

ГЕОГРАФИЯ

*Владимир Матвеевич КАЛИНИН —
заведующий кафедрой экологического
мониторинга и земледования эколого-
географического факультета, доктор
географических наук, профессор;
Владимир Ильич ЧИКОВ —
заведующий отделом мелиорации
и рационального природопользования
НИИСХ Северного Зауралья, кандидат
технических наук, старший научный
сотрудник*

УДК 631: 626. 86

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕЛИОРАЦИИ ЗЕМЕЛЬ НА РЕЖИМ И КАЧЕСТВО ПОДЗЕМНЫХ ВОД

АННОТАЦИЯ. Приведены многолетние экспериментальные данные по режиму и химическому составу подземных вод на орошаемых и осушаемых землях Тюменской области. Показана роль интенсивности сельскохозяйственного использования земель в загрязнении подземных вод биогенными веществами.

The long-term experimental data of regime and chemical composition of ground water of drained and irrigated fields of Tyumen region are adduced. The role of intensity of agricultural land usage in ground water pollution by nutrient substances are shown.

Введение

Интенсивное использование сельскохозяйственных земель предполагает внесение значительных доз минеральных и органических удобрений. В процессе усвоения растениями питательных веществ часть из них теряется и поступает в поверхностные и подземные воды, что ведет к загрязнению водной среды биогенными веществами. Особенно интенсивно подобные процессы происходят на орошаемых и осушаемых землях, где за счет дополнительного увлажнения и близкого залегания грунтовых вод водообмен идет более активно, чем на богаре.

Наблюдения за режимом и качеством подземных вод на мелиорируемых землях начаты Тюменской комплексной геологоразведочной экспедицией в 1972 году. Тогда были заложены гидрогеологические створы на объектах осушения «Кавдык» и орошения «Перевалово». Затем в середине 80-х гг. начаты наблюдения еще на двух объектах — осушения «Усалка» и орошения «Решетниково». К настоящему времени период наблюдения на первых двух объектах достиг 26 лет. Наблюдения не прекращались в 90-е перестроечные годы, и поэтому их непрерывный ряд представляет собой значительную ценность. Кроме того, в начале 90-х гг. резко снизилось или прекратилось совсем использование земель,

что позволило отчетливо выявить воздействие мелиорации на режим уровней грунтовых вод и загрязнение их продуктами сельскохозяйственной деятельности.

Наиболее ярко эти процессы проявились на объектах осушения «Решетниково» и орошения «Перевалово».

Место и методы наблюдений

Участок орошения совхоза «Переваловский» (ныне СХП «Переваловское») расположен на Зауральском плато в пределах склона долины реки Пышмы в 25 км к западу от г. Тюмени. Оросительная система была построена в 1967 г. на площади 184 га, а в 1981, 1982 гг. реконструирована с расширением площади до 611 га [1]. Возделывались однолетние и многолетние травы, а также овощные культуры: капуста, морковь, огурцы, помидоры. Среднемноголетняя, средневзвешенная оросительная норма в целом для орошаемого массива составляла 1800 м³/га. Створ наблюдательных скважин, заложенный Тюменской комплексной геологоразведочной экспедицией в 1971 г., включал 17 скважин на грунтовые и межпластовые воды. Скважины вскрыли в верхней части разреза суглинки бахтинского надгоризонта среднечетвертичного возраста, в основании которого залегают пески разнозернистые с примесями глин. Мощность отложений на участке — 3-10 м. Ниже расположены осадки куртамьшской свиты верхнего олигоцена, состоящие из переслаивания глин, суглинков и песков. Подошва свиты песчаная, залегает на водоупорных глинах тавдинской свиты, которые являются практически абсолютным региональным водоупором.

Круглогодично на участке ведутся наблюдения за уровнем подземных вод: пластовых — 5 раз, грунтовых — 10 раз в месяц.

Наблюдения за химическим составом подземных вод проводятся с 1986 года. Пробы воды отбираются 3 раза в год: перед наступлением весеннего половодья, в середине лета и в конце теплого периода.

