

Янин Е.П. Изменения химического состава подземных вод в условиях интенсивного водоотбора (на примере Саранского месторождения) // Отечественная геология, 2009, № 2, с. 47–53.

Введение

Интенсивная эксплуатация подземных вод для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения обуславливает понижение их пьезометрического уровня и, как следствие этого, формирование депрессионной воронки, что вызывает изменение гидродинамических и геохимических условий в водоносных горизонтах. Это приводит к трансформации химического состава (изменению уровней содержания отдельных компонентов) и в конечном счете к глубокой метаморфизации (изменению химического класса) подземных вод, что, в свою очередь, определяет существенное ухудшение качества питьевых вод и сопровождается негативными эколого-геохимическими и гигиеническими последствиями. Подтверждением этому служат материалы, полученные при изучении химического состава подземных вод, длительное время используемых для водоснабжения г. Саранска.

Район и методика исследований

Для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения г. Саранска используются подземные воды каменноугольных отложений Мордовского (Саранского) месторождения, которое относится к Инсаро-Мокшинскому гидрогеологическому району Сурско-Хоперского артезианского бассейна [5]. Главными структурными элементами осадочного комплекса здесь выступают Посоп-Ромодановская флексура, Иссинская и Сивиньская структуры. В комплексе верхнекаменноугольных пород водоносными являются известняки и доломиты, водоупорными – глины, мергели, плотные известняки. Среднекаменноугольные отложения в верхней части разреза представлены трещиноватыми известняками и доломитами, а в нижней части – переслаивающимися карбонатными породами, песчаниками и глинами. В районе г. Саранска пресные воды верхнего карбона залегают на глубинах порядка 60-80 м, воды среднего карбона вскрыты на глубине 150 м. Водоносные горизонты нижнекаменноугольных карбонатных отложений достигнуты скважинами в пределах Сивиньской и Иссинской структур. На дневную поверхность каменноугольные породы выходят в области Алатырского поднятия и южнее [1, 2, 11]. Известны изолированные выходы их по долинам рек Мокши, Сивини, Инсара и Иссы. Особенностью водовмещающих карбонатных пород явля-

ется их сильная трещиноватость и закарстованность, что определяет условия интенсивного питания водоносных горизонтов и обуславливает активную гидравлическую связь подземных и поверхностных вод.

Водоснабжение г. Саранска осуществляется одновременным функционированием пяти водозаборных сооружений (водозаборов): Центрального, Резинотехника, Октябрьского, Пензятского и Руднянского. Первые два водозабора расположены непосредственно в пределах старой городской застройки («городские водозаборы»); Октябрьский водозабор находится на юго-западной окраине города («пригородный»); последние два («загородные») – за его пределами (на удалении в 8 и 27 км соответственно). Водопроводная сеть в городе закольцована. На указанных водозаборах в летний (июль) и осенний (октябрь) периоды 1991 г. были выполнены ежедневные (8 дней подряд в каждый период) наблюдения за химическим составом подземных вод (т. е. в общей сложности было исследовано 80 проб воды). Отбор проб подземных вод на водозаборных сооружениях осуществлялся в белые полиэтиленовые канистры (объемом 5 л) из предназначенных для этих целей кранов с соблюдением известных требований [13].

Общий химический состав воды (главные ионы, соединения азота, окисляемость, сухой остаток, значения рН, железо) исследовался по стандартным методикам [14], определение фтора осуществлялось потенциометрическим методом (ион-селективный электрод, иономер ЗВ-340), мышьяка – метод бумажной хроматографии. Все анализы выполнялись в расположенной за пределами города (в зеленой зоне) полевой лаборатории, как правило, не позднее 2-3 часов после отбора проб (аналитики Л.И. Кашина и Ю.Я. Чардина). Растворенные формы Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb экстрагировались из воды (в день отбора проб) полимерным тиоэфиром; затем тиоэфирные осадки исследовались в стационарной лаборатории на содержание указанных металлов атомно-абсорбционным методом (ртуть – методом холодного пара). Для определения растворенных форм других химических элементов использовался количественный спектральный анализ (с применением малого камерного электрода) сухого остатка вод (полученного стандартным способом из 0,5 л воды).

