

МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

2

УДК 556.388:621.039.7

© 1995 г.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ В РАЙОНЕ ПО "МАЯК"

*Дрожко Е.Г., Иванов И.А., Алексахин А.И.
Россия, Озерск, ПО "Маяк"*

*Самсонова Л.М., Глаголев А.В.
Россия, Москва, ГПГ Гидроспецгеология*

Представлено краткое описание современного состояния подземной гидросферы района влияния ПО "Маяк", включая оз.Карачай и Течинский каскад водоемов. Показаны масштаб и структура распространения радионуклидного и химического загрязнения от водоемов. Изложены материалы, иллюстрирующие факторы миграции и временные закономерности распространения загрязнения в подземных водах. Приведены основные пути снижения негативного влияния загрязненных подземных вод на окружающую среду, рассматриваемые в рамках Программы реабилитации Уральского региона, пострадавшего в результате деятельности ПО "Маяк".

Небольшое бессточное озеро Карачай, расположенное в междуречье верховьев р.Теча и р.Мишеляк, эксплуатируется как хранилище ЖРО открытого типа. Среднеактивные отходы сбрасываются в оз.Карачай (или водоём 9, В-9), начиная с 1951 г. Вместе с тем в качестве хранилищ низкоактивных ЖРО используется ряд промводоёмов в долине р.Теча, составляющих Течинский каскад водоёмов. Наиболее крупными среди них являются конечные объекты каскада - водоёмы 10 и -11 (В-10 и В-11). Многообразное негативное воздействие указанных хранилищ ЖРО на внешнюю среду, определяемое целым рядом факторов, обуславливает повышенный интерес к проблеме их безопасной эксплуатации.

В качестве радикальной меры предотвращения загрязнения окружающей среды от наиболее опасного источника - водоёма 9 - в плановом порядке с 1986 г. проводится его поэтапная ликвидация. В течение всего периода использования водоёма 9 производятся наблюдения за состоянием подземной гидросферы в этом районе. К настоящему времени проведен большой объем комплексных гидрогеологических и геолого-геофизических полевых и лабораторных исследований. На основе полученных результатов выявлены основные факторы, определяющие масштаб и структуру распространения загрязнения в подземных водах района оз. Карачай.

Водоем 9 тесно связан с подземными водами, образующими единый водоносный горизонт (мощностью 55-100 м), приуроченный к трещинным зонам коренных пород палеозойского фундамента и рыхлым отложениям мезо-кайнозойского чехла.

Непосредственная связь В-9 с подземными водами подтверждается как зависимостью уровня зеркала водоема от уровня подземных вод, так и самим фактом распространения загрязнения в подземных водах.

Определяющими факторами распространения загрязнения в горизонте подземных вод являются:

- ♦ водораздельное положение В-9;
- ♦ постоянная фильтрация промышленных растворов в подземные воды через ложе В-9, подпитываемого промбросами, и наличие линзы загрязненных растворов неразбавленных концентраций (по нитрат-иону), сформировавшейся непосредственно под водоемом;
- ♦ наличие на глубинах 80-100 и более метров практически монолитных пород, которые выполняют функцию относительного водоупора, ограничивающего вертикальную миграцию загрязнения;
- ♦ повышенный удельный вес загрязненных вод, определяющий дифференциацию растворов в вертикальном разрезе;
- ♦ плановая и вертикальная анизотропия фильтрационных свойств водовмещающих пород;
- ♦ сорбционные свойства вмещающих пород;
- ♦ процесс распада радионуклидов, приводящий к "самоочищению" потока загрязненных подземных вод;
- ♦ процесс разбавления загрязненных растворов пресными пластовыми и инфильтрационными водами.

