инфильтрационное питание, время водообмена и водопроницаемость ВГ [3-5]; другие - что более важными являются сорбция, время продвижения загрязнителя до УГВ и разбавление [6,7].

Авторы данной статьи видели свою задачу в определении приоритетных факторов оценки уязвимости ГВ водосбора Ивановского водохранилища для наиболее распространенных здесь и потенциально опасных загрязнителей - соединений азота [8].

Ивановское водохранилище, созданное в верхнем течении р. Волги, является одним из основных источников питьевого водоснабжения г. Москвы. Среднемноголетняя доля подземного питания в годовом стоке водохранилища составляет от 10 до 40%, причем доля ГВ в подземном стоке составляет около 97%. За год с подземным стоком в водохранилище вносится до 250 т нитратного и аммонийного азота [9]. Так как Ивановское водохранилище классифицируется как евтрофное, то поступление соединений азота с ГВ представляет серьезную проблему [10].

Основные источники соединений азота на изучаемой территории - внесенные на сельскохозяйственные угодья удобрения, хозяйственно-бытовые стоки, газодымовые выбросы автотранспорта и предприятий и др. Внесение высоких доз удобрений обусловлено низким естественным плодородием почв и их промывным режимом.

Для достижения рентабельного урожая сельскохозяйственных культур необходимо вносить комплексные минеральные удобрения (NPK) в дозе 250...300 кг/га, а органических - не менее 10 т/га. Именно такие дозы были характерны для 80-х годов. В таблице 1 представлено изменение средних доз удобрений по годам в этом регионе за 20-летний период. Из нее хорошо видно, что в 90-е годы внесение удобрений значительно сократилось и лишь начиная с 1999 г. их дозы постепенно возрастают. На индивидуальных приусадебных участках дозы минеральных удобрений иногда достигают 1000 кг/га.

Фоновое содержание нитрат-иона в

ГВ составляет 0,1...0,3 мг/л, однако в воде приблизительно 40% бытовых колодцев наблюдается превышение ПДК по нитратам в 2-4 раза. И даже в воде родников, которые интенсивно используются населением для питьевых целей, также зафиксированы высокие содержания соединений азота, что, на наш взгляд, обусловлено смешиванием разгружающихся напорных вод с внутрипочвенными, особенно в половодье. Содержание N-NO₃ в родниковой воде колеблется от 3,2 до 56,5 мг/л. Например, в с. Городня в воде колодца, расположенного в 150 м от родника и вскрывающего следующие к водохранилищу ГВ, было обнаружено 6,5 мг/л N-NO₃, а в родниковой воде - 56,5 мг/л. Можно предположить, что рост содержания N-NO₃ в 7 - 8 раз происходит именно за счет смешивания с загрязненным потоком ГВ.

Выполненные расчеты показали, что, если в конце 80-х годов вынос с ГВ нитратного азота с 1 га интенсивно удобряемых пахотных угодий за год составлял 34 кг, а аммонийного - 2,3 кг, то в конце 90-х вынос его с 1 га этих угодий увеличился на 20...25 кг, а аммонийного - уменьшился до 1,7 кг. Несомненно, что на загрязнение ГВ оказывают влияние геологическое строение территории и главным образом грунтов зоны аэрации и почвенного слоя. Почвы здесь преимущественно дерново-подзолистые с содержанием гумуса до 1,5%.

Исследуемая территория включает надпойменные террасы р. Волги, сложенные аллювиальными, преимущественно песчаными отложениями; склоны и водоразделы сложены флювиогляциальными песчано-глинистыми и моренными суглинистыми отложениями. Глинистые минералы моренных суглинков представлены главным образом монтмориллонитом, обладающим сорбционными свойствами по отношению к нитратам, в связи с чем и происходит снижение их содержания в ГВ.

Среднегодовое количество осадков здесь составляет 650...700 мм, инфильтрационное питание аллювиальных песков - 200...230 мм, флювиогляциальных отложений - 100...150, моренных суглинков - около

Год	Доза	Год	Доза	Год	Доза	Год	Доза
1980	205,9	1985	223,1	1990	158,3	1995	10,9
1981	221,96	1986	182,1	1991	132,0	1996	11,1
1982	194,31	1987	196,6	1992	80,0	1997	16,7
1983	217,36	1988	189,7	1993	78,0	1998	22,5
1984	283,36	1989	211,3	1994	23,0	1999	22,1

50 мм в год. Глубина до УГВ колеблется в широких пределах: от 0 в болотных комплексах до 16...18 м на высоких надпойменных террасах.