Результаты исследований и их обсуждение

Использование подземных вод в г. Саранске началось в 1900-х гг., когда были организованы буровые работы на воду и сооружены первые буровые колодцы [11]. Преобладающее количество последующих скважин имело глубину 50-120 м, которыми были вскрыты водоносные горизонты нижнемеловых и юрских отложений, а на глубине 106-140 м – мощные напорные воды верхнекаменноугольных отложений [1]. Особенно активно каменноугольные

водоносные горизонты стали эксплуатироваться с 1930-х гг. Имеющиеся ретроспективные данные свидетельствуют о том, что воды каменноугольных отложений характеризовались преимущественно гидрокарбонатным кальциевым составом, минерализацией около 400-800 мг/л, несколько повышенными содержаниями сульфатов, магния, иногда натрия, но в целом они отличались неплохим качеством [1, 5, 11]. Однако уже в начальные периоды эксплуатации скважин было замечено, что с их углублением качество подземных вод ухудшается. К настоящему времени интенсивный водоотбор привел к срезке уровня подземных вод, который уже понизился примерно на 80-90 м и достигнул горизонта вод с повышенной минерализацией, высоким содержанием фтора и некоторых других ингредиентов.

Существенное понижение пьезометрического уровня и формирование депрессионной воронки с центром в пределах г. Саранска в конечном счете обусловили значительное изменение химического состава подземных, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения. В настоящее время они отличаются высокими содержаниями практически всех главных ионов, особенно хлоридов, сульфатов, натрия, а также нитратов. Интенсивность изменения химического состава вод коррелирует с продолжительностью эксплуатации водозаборов: чем ближе к центру депрессионной воронки (т. е. к центру г. Саранска) расположен эксплуатируемый водоносный горизонт, тем ярче проявляются изменения в составе вод.

Так, наиболее длительно эксплуатируемые городские водозаборы (Центральный и Резинотехника) отличаются более высокой минерализацией подземных вод, высокими содержаниями в них хлоридов, сульфатов, натрия, аммонийного азота и нитратов (табл. 1). Минимальные значения указанных показателей характерны для вод водозаборов Руднянский и Пензятский (вскрытые ими воды по своему составу, видимо, близки к «естественным» водам). Воды, эксплуатируемые водозабором Октябрьский, занимают своеобразное промежуточное положение. Увеличение содержания главных ионов (исключение составляют гидрокарбонаты) сопровождается существенным ростом минерализации подземных вод и соответственно изменением соотношения эквивалентов между макрокомпонентами (табл. 2). Наблюдается типичный для условий депрессионных воронок переход гидрокарбонатных кальциевых вод в сульфатные натриевые (которые в настоящее время характерны для пригородного водозабора), а затем в хлоридные натриевые (городские водозаборы) воды.

В настоящее время в центральной части Мордовии активно формируется региональная гидрогеохимическая аномалия, которая характеризуется постоянным или эпизодическим превышением гигиенических нормативов по минерализации, фтору и жесткости, повышенными концентрациями хлоридов, уровни которых в отдельные дни наблюдений достигали значений ПДК (предельно допустимой концентрации), нитратов, сульфатов, натрия. Наиболее резко изменения химического состава подземных вод проявлены для центральной части

депресссионной воронки (т. е. в пределах городской территории), где длительно эксплуатируемые подземные воды из пресных перешли в солоноватые, минерализация которых превышает 1 г/л. Присутствие в подземных водах высоких концентраций нитратов (до 11-14 мг/л) свидетельствует, судя по всему, об их поступлении из зоны аэрации, особенно в областях питания водоносных горизонтов, а также при инфильтрации загрязненных поверхностных вод (в пределах промышленно-урбанизированных и сельскохозяйственных территорий). В то же время повышенные уровни нитратов, как и ряда других ингредиентов, в определенной мере могут быть обусловлены их проникновением из глубоких водоносных горизонтов или, например, более интенсивным выщелачиванием из водовмещающих пород [10]. Известно также, что в условиях усиленного водоотбора возможен приток минерализованных вод из более глубоких водоносных горизонтов.