Водораздельное положение В-9 определяет существование постоянного потока подземных вод во всех направлениях от него в

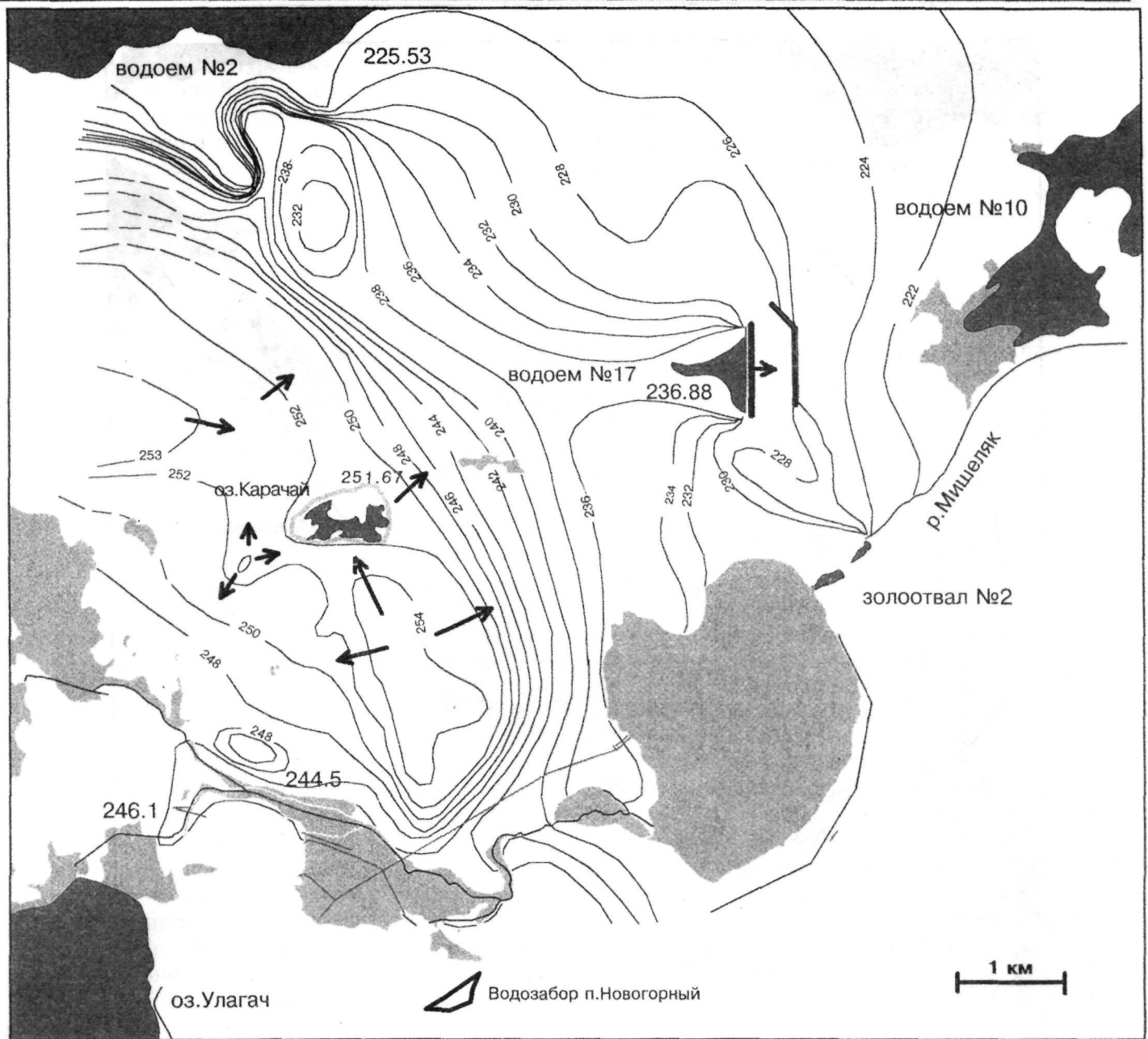
соответствии с гидродинамической структурой. Исключение составляют многоводные годы. Примером таких лет могут служить 1993 и 1994 годы, когда в районе выпало аномально большое количество осадков (ежегодное превышение почти в 1.5 раза среднегодовой величины за 46-летний цикл наблюдений) при очень низком испарении (количество осадков превысило испарение на 405.1 и 143.6 мм соответственно). Это привело к тому, что к югу от В-9 образовалась область с уровнем грунтовых вод, превышающим уровень водоема на 1-2 м (рис. 1). Сформировался устойчивый поток грунтовых вод, который разгружается в водоем и компенсирует фильтрационные потери В-9. В сложившейся ситуации значительно вырос уровень водоема 9, что привело к приостановке работ по закрытию акватории оз. Карачай в 1993-94 годах.