Осушительная система «Решетниково» расположена на территории обширного Тарманского болотного массива близ г. Тюмени. Тарманское болото залегает на второй левобережной надпойменной озерно-аллювиальной террасе р. Туры. Площадь болота — 1240 км² [2]. Осушительная система построена в 1980 г., сеть представлена открытыми каналами и участком закрытого гончарного дренажа.

Залежь Тарманского массива главным образом сложена торфами низинного типа. Средняя глубина торфа по всему болоту 2 м. Степень разложения различных видов торфа колеблется от 5 до 50%. В центральной и частично западной частях Тарманского болота с 1960 г. по 1985 г. велась добыча торфа для снабжения Тюменской ТЭЦ, а затем в сельскохозяйственных целях. В настоящее время добыча торфа ведется в незначительных количествах. Участки добычи осушались открытой сетью каналов. Гидрогеологический створ заложен перпендикулярно р. Туре поперек всего Тарманского массива. Скважинами вскрыты подстилающие торф переслаивания мелкозернистых песков и песчаных глин четвертичного возраста. Ниже располагаются палеогеновые мелкозернистые пески с прослоями глин мощностью 25 м, подстилаемые глинами тавдинской свиты [2].

Наблюдения за уровнями подземных вод и их химическим составом ведутся с 1986 г. по методике, аналогичной той, что проводится на участке орошения.

Результаты и их обсуждение

Для анализа режима грунтовых вод на участке орошения была выбрана скважина 5 г. Она расположена в центре орошаемого массива. Многолетний ход грунтовых вод представлен на рис. 1. Из рисунка следует, что после 1974 г. на участке начался устойчивый подъем УГВ всех трех категорий: максимального, среднегодового и минимального. Величина тренда для максимальных уровней составила 4,5 см/год, среднегодовых — 5,6 см/год и минимальных — 3,5 см/год. Повышение УГВ в течение длительного времени можно связать с влиянием орошения. Однако этот подъем УГВ в сильной степени затушевывается естественными колебаниями уровня грунтовых вод, что выявлено при анализе их режима по другим створам, расположенным

на богарных землях [1]. Внимательное рассмотрение графиков на рис. 1 показывает, что подъем минимальных уровней прекратился в 1988 г. — за 7 лет до свертывания орошения на участке — и начался устойчивый спад. Среднегодовые уровни фактически перестали повышаться также с 1988 года. Они как бы стабилизировались. То же самое относится и к максимальным уровням.