Таким образом, основными факторами (1-6), влияющими на содержание соединений азота в ГВ, являются: количество внесенных минеральных (1) и органических (2) удобрений; содержание гумуса в почве (3) и глинистых частиц в породах зоны аэрации (4); количество выпавших осадков за вегетационный период (5) и глубина до УГВ (6).

Между содержанием в грунтовых водах N-NO₃ (y) и каждым из перечисленных факторов (x) с помощью пакета программ STATGRAPHICS выявлена корреляционная зависимость.

Фактор 1. Наибольшему коэффициенту корреляции (0,513) из всех опробованных моделей этому фактору соответствует экспоненциальная зависимость $y = \exp(a + bx)$, где $a = 0,018$; $b = 3,646$. Эта модель достаточно надежна для доз НРК до 250 кг/га. Большим дозам минеральных удобрений соответствует другая зависимость $y=f(x)$. Но в условиях водосбора Ивановского водохранилища такие дозы (больше 250 кг/га) практически не применяются.

Фактор 2 оказывает наибольшее влияние на содержание N-NO₃ в грунтовых водах. Эта зависимость является линейной $y = a + bx$, где $a = 3,01$; $b = 0,106$. То, что именно прямая зависимость является наиболее корректной, подтверждается очень низким значением уровня значимости и высоким коэффициентом корреляции (0,563).

Фактор 3. Его влияние на содержание N-NO₃ в ГВ не однозначное. В нашем случае наибольшему значению коэффициента корреляции (достаточно низкому) соответствует уравнение $1/y = a + bx$, где $a = 0,468$, $b = 0,471$ (параметры "а" и "b" определены приближенно). Для детального изучения этого фактора необходимо иметь либо большую базу данных, либо оперировать данными, соответствующими одинаковым природным условиям. Например, для однородных песчаных почв и грунтов корреляционная зависимость между изучаемыми величинами проявляется четко. Коэффициент корреляции равен 0,440, то есть с увеличением содержания гумуса в почве количество N-NO₃ в ГВ уменьшается.

Фактор 4. Большое количество глинистых частиц в грунтах зоны аэрации заметно снижает содержание N-NO₃ в грунтовых водах. Уравнение $1/y = a + bx$ (здесь $a = 0,162$, $b = 0,095$) наиболее точно описывает эту зависимость. Существенные отличия между значениями параметров и их стандартных погреш-

ностей, достаточно высокий коэффициент корреляции (0,514) указывают на высокую надежность данного уравнения регрессии.

Фактор 5. Модель $y = \exp(a + bx)$ наиболее точно отражает зависимость между количеством выпадающих осадков и N-NO₃. По данным последних 15 лет количество осадков за вегетационный период составляло от 110 до 300 мм. Коэффициент корреляции уравнения равен 0,371, коэффициенты $a = 1,3 + 0,5$; $b = 5,41 + 2,1$. Анализ этого уравнения показывает, что в засушливые летние периоды вынос N-NO₃ в грунтовые воды незначителен (несмотря на внесенные удобрения).

Фактор 6. Полученные данные свидетельствуют о том, что положение УГВ фактически не влияет на содержание N-NO₃ в грунтовых водах при их неглубоком залегании. Из всех опробованных регрессионных моделей наибольшему коэффициенту корреляции соответствовала линейная: $y=a+bx$, однако и при

Таблица 2. Содержание ионов нитратов и аммония в ГВ бытового колодца в годы разной водности в с. Городня, мг/л

Дата	Осадки, мм/в год	NO ₃	NH ₄
07.1979	Н/д*	0,06	0,27
07.1987	584	5,35	0,2
07.1994	541	34,1	0,1
05.1995	548	19,5	0,18
05.1996	526	17,4	0,24
09.1997	750	27,7	0,34
09.1998	622	9,53	0,33
05.2000	478	31,4	0,3

* Н/д означает отсутствие данных.