Практически с начала использования В-9 его воды содержат радионуклиды и вредные химические вещества в значительных количествах. За период эксплуатации В-9 в подземные воды поступило порядка 3.5 млн.м³ растворов, содержащих около 1.4·10⁸ кг нитрат-иона и порядка 900 тыс. Ки бета-активных радионуклидов.

По данным штатного контроля за состоянием подземных вод, из В-9 в водоносный горизонт фильтруются растворы с содержанием основных радионуклидов (Sr-90, Co-60, Cs-137, Ru-106) в 20-300 раз меньшим, чем в воде водоема. Содержание нитрат-иона в объеме так называемых неразбавленных концентраций - линзе подземных вод непосредственно под водоемом - превышает его содержание в воде В-9 в 3.5-5 раз.

На рис.2 приведены ореолы загрязнения от водоема Карачай в горизонте подземных вод по состоянию на март 1994 г.

Объем растекания высокоминерализованных растворов оконтуривается по нитрат-иону концентрацией 50 г/л; к северо-востоку от водоема растворы такой концентрации распространены на 0.8 км, к югу - на 1.7 км. Ореол



246.5 Уровень поверхностных вод по состоянию на август 1994 г.

— 240 — Гидроизогипсы

➔ Направление движения подземных вод

Рис.1. Карта гидроизогипс на август 1994 г.