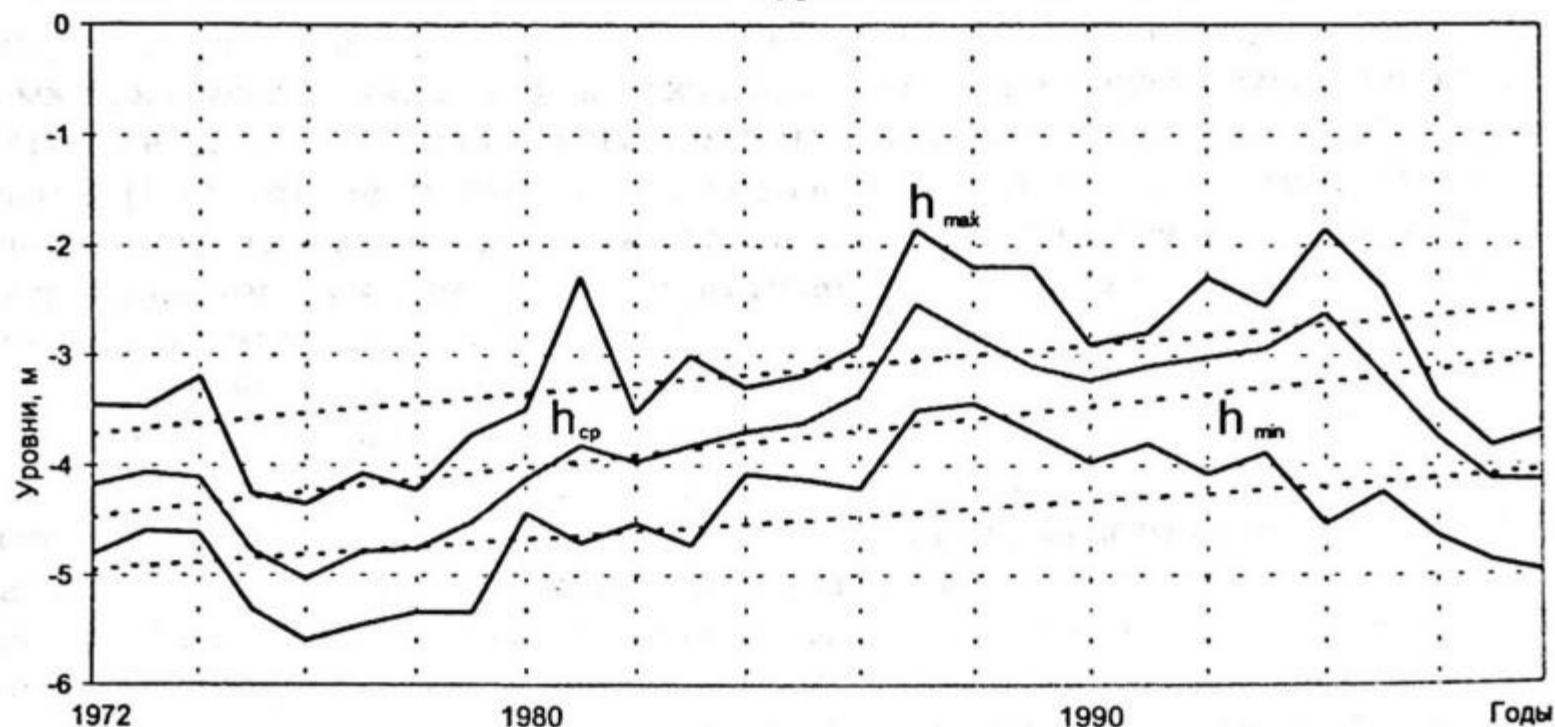


Рис. 1. Ход годовых уровней грунтовых вод (м). Объект «Елань-Ушаково», скв. 5г

Для анализа химического состава подземных вод использованы материалы, представленные ГУПТО ТГУ «Тюменьгеомониторинг», по скважинам 9 г (грунтовые воды) и 7 п (пластовые воды). Указанные скважины расположены на северной окраине орошаемого массива близ д. Елань.

Согласно этим материалам (таб. 1.), грунтовые воды на орошаемом участке характеризуются как гидрокарбонатно-кальциевые с общей минерализацией 548 мг/л., содержание гидрокарбонатных ионов составляет 266 мг/л, или 48,5% от общего количества солей. Ионы кальция занимают второе место — 23,2%, далее следуют сульфаты — 15% и нитраты — 11,1%. Ионы натрия, калия, хлора и магния содержатся в небольшом количестве — 1,6; 0,4; 5,8; 2,7% соответственно.

Таблица 1

Среднегодовые значения содержания ингредиентов
в грунтовых водах орошаемого участка. П. Елань, скв 9 г