территории к загрязнению. В самом деле, в годы разной водности содержание соединений азота в ГВ участков, подверженных интенсивному антропогенному воздействию, не отличались друг от друга (табл. 2).

Что касается фактора 6 (глубины до зеркала воды), то в наших условиях он имеет очень небольшое значение. В таблице 3 представлены результаты анализов проб воды, отобранных в бытовых колодцах разной глубины, расположенных в непосредственной близости друг от друга.

Таблица 3. Содержание нитратов в ГВ в зависимости от глубины Н до зеркала воды, мг/л

Пункт	Дата отбора	Н м	УГВ м	N-NO ₃	N-NH ₄
Мокшино	18.06.00	16	11,5	12,9	0,26
То же	18.06.00	6,7	4,25	9,94	0,2
Гаврилково	23.06.99	6,3	5,1	0,8	0,88
То же	23.06.99	8,5	4,7	0,18	0,53
Вахино	18.06.00	6,2	3,68	24,5	0,36
То же	18.06.00	10,3	3,38	31,4	0,38
Редкино	14.03.96	9,5	9,0	12,1	0,38
То же	14.03.96	5,25	5,0	8,37	0,47

этой модели его значение очень мало (0,23); погрешность почти равна коэффициенту b. Это указывает на то, что линейная зависимость не может считаться корректной.

Механизм продвижения нитратов в зоне аэрации достаточно сложен. Для изучения этой зависимости необходимо иметь либо большую базу данных, либо вводить в модель большое число параметров.

Таким образом, на содержание N-NO₃ в грунтовых водах в первую очередь влияют количество внесенных удобрений, состав пород зоны аэрации, содержание гумуса в почве. Количество выпавших осадков, с которыми происходит движение соединений азота вниз по разрезу, и глубина до УГВ не являются определяющими факторами при оценке уязвимости ГВ исследуемой

Из таблицы не видно какой-либо закономерности в содержании соединений азота в пробах ГВ, отобранных с разных глубин. Иногда в воде колодцев, вскрывающих водоносный горизонт на большую глубину, содержание нитратов превышает их количество в расположенном рядом более мелком колодце. На наш взгляд, это может быть связано с индивидуальными особенностями водопунктов селитебных территорий и интенсивностью поступления загрязняющих веществ с поверхности земли (выгребные ямы, компостные кучи и пр.)

Выводы

1. При оценке уязвимости ГВ, приуроченных к песчаным и песчано-глинистым отложениям, для соединений азота наиболее существенными являются следующие факторы: интенсивность

поступления загрязнителя, количество гумуса в почвенном покрове и глинистых частиц в грунтах зоны аэрации.

2. Мощность пород зоны аэрации, сложенной аллювиальными и флювиогляциальными отложениями, при глубине до зеркала ГВ 2...20 м, не оказывает задерживающего воздействия на продвижение соединений азота вниз по разрезу.

3. В перечень водоохраных мер для Ивановского водохранилища необходимо включить строгий контроль за нормами применяемых в сельском хозяйстве минеральных и органических удобрений. Эти нормы не должны превышать 300 кг/га для НРК и 10 т/га для органических удобрений. Особенно важно соблюдение этих требований по отношению к прибрежной водоохранной зоне водохранилища.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Роговская Н. В. Гидрогеологическое картирование. - М.: Наука, 1981.
2. Тихомиров В. В. Содержание терминов уязвимость, защищенность и чувствительность подземных вод// Вестник СПбУ. - 2000. - №1, сер. 7. Геология. География.
3. Guidebook on mapping groundwater vulnerability/ IAH, J.Vrba, A. Zaporozec, ed.- Hannover: Heise, 1994, vol. 16.
4. Zektser I. S. Ground water and environment. Levis Publishers 2000 USA.
5. Голоско Э. М. Исследование экологической безопасности подземных вод с позиции принципов динамической уязвимости (на примере Центральной части МАБ): Диссертация на соискание ученой степени канд. геол.-минерал. наук, п. Зеленый, 2001.
6. Rosen L. A Study of the DRASTIC Methodology with Emphasis on Swedish Conditions // J. Ground Water, - v.32. - № 3.
7. Белоусова А. П. К методике оценки естественной защищенности подземных вод от радиоактивного загрязнения// Водные ресурсы. - 1994. - Т.21. - № 3.
8. Ивановское водохранилище: современное состояние и проблемы охраны. - М.: Наука, 2000..
9. Ахметьева Н. П., Лола М. В., Горькая А. Г. Загрязнение грунтовых вод удобрениями. - М.: Наука, 1991.
10. Копылов А. И. и др. Микробиологическая характеристика воды Ивановского водохранилища// Водные ресурсы. - 2000. - Т.27. - №6.