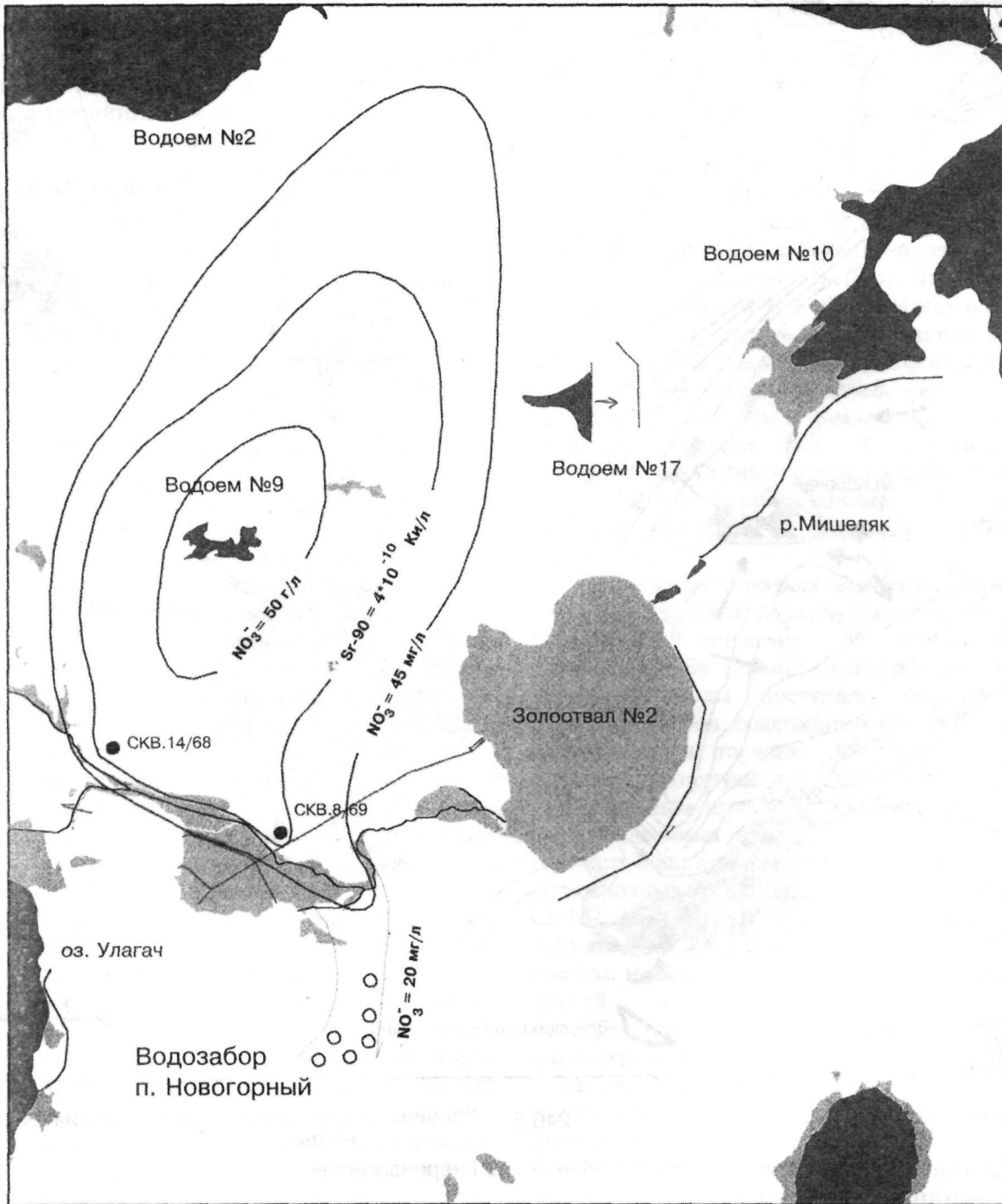


Рис.2. Распространение загрязнения от водоема Карачай в горизонте подземных вод по состоянию на март 1994 г.

рассеяния, оконтуренный изолинией концентрации $4 \cdot 10^{-10}$ Ки/л ($ДК_B$) по стронцию-90 и ПДК по нитрат-иону (45 мг/л), фиксируется на расстоянии:

- ♦ к север-северо-востоку от водоема - на 2.5 км (по стронцию-90) и 4.5 км (по нитрат-иону),
- ♦ к югу от водоема - более 2.5 км (по стронцию-90) и более 3.3 км (по нитрат-иону).

Такая форма ореола загрязнения в плане определяется фильтрационной анизотропией пород водоносного горизонта - рельефом кровли водоупора, литологическими и структурно-тектоническими особенностями строения водовмещающей толщи (разрывные нарушения, зоны повышенной трещиноватости и т.п.).

Сейчас объем загрязненных подземных вод составляет порядка $5 \cdot 10^6$ м³.

За периоды сбросов в В-9 плотность воды в нем изменялась в пределах 1.01-1.08 г/см³, составляя в настоящее время 1.012 г/см³. Плотность подземных вод ореола неразбавленных концентраций около 1.05 г/см³. Разница плотностей загрязненных и естественных вод обуславливает распространение загрязненных растворов в горизонте подземных вод по принципу гравитационного вытеснения ими пресных вод с меньшим удельным весом. Плотностные особенности промышленных растворов и процессы разбавления верхних частей потока пресными инфильтрационными водами обуславливают распространение в верхней части разреза относительно "чистых" растворов с концентрацией по нитрат-иону на 2-3 порядка ниже основного потока (рис.3).

Под действием силы тяжести растворы опускаются до кровли относительного водоупора и мигрируют к участкам разгрузки в интервале глубин 40(60)-100 м. Поэтому наличие к югу от В-9 местного водораздела в горизонте подземных вод не является препятствием для распространения загрязнения от водоема.

Формирование ореола загрязнения вокруг водоема Карачай происходит в условиях значительного превышения расхода потока чистых подземных вод над расходом потока загрязненных растворов. Степень разбавления промышленных растворов чистыми водами значительно меняется в зависимости от водности года и положения уровня подземных вод. Разбавление чистыми водами при распространении загрязнения от водоема определяет скорость продвижения ореола и формирования средней, относительно стабильной его части.