| Год | Ингредиент, мг/л | | | | | | | | | | | | | |
|---------|------------------|-----------------|------------------|------|-----------------|-----|----|------|------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| | pH | CO ₃ | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | Ca | Mg | Na | Fe общ. | K | NH ₄ | NO ₂ | NO ₃ | Сух. остат |
| 1986 | 7,5 | 0 | 264 | 41,3 | 79,7 | 153 | 13 | 7,2 | 0,4 | 1,9 | 0 | 0,31 | 96,7 | 657 |
| 1987 | 7,9 | 0 | 260 | 33,7 | 66,0 | 170 | 11 | 8,1 | 1,3 | 1,4 | 0 | 0,53 | 204 | 755 |
| 1988 | 7,5 | 0 | 289 | 29,0 | 44,0 | 143 | 23 | 8,3 | 2,3 | 1,7 | 0 | 0,77 | 188 | 728 |
| 1989 | 7,9 | 0 | 216 | 26,3 | 55,7 | 91 | 13 | 8,0 | 1,7 | 1,8 | 0 | 0 | 39,7 | 448 |
| 1990 | 7,8 | 4 | 244 | 25,3 | 58,3 | 102 | 15 | 6,8 | 5,6 | 1,3 | 0,03 | 0 | 45 | 438 |
| 1991 | 8,0 | 4 | 244 | 37,7 | 78,7 | 126 | 10 | 8,5 | 3,1 | 1,5 | 0,07 | 0,01 | 52 | 502 |
| 1992 | 7,9 | 0 | 264 | 26,8 | 107 | 131 | 12 | 7,8 | 3,9 | 1,8 | 0,4 | 13,4 | 26 | 544 |
| 1993 | 7,8 | 0 | 280 | 36,5 | 86,5 | 124 | 13 | 10,0 | 6,0 | 1,8 | 0 | 0 | 30 | 514 |
| 1994 | 7,7 | 0 | 301 | 39,0 | 101 | 111 | 19 | 18,1 | 5,6 | 0,2 | 0 | 3,4 | 15,5 | 558 |
| 1995 | 7,9 | 0 | 275 | 33,0 | 103 | 119 | 21 | 9,2 | 8,5 | 1,1 | 0,2 | 0,26 | 22 | 471 |
| 1996 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1996 | 7,8 | 0 | 245 | 33,0 | 109 | 119 | 16 | 8,0 | 13,1 | 1,5 | 0,38 | 1,0 | 21,3 | 460 |
| 1997 | 7,8 | 0 | 299 | 25,5 | 98,0 | 133 | 14 | 7,8 | 4,1 | 1,2 | 0,06 | 0 | 18,0 | - |
| 1998 | 7,9 | 0 | 280 | 24,5 | 84,0 | 127 | 13 | 7,8 | 1,7 | 1,2 | 0,06 | 0 | 30 | 500 |
| 1999 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Среднее | 7,8 | 0,6 | 266 | 31,7 | 82,3 | 127 | 15 | 8,9 | 4,4 | 2,0 | 0,09 | 1,5 | 61 | 548 |
| ПДК | 6-9 | | 350 | 500 | | | | 200 | 0,3 | | 2 | 3 | 45 | 1000 |

С точки зрения пригодности грунтовой воды орошаемого участка для питьевых целей, можно отметить превышение предельно допустимых концентраций по двум ингредиентам — железу и нитратам. Повышенное содержание железа как в подземных, так и в поверхностных водах является региональной особенностью на территории Западно-Сибирской равнины.

При этом в пластовых водах содержание железа в два раза больше, чем в грунтовых водах (табл. 1, 2). Концентрация нитратов в грунтовых водах составляет 61 мг/л, что соответствует 1,36 ПДК. В пластовых водах содержание NO_3 незначительно и равно 0,06 мг/л, или 0,18% от общего количества солей. Значительная концентрация ионов NO_3 в грунтовых водах, особенно в первые годы наблюдений, обусловлена применением минеральных удобрений на орошаемом поле. В пользу данного обстоятельства говорят три факта.

Во-первых, динамика концентрации нитратов за период наблюдений полностью отражает те хозяйственные изменения, которые произошли во всей стране, и в частности в совхозе «Переваловский». В 1986-88 гг. содержание NO_3 в грунтовых водах максимальное. В эти годы оно составляет 96,7-204 мг/л, что связано с внесением высоких доз минеральных удобрений. С 1989 г. по 1993 г. происходит резкое падение количества нитратных ионов — до 30-52 мг/л. Удобрений вносится значительно меньше, поле орошается, но с перебоями, нерегулярно. В 1995 г. поливы прекращаются, удобрения не вносятся, концентрация нитратов в грунтовых водах снижается до 15,5-30 мг/л (табл. 1).