УДК 613.1+546.212

МЕДИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЯМ РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ПРИ УПОТРЕБЛЕНИИ НЕКОНДИЦИОННЫХ ПИТЬЕВЫХ ВОД (на примере Смоленской области) *

А. Е. ШАПОВАЛОВ (ИВП РАН)

Развернутые эколого-эпидемиологические исследования являются необходимым звеном в оценке влияния качества потребляемых питьевых вод на здоровье населения. Однако объем, характер, продолжительность и специальная подготовка исследовательского персонала обуславливают сложность и высокую стоимость этих работ. Это положение весьма актуально сегодня для России, испытывающей затруднения в их финансировании.

Важность медико-экологических исследований требует разработки методов, позволяющих концентрировать работы по оценке степени риска, связанной с условиями питьевого водопользования на территориях, наиболее напряженных по этому признаку. Особое значение ранжирование территорий приобретает также в связи с открывшейся возможностью применения в России регионального нормирования качества питьевой воды.

В создавшейся ситуации представляется полезным проведение медико-географических исследований, способствующих определению наиболее значимых (с позиций воздействия качества вод на здоровье населения) территорий для осуществления последующих полнообъемных эколого-эпидемиологических исследований. Подойти к их методологии позволяет современная база данных о патогенетическом (вредоносном) значении тех или иных антропогенных и природных примесей в питьевых водах, а также данные о составе последних в конкретном районе и медико-статистические данные органов здравоохранения о характере и уровне заболеваемости населения. Применение современных ГИС-технологий обеспечивает совместное использование этих данных и возможность определения степени напряженности медико-экологической ситуации на конкретной территории в зависимости от качества питьевой воды [2]. Следует отметить, что использование уже имеющихся данных существ-

венно облегчает проведение и снижает стоимость предстоящих работ.

В соответствии с Протоколом по воде и здоровью, подготовленным Экономическим и социальным советом ООН и принятым на третьей конференции "Окружающая среда и здоровье" (Лондон, 17 июля 1999 г.), "...меры по предотвращению, ограничению и сокращению степени распространения заболеваний, связанных с водой, не должны откладываться на том основании, что научные исследования не установили в полной мере причинно-следственной связи между фактором, на который нацелены эти меры, с одной стороны, и потенциальным вкладом этого фактора в распространение заболеваний - с другой".

Таким образом, сложные эпидемиологические работы следует проводить на небольших территориях после экологических аудитов (включающих медико-географическое исследование), выделенных районы, наиболее подверженные негативному влиянию водного фактора. Поскольку водный фактор является постоянно действующим и играет существенную роль в формировании здоровья людей, представляет актуальность оценка как состава питьевых вод, так и влияния их качества на здоровье [6-7].

Институтом водных проблем РАН медико-географические исследования проводятся в Смоленской области, 70% населения которой используют для питьевых целей подземные межпластовые воды; оставшаяся часть потребляет воды грунтовые. Главная водная артерия области - река Шкотьма не в состоянии предоставить питьевой воде достаточно высокого качества.

Смоленская область особенно благоприятна для проведения таких исследований: из-за ограниченного числа различных факторов, которые могут влиять на развитие заболеваний, а именно:

подземные горизонты глубокие, и по оценкам Госсанэпиднадзора и Геомониторинга Смоленской области МПР РФ [1] антропогенное загрязнение - редкое явление на ее территории; проникновение загрязняющих веществ (ЗВ) происходит в основном через скважины. Данные по качеству подземных вод подтверждают этот факт;

органическое загрязнение встречается редко;

повышения контролируемых показателей вызваны природными причинами; промышленность сконцентрирована в нескольких районах, многие предприятия не работают на полную мощность;

многие административные районы являются сельскохозяйственными; сведения по количеству используемых удобрений доступны.

Все это делает возможным предвари-

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 00-05-64671 и 01-05-06111).