Замедление миграционных процессов происходит вследствие проявления сорбционных свойств пород водоносного горизонта. Способность к сорбции разных компонентов не одинакова: нитрат-ион, тритий, ацетат-ион, хлорид-ион, рутений-106 и кобальт-60 свободно мигрируют в форме анионов и нейтральных комплексов, скорость их распространения практически равна действительной скорости потока; радионуклиды, мигрирующие в катионной форме и в форме сложных комплексов (стронций-90, цезий-137, церий-144, цирконий-95, сурьма-125), достаточно хорошо сорбируются, и их распространение замедлено по сравнению с действительной скоростью потока подземных вод.

Распространение ореола загрязнения радионуклидов в отличие от стабильных компонентов зависит также от их периода полураспада. Наиболее долгоживущие изотопы - уран-235, уран-238, изотопы трансурановых элементов (плутония, кюрия, нептуния) с периодами полураспада тысячи и более лет, а также стронций-90, цезий-137 с периодами полураспада около 30 лет и отчасти тритий (12 лет) при достаточно высоких концентрациях могут сформировать стабильные ореолы рассеяния; распространение этих радионуклидов происходит аналогично стабильным компонентам (без учета сорбции в массиве пород). На практике наиболее экологически опасным является стронций-90. За счет

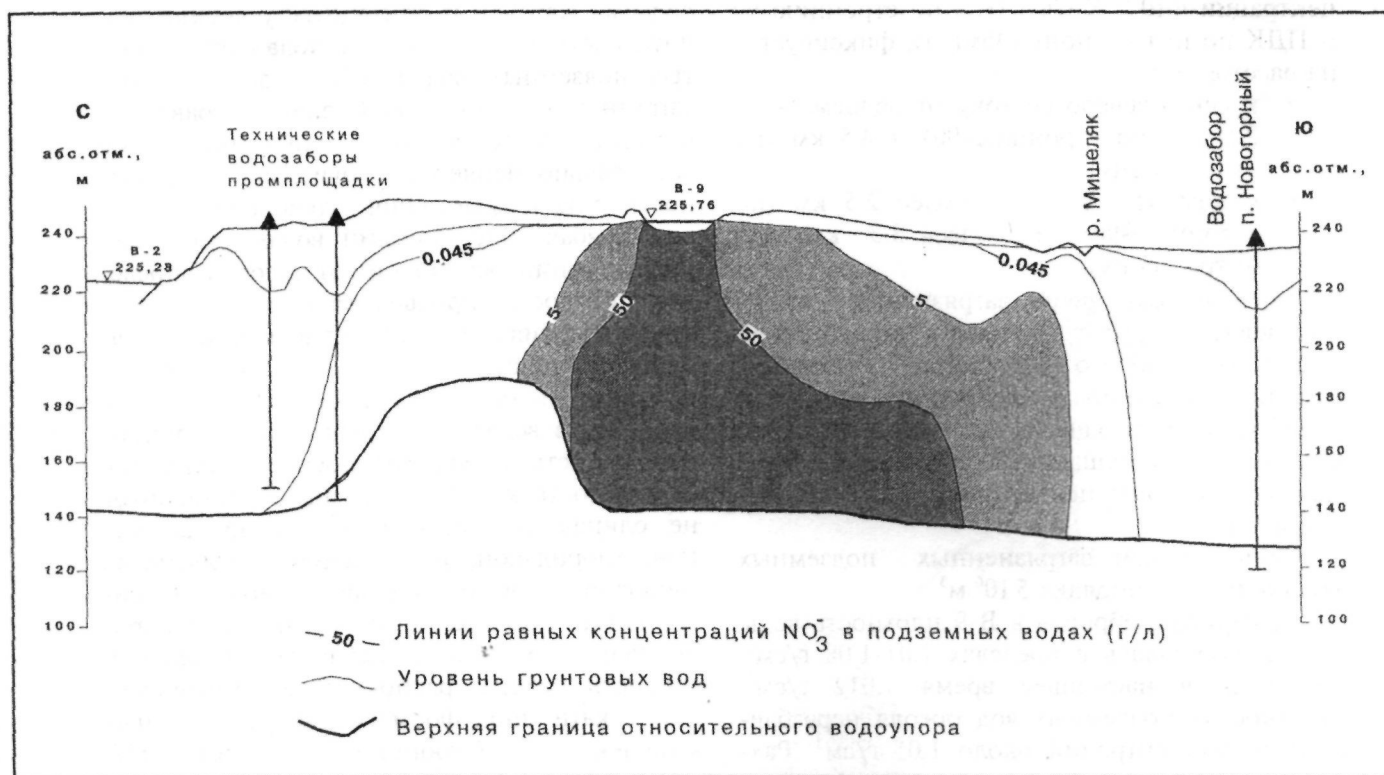


Рис.2. Гидрогеохимический разрез по линии В-2 - В-9 - р. Мишеляк - водозабор п. Новогорный по состоянию на март 1995 г.

высокой концентрации в источнике, токсичности и сравнительно большого периода полураспада он образует ореол рассеяния, по площади и скорости продвижения лишь немногим уступающий ореолу нитрат-иона (стабильного и достаточно химически инертного компонента) (рис.2).

Для контроля за распространением загрязнения в подземных водах выбраны и обоснованы в качестве индикаторов нитрат-ион, стронций-90, кобальт-60, рутений-106, тритий. Сформировавшийся к настоящему времени в подземных водах ореол рассеяния по каждому загрязняющему компоненту в большей своей части характеризуется

относительно стабильным состоянием, то есть наблюдается колебание содержаний около постоянных для каждой точки величин. Фронтальные части ореола характеризуются менее стабильным состоянием за счет невысоких содержаний загрязняющих компонентов, меняющейся степени разбавления, неравномерного поступления загрязнителей в поток и т.д. Средняя скорость продвижения фронтальной части южного ореола, по данным 20-летних наблюдений, составляет около 0.2 м/сут (73 м/год), в том числе по нитрат-иону и стронцию-90 - 0.23 м/сут, по кобальту-60 - 0.14 м/сут. Средняя скорость продвижения