Таблица 2

Среднегодовые значения содержания ингредиентов
в пластовых водах орошаемого участка. П. Елань, скв 7 п

| Год | Ингредиент, мг/л | | | | | | | | | | | | |
|--------------|------------------|---------------|------|---------------|----|----|----|------------|-----|---------------|---------------|---------------|--------------------|
| | pH | CO_3 | Cl | SO_4 | Ca | Mg | Na | Fe общ. | K | NH_4 | NO_2 | NO_3 | Сух. ос- таг |
| 1986 | 7,4 | 0 | 8,7 | 2,7 | 70 | 14 | 14 | 2,8 | 3,2 | 0 | 0 | 0,7 | 419 |
| 1987 | 7,6 | 0 | 4,3 | 0,3 | 58 | 15 | 15 | 4,1 | 2,9 | 0 | 0 | 0,3 | 397 |
| 1988 | 7,6 | 0 | 9,3 | 0 | 56 | 15 | 15 | 2,2 | 4,0 | 0 | 0 | 1,0 | 389 |
| 1989 | 7,8 | 0 | 6,7 | 0 | 59 | 15 | 17 | 6,3 | 2,9 | 0,1 | 0 | 1,7 | 399 |
| 1990 | 7,9 | 4 | 8,5 | 0 | 63 | 16 | 15 | 8,8 | 2,6 | 0,03 | 0 | 1,9 | 306 |
| 1991 | 7,4 | 0 | 5,7 | 0 | 59 | 15 | 17 | 7,1 | 3,9 | 0,07 | 0 | 0,82 | 279 |
| 1992 | 7,5 | 0 | 5,3 | 1,3 | 57 | 14 | 17 | 7,5 | 2,9 | 0,4 | 0 | 0 | 280 |
| 1993 | 7,4 | 0 | 4,5 | 0 | 56 | 16 | 18 | 8,7 | 2,8 | 0,8 | 0 | 0 | 276 |
| 1994 | 7,4 | 0 | 10,7 | 0 | 52 | 19 | 17 | 8,2 | 7,3 | 0,4 | 0 | 0,3 | 298 |
| 1995 | 7,7 | 6 | 7,5 | 0 | 56 | 16 | 17 | 8,4 | 2,2 | 0,2 | 0 | 0 | 288 |
| 1996 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1997 | 7,5 | 0 | 5,4 | 0 | 52 | 14 | 23 | 10,8 | 2,4 | 2,2 | 0 | 0,32 | 299 |
| 1998 | 7,5 | 0 | 3,5 | 0 | 64 | 18 | 16 | 13,2 | 2,2 | 0,8 | 0 | 0 | - |
| 1999 | 7,5 | 0 | 5,0 | 0 | 58 | 14 | 17 | 21,0 | 2,0 | 1,2 | 0 | 0,9 | 290 |
| Сред- нее | 7,6 | 0,8 | 6,5 | 0,3 | 58 | 15 | 17 | 8,4 | 3,2 | 0,5 | 0 | 0,6 | 327 |

Во-вторых, отмечается тесная корреляция связи содержания нитрат-ионов с кальцием (табл. 3).

В таб. 3 приведены парные коэффициенты корреляции каждого ингредиента со всеми остальными. Коэффициент корреляции между нитрат-ионом и кальцием равен $r=0,72$. Это говорит только о том, что в качестве минеральных азотных удобрений применялась кальциевая селитра $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Наряду с этим удобрением, вероятно, используется и сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, так как коэффициент корреляции между ионами NH_4 и SO_4 также достаточно высок и равен $r=0,63$ (табл. 3).

В-третьих, содержание нитратов в пластовых водах очень мало. Это связано с тем, что растворы солей, представляющие собой азотные удобрения, в глубокие во-

Таблица 4

Содержание ингредиентов в грунтовых водах
на орошаемом участке по сезонам. П. Елань, скв 9 г

| Сезон | Ингредиенты, мг/л | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----|------------------|----|-----------------|-----|----|----|------------|--------------------|
| | K | NH ₄ | NO ₂ | NO ₃ | pH | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | Ca | Mg | Na | Fe общ. | Сух. ос- тат |
| Весна | 3,3 | 0,05 | 2 | 77 | 7,8 | 264 | 36 | 91 | 132 | 15 | 11 | 5 | 567 |
| Лето | 1,5 | 0,09 | 1,6 | 32 | 7,8 | 263 | 27 | 76 | 117 | 14 | 8 | 4 | 497 |
| Осень | 1,7 | 0,4 | 0,4 | 94 | 7,8 | 272 | 32 | 77 | 136 | 16 | 8 | 4 | 610 |