В строении формирующейся региональной гидрогеохимической аномалии прослеживается определенная гидрохимическая зональность, проявляющаяся максимальным увеличением минерализации, содержаний главных ионов (за исключением гидрокарбонатов) и соединений азота в центральных частях депрессионной воронки (т. е. в пределах г. Саранска). К ее периферии минерализация и уровни макрокомпонентов снижаются (концентрации гидрокарбонатов, наоборот, закономерно увеличиваются). В свою очередь, в направлении увеличения общей минерализации изменяются, как уже говорилось, соотношения между главными ионами, что обусловлено направленным ростом содержаний в подземных водах сульфатов, хлоридов и натрия. Рост концентраций по направлению от загородных к городским водозаборам наблюдается и для многих химических элементов с закономерным проявлением максимальных их уровней на водозаборе Резинотехника. В целом подземные воды Саранского месторождения характеризуются значительными (выше средних показателей для вод зоны гипергенеза) содержаниями Al, Cu, Sn, B, Mo, Li, Ba, Ni, а также эпизодическим появлением очень высоких концентраций Cd, Hg, Bi, Co (табл. 3). Если для значительной части металлов можно предположить повышение их концентраций за счет вероятного техногенного загрязнения, то для B, Li и Ba высокие содержания, заметно превышающие средние уровни в водах зоны гипергенеза, могут быть связаны с местными гидрохимическими особенностями и обогащением вод этими элементами в результате взаимодействия с горными породами в условиях неустойчивого гидродинамического режима, свойственного депрессионной воронки.

Наблюдаемые явления (рост концентраций, изменение соотношений между главными ионами, трансформация общего состава вод, формирование зональности) являются закономерным следствием промышленной эксплуатации водоносных горизонтов и в значительной мере связаны с изменениями гидрогеохимических условий водоносных горизонтов [3, 4, 6, 7, 12]. В частности, установлено, что при интенсивном и неравномерном отборе вод происхо-

дит увеличение водопроницаемости карбонатных пород за счет суффозии, процессов растворения и выщелачивания известняков, что интенсифицирует вынос многих макро- и микрокомпонентов, в том числе фтора. При понижении пьезометрического уровня вод в каменноугольных водоносных горизонтах отмечается увеличение кальция, магния, сульфатов, хлоридов и минерализации с глубиной. Фиксируется также рост концентраций нитратов, нитритов, показателя окисляемости. Кроме того, в результате образования безнапорных зон происходит увеличение содержания некоторых микроэлементов. В ходе эксплуатации подземных вод нарушается изоляция водоносных горизонтов, что, с одной стороны, обуславливает вероятность поступления в них загрязненных поверхностных и грунтовых вод, с другой стороны, обуславливает принос из более глубоких горизонтов макро- и микроэлементов, в том числе из-за подтягивания вод к скважинам. Потенциальная возможность загрязнения подземных вод в значительной степени определяется отмеченной выше значительной трещиноватостью и закарстованностью водовмещающих пород, а также существующей гидравлической связью поверхностных и подземных вод.

Сезонные различия в химическом составе подземных вод, наблюдаемые практически на всех водозаборах, во многом связаны с типичным для данных напорных вод гидрогеологическим режимом, а также с характерными для эксплуатируемых водоносных горизонтов преобразованиями геохимических свойств подземной среды и, отчасти, с различным по интенсивности сезонным техногенным загрязнением, особенно в пределах города. Наиболее резкие сезонные изменения фиксировались для магния, фтора, нитратов, легкоокисляемой органики (количество которой характеризуется значениями перманганатной окисляемости). Более высокие концентрации нитратов отмечались, во-первых, осенью, во-вторых, в водах, вскрытых городскими и пригородными водозаборами. Для F, Mg, Ti, Cr и As более высокие уровни наблюдались летом и практически на всех водозаборах. Значения окисляемости были максимальными осенью. Для Al, Fe, Zn, Li, Ni более высокие концентрации характерны в осенний период. Осенью, как правило, наблюдается некоторое повышение уровня подземных вод, чему способствует не только осеннее подпитывание, но и определенное восполнение запасов вод за счет характерного для данного сезона снижения водоотбора, а также из-за инфильтрации воды из зоны аэрации. Воды вступают в контакт с горными породами, что обуславливает активизацию процессов выщелачивания из них соединений азота и таких элементов, как Al, Fe, Li, Ba. Осеннее подпитывание может также сопровождаться поступлением в водоносные горизонты загрязненных азотом и органическими веществами поверхностных вод или вод других горизонтов. В свою очередь, в таких условиях воды вступают в контакт с выше расположенными горными породами, как правило, обедненными фтором, что сопровождается созданием условий менее благоприятных для его водной миграции. Дейст-

вительно, в летний период в исследованных водах фиксировался заметный рост Mg / Ca отношения. Как известно, вследствие различной растворимости фторидов Ca и Mg количество фтора в подземных водах увеличивается с ростом величины указанного отношения [9].