неразбавленных растворов, фильтрующихся от В-9, составляет 0.17 м/сут.

Южная фронтальная часть ореола загрязнения по стронцию-90 вплотную приблизилась к р. Мишеляк, повышенные концентрации нитрат-иона отмечаются в подземных водах на правобережье реки.

Результаты опробования подземных вод южного ореола в последние годы четко отражают динамику роста концентраций стронция-90 (рис.4), что свидетельствует о продолжении миграции техногенных растворов в южном направлении за долину р.Мишеляк к скважинам хозяйственно-питьевого водозабора пос. Новогорный.

Анализ результатов многолетних наблюдений в районе ТКВ позволяет установить влияние промываемых на состояние подземных вод и выделить зоны наибольшего загрязнения: участки плотин 10 и 11, куста наблюдательных скважин 85 и участок "водораздел". Здесь загрязняющие компоненты выносятся за пределы обводных каналов (ПБК и ЛБК), которые в других местах огра-

ничивают распространение техногенных растворов (рис. 5). Оценка масштабов загрязнения выполнялась на основе изучения миграции в подземных водах сульфат-иона и стронция-90, являющихся индикаторами для данного района.

В районе плотины 10 загрязнение связано с обходной фильтрацией и выявлено как на участке северного, так и южного плечевых примыканий плотины. Севернее плотины повышение содержаний сульфат-иона (в границах концентрации 40 мг/л) прослеживается на расстояние до 400-500 м и до 50 м на глубину. В пределах южного примыкания плотины загрязнение обнаруживается вдоль тектонически ослабленных зон на расстоянии до 150-200 м в юго-восточном направлении. В отличие от северного примыкания, стронция-90 здесь не выявлено, что связано с хорошими сорбционными свойствами пород, слагающих придолинный склон р. Теча.

На участке "водораздел" в 1994 году загрязнение подземных вод прослежено на расстоянии 550 м от В-11 (содержание сульфат-иона - 45-340 мг/л, стронция-90 - $n \cdot 10^{-11}$ Ки/л).

Миграции вредных компонентов в подземных водах благоприятствует то, что правобережный канал, не являясь совершенной дренажной, не способен перехватить загрязнение от В-11, которое будет продвигаться в южном направлении в периоды меженного положения уровня подземных вод и существенного понижения при этом уровня на водоразделе В-11 - р. Зюзелга.