Такой режим грунтовых вод на объекте «Решетниково» объясняется прекращением фактического использования участка. В результате наступило сильное разрежение травостоя и снижение испарения. Кроме того, по причине прекращения торфодобычи на окружающем осушительную систему болотном массиве наблюдается деградация осушительной сети. Картовые каналы, коллекторы и магистральные каналы разрушаются, оползают и заиливаются. Затрудняется поверхностный сток, особенно в период весеннего снеготаяния. Появляются признаки вторичного заболачивания. Все эти процессы способствуют прогрессивному подъему грунтовых вод на дренажном участке, что фиксируется данными наблюдений по скважине 15 г.

Анализ химического состава подземных вод выполнен по данным скважины 14 г. Среднегодовые значения компонентов представлены в таблице 5.

Как следует из таблицы, грунтовые воды являются гидрокарбонатно-кальциевыми с очень высоким содержанием железа. Значительную роль играют ионы магния (8,9% от минерализации), натрия (5,8%) и хлора (6,7%). С точки зрения соответствия водохозяйственным стандартам, грунтовые воды осушаемого участка имеют много железа — 110 ПДК и аммонийного азота — 2,75 ПДК. Содержание остальных компонентов не превышает предельно допустимых концентраций.

Антропогенное влияние здесь связано с наличием нитратов в грунтовых водах с 1986 г. по 1991 г., когда на осушаемый участок вносили удобрения. С 1992 г. концентрация нитрат-иона стабильно равна нулю. В то же время с 1991 г. повышается содержание аммонийного азота. Это указывает на ослабление процесса нитрификации, связанного с развитием растительности.

Таблица 5

Среднегодовые значения содержания ингредиентов в грунтовых водах
осушаемого участка. П. Решетниково, скв 14 г

| Год | Ингредиент, мг/л | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------------|-----------------|------------------|----|-----------------|-----|----|----|------------|-----|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
| | pH | CO ₃ | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | Ca | Mg | Na | Fe общ. | K | NH ₄ | NO ₂ | NO ₃ | Сух. остат |
| 1986 | 7,4 | 0 | 695 | 54 | 0 | 114 | 68 | 42 | 16 | 2 | 0 | 0 | 1,0 | 976 |
| 1987 | 8,0 | 0 | 537 | 52 | 0 | 72 | 62 | 43 | 25 | 2 | 0 | 0 | 0 | 780 |
| 1988 | 7,2 | 0 | 683 | 60 | 0 | 105 | 67 | 45 | 27 | 2,1 | 0,1 | 0 | 9,0 | 972 |
| 1989 | 7,8 | 0 | 689 | 55 | 0 | 115 | 68 | 45 | 33 | 2,2 | 2,2 | 0 | 22,5 | 999 |
| 1990 | 7,5 | 0 | 730 | 54 | 0 | 69 | 98 | 43 | 32 | 2 | 1,4 | 0 | 18,8 | 738 |
| 1991 | 7,3 | 0 | 708 | 55 | 0 | 91 | 79 | 47 | 31 | 2 | 3,0 | 0 | 12,7 | 707 |
| 1992 | 7,3 | 0 | 662 | 50 | 0 | 101 | 64 | 43 | 27 | 2 | 13,0 | 0 | 0 | 701 |
| 1993 | 7,2 | 0 | 696 | 52 | 0 | 103 | 64 | 46 | 44 | 3 | 10,5 | 0 | 0 | 720 |
| 1994 | 7,2 | 0 | 732 | 57 | 0 | 115 | 72 | 45 | 26 | 2 | 7,2 | 0 | 0 | 745 |
| 1995 | 7,6 | 0 | 659 | 50 | 0 | 79 | 75 | 70 | 39 | 2 | 7,4 | 0 | 0 | 795 |
| 1996 | 7,4 | 0 | 708 | 55 | 0 | 120 | 62 | 47 | 46 | 2 | 11,0 | 0 | 0 | 680 |
| 1997 | 7,8 | 0 | 747 | 52 | 0 | 114 | 71 | 43 | 38 | 2 | 7,4 | 0 | 0 | 729 |
| 1998 | 7,3 | 0 | 732 | 46 | 0 | 111 | 71 | 42 | 40 | 2 | 10,7 | 0 | 0 | - |
| 1999 | 7,1 | 0 | 732 | 47 | 0 | 114 | 68 | 40 | 44 | 2 | 3,0 | 0 | 0 | 720 |
| Сред нее | 7,4 | 0,9 | 693 | 53 | 0 | 102 | 71 | 46 | 33 | 2,1 | 5,5 | 0 | 4,6 | 789 |