Сезонные и внутрисезонные колебания общей минерализации, содержаний сульфатов и гидрокарбонатов (и изменения соотношений между ними) наиболее значимо проявляются в подземных водах, эксплуатируемых загородными водозаборами. Это свидетельствует о существовании нестабильных гидрогеохимических условий в этих частях депрессионной воронки, что, очевидно, типично для начального этапа эксплуатации подземных вод. Водоносные горизонты, вскрытые городскими водозаборами, отличаются меньшим варьированием концентраций главных ионов и минерализации, т. е. гидрогеохимический режим здесь более стабилен, а воды полностью метаморфизованы и заметно обогащены фтором.

Таким образом, подземные воды г. Саранска, используемые в хозяйственно-питьевых и промышленных целях, отличаются своеобразным геохимическим обликом (гидрокарбонатные магниевые-кальциевые за пределами города и хлоридные натриевые в центре депрессионной воронки) и повышенными содержаниями ряда химических элементов. Характерной особенностью состава подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Саранска и его окрестностей, является присутствие в них фтора в содержаниях, стабильно превышающих верхнее значение предельно допустимой концентрации (ПДК). Результаты специальных исследований свидетельствуют о развитии у детей, проживающих в г. Саранске, флюороза зубов I-III степени, причем интенсивность проявления данного заболевания в определенной степени отражает уровень содержания фтора в питьевой воде [8, 16]. Флюорозоактивность обогащенных фтором вод отчасти сдерживается повышенными концентрациями в них кальция.

Заключение

Интенсивная эксплуатация подземных вод для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения г. Саранска обусловила формирование в центральных районах Мордовии депрессионной воронки, что привело к изменению гидродинамических и геохимических условий формирования состава вод и к ухудшению (с утилитарной точки зрения) их качества. Это проявилось, прежде всего, в трансформации химического состава подземных вод, вплоть до их глубокой метаморфизации и перехода из типичных (зональных) гидрокарбонатных кальциевых в хлоридные натриевые воды. Степень изменения химического состава вод коррелирует с продолжительностью периода эксплуатации водоносных горизонтов. В строении активно формирующейся региональной гидрогеохимической аномалии прослежи-

вается определенная зональность с максимальным увеличением минерализации, жесткости, концентраций главных ионов (за исключением гидрокарбонатов), фтора, соединений азота и некоторых других химических элементов в центральных частях депрессионной воронки. В направлении роста общей минерализации изменяются соотношения между главными ионами, обусловленные существенным возрастанием в подземных водах концентраций сульфатов, хлоридов и натрия.

Подземные воды Саранского месторождения, используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения, характеризуются повышенными содержаниями целого ряда химических элементов, что особенно характерно для фтора, уровни содержания которого практически постоянно превышают верхнее пороговое значение существующей ПДК. В настоящее время в центральных районах Мордовии сформировалась природно-техногенная гиперфторовая биогеохимическая провинция, с которой связана эндемия флюороза. Возникновение ее обусловлено как естественными причинами (повышенные концентрации фтора в глубокозалегающих артезианских водах и его значительные «запасы» в водовмещающих породах), так и техногенными факторами (активный водозабор, изменяющий гидрогеохимические условия и интенсифицирующий накопление фтора и других компонентов в водах).

Необходимо отметить, что гигиенические последствия смены химического класса, увеличения минерализации и жесткости воды на фоне возрастающих концентраций фтора изучены очень слабо. Речь идет не влиянии питьевых вод с повышенной минерализацией и увеличенной жесткостью на человека – этот вопрос неплохо рассмотрен в литературе, а о влиянии достаточно быстрого изменения общего химического состава питьевых вод. Длительное время для жителей г. Саранска типичной питьевой водой являлась гидрокарбонатная кальциевая вода с относительно невысокими минерализацией и общей жесткостью. В настоящее время значительная часть городского населения употребляет в питьевых целях хлоридные натриевые воды с повышенной минерализацией, увеличенной жесткостью, к тому отличающихся высокими концентрациями фтора и ряда других химических элементов и их соединений. Это, безусловно, определяет необходимость дальнейших исследований, направленных на установление эколого-геохимических и гигиенических последствий использования указанных вод в хозяйственно-питьевых целях.

Литература

1. Афанасьев Т.П. Подземные воды Среднего Поволжья и Прикамья и их гидрохимическая зональность. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 262 с.

2. Афанасьев Т.П., Макаренко Ф.А. Геохимическая зональность подземных вод Русской платформы // Изв. АН СССР, сер. геол., 1971, № 1, с. 121-133.
3. Бочеввер Ф.М., Ковалева И.В. Эксплуатационный режим