В районе куста наблюдательных скважин 85 выявлено загрязнение подземных вод на расстоянии до 400 м от водоёма 11, которое приурочено к тектонически ослабленной зоне, прослеживаемой от В-11 в юго-восточном направлении. Обнаруживаемые содержания

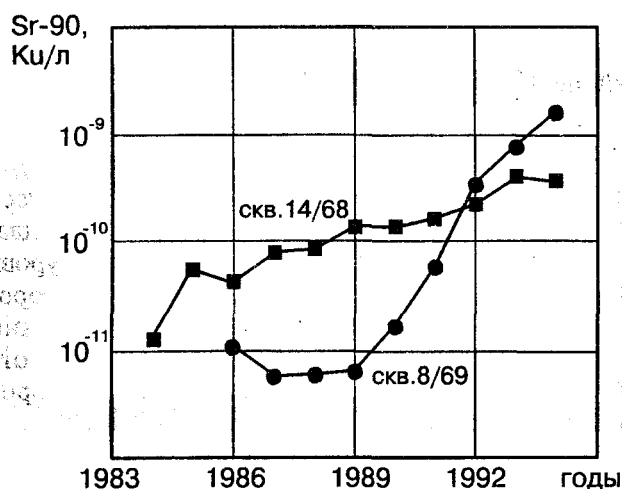


Рис.4. Концентрация Sr-90 в южной фронтальной части ореола загрязненных подземных вод.