Таким образом, общий упадок сельскохозяйственного производства в 90-е гг. существенно отразился на экспериментальных участках орошения и осушения. Прекратились поливы и внесение удобрений, что сразу отразилось на качественном составе грунтовых вод, такая ситуация, пагубная для производства, тем не менее позволила четко выявить роль антропогенного фактора в формировании качественного состава подземных вод. Интенсивная эксплуатация мелиорируемых земель в условиях Западной Сибири вызывает загрязнение подземных вод, что указывает на необходимость поиска экологически чистых технологических решений.

Выводы

1. Длительные, почти 30-летние наблюдения за режимом подземных вод на некоторых объектах осушения и орошения Тюменской области являются ценным репрезентативным материалом, подлежащим тщательному и всестороннему анализу. Особенно важным представляется переломный период, связанный с социально-экономическими реформами 90-х гг., временным следствием которых явилось резкое снижение интенсивности использования земель. Последнее обстоятельство дает благоприятную возможность оценки воздействия мелиорации земель на режим и качество подземных вод.

2. На орошаемом участке начиная с 1972 г. отмечается прогрессивный подъем грунтовых вод с интенсивностью 5,6 см/год. При этом имеет место природная цикличность в режиме уровней, которая затушевывает картину воздействия орошения. Тем не менее, влияние поливов на подъем уровней не подлежит сомнению.

На участке осушения также имеет место подъем уровней с интенсивностью 5,1 см/год. Это связано с фактическим прекращением с 1990 г. использования участка. В результате произошло сильное разряжение травостоя и снижение испарения. Большое влияние оказала так же деградация осушительной сети на прилегающем к участку болоте.

3. Динамика концентраций элементов азотной группы в подземных водах на участке орошения полностью отражает картину хозяйственных изменений. В период интенсивной эксплуатации участка содержание нитратов в грунтовых водах достигает 96,7–204 мг/л. Прекращение внесения минеральных удобрений с 1993 г. приводит к резкому падению концентрации NO_3 до 30–52 мг/л. В пластовых водах содержание нитратов не превышало величины 0,06 мг/л. Это говорит о том, что минеральные удобрения в нижние горизонты не проникают.

4. Антропогенное влияние на химический состав грунтовых вод осушаемого участка связано с наличием нитратов с концентрацией до 22,5 мг/л, вызванным внесением минеральных удобрений. С 1992 г. содержание нитрат-иона стабильно равно нулю. В то же время с 1991 г. повышается содержание аммонийного азота, что связано с ослаблением процесса нитрификации ввиду выпадения травостоя.

5. Выполненное обобщение данных длительных наблюдений выявило безусловное загрязнение подземных вод на мелиорируемых землях за счет минеральных удобрений. Необходимо применение более совершенных технологии в растениеводстве с целью сохранения природного химического состава подземных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калинин В. М., Чиков В. И. Влияние орошения на режим уровней подземных вод // Проблемы географии и экологии Западной Сибири. Вып. 2. Тюмень, 1997. С. 68–80.
2. Калинин В. М., Моторин А. С. Водный баланс и режим осушаемых низинных торфяников Западной Сибири. Новосибирск, 1995. 176 с.