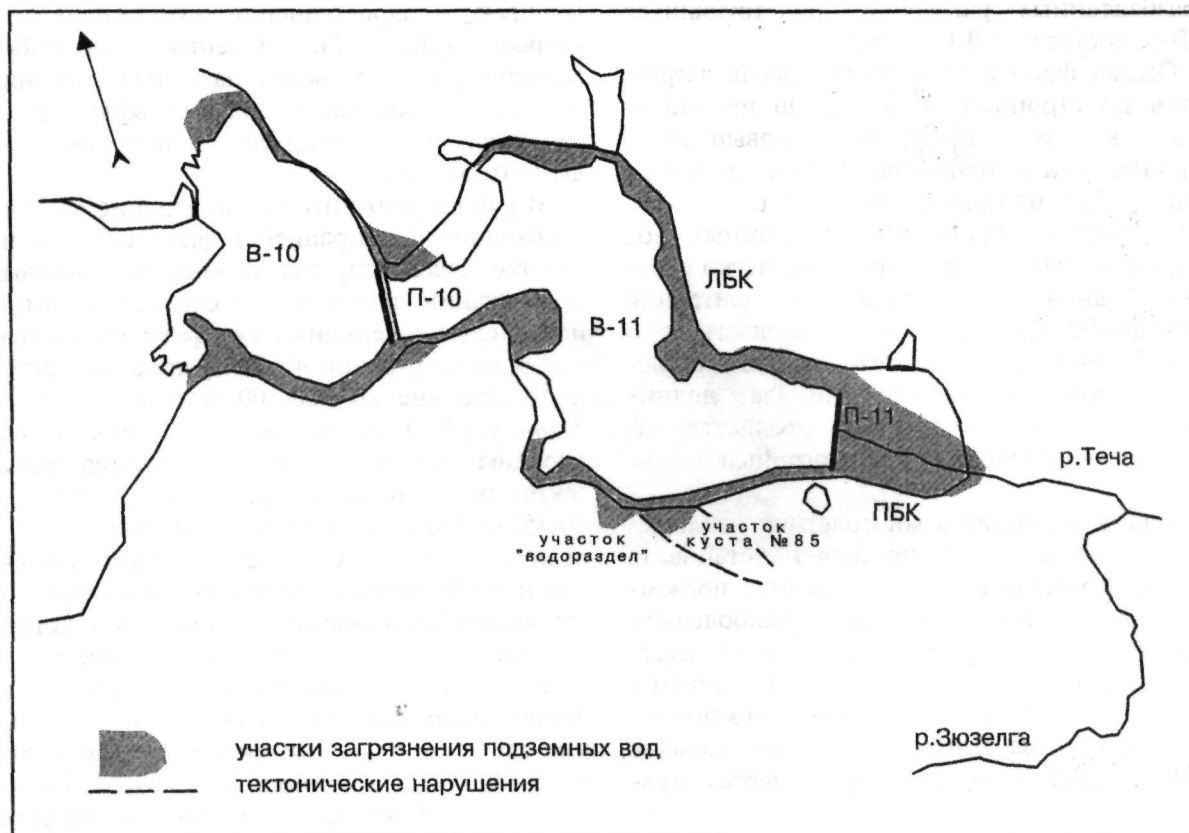


Рис.5. Участки загрязнения подземных вод в районе ТКВ

будут продвигаться в южном направлении в периоды меженного положения уровня подземных вод и существенного понижения при этом уровня на водоразделе В-11 - р. Зюзелга.

В районе куста наблюдательных скважин 85 выявлено загрязнение подземных вод на расстоянии до 400 м от водоёма 11, которое приурочено к тектонически ослабленной зоне, прослеживаемой от В-11 в юго-восточном направлении. Обнаруживаемые содержания стронция-90 (до $2 \cdot 10^{-9}$ Ки/л) показывают, что запас сорбционной емкости глинисто-суглинистых отложений, слагающих

дно водоёма на этом участке, практически исчерпан, и в дальнейшем можно ожидать загрязнения подземных вод до уровня промвод В-11. Основным фактором, сдерживающим распространение техногенных растворов от В-11, является южный поток подземных вод, направленный в сторону водоема.

Загрязнение на довольно обширном участке ниже плотины 11 обусловлено фильтрационным потоком через тело плотины 11, под ней и плечевые примыкания плотины. Здесь граница загрязнения водоносного горизонта в концентрациях по

сульфат-иону 150 мг/л и стронцию-90 $1 \cdot 10^{-11}$ Ки/л фиксируется ниже плотины 11 на расстоянии до 1.5 км и 0.3 км в плане соответственно. Глубина проникновения промрастворов составляет 60-80 м. Небольшие содержания стронция-90 свидетельствуют о высокой сорбционной емкости пород, слагающих дно и берега В-11 на этом участке. Учитывая, что концентрации разгружающихся здесь в р. Течу растворов еще достаточно продолжительное время будут незначительными, существенного вклада в загрязнение гидрографической сети они не вызовут.

В процессе проведенных исследований отслежено загрязнение вод обводных право- и левобережного каналов, обеспечивающих перехват подземного потока, загрязненного промводами В-11. Интенсивность поступления техногенных растворов в каналы определяется:

- ♦ разницей уровней воды в водоеме и канале;
- ♦ литологическим составом, фильтрационными и сорбционными свойствами пород верхней (5-10-метровой) части разреза.

Наиболее неблагоприятные с этой точки зрения участки расположены вдоль ПБК. Концентрация стронция-90 по течению канала нарастает и составляет в створе с плотиной 11 величину $n \cdot 10^{-10}$ Ки/л.

Решение проблемы по исключению негативного влияния загрязненных подземных вод на окружающую среду является в настоящее время одной из важнейших задач. Существенное ухудшение экологической ситуации может произойти, в частности, в случае разгрузки потока подземных вод, распространяющегося от водоёма 9 в южном направлении, в открытую гидросеть (р. Мишеляк) или достижения этим потоком водозабора пос. Новогорный.

В рамках программы по реабилитации территории, загрязненной в результате деятельности ПО "Маяк", приоритетными направлениями являются:

- ♦ разработка на базе трехмерной геомиграционной модели эффективных инженерно-технических мероприятий по локализации, а в дальнейшем и ликвидации линзы загрязненных подземных вод в районе В-9;
- ♦ расширение системы контроля за состоянием подземных вод в районе ТКВ и прогноз распространения загрязнения на основе математического моделирования;
- ♦ разработка инженерных решений по уменьшению выноса загрязняющих компонентов в открытую гидрографическую сеть (ПБК, р. Теча).

Поступила в редакцию в июне 1995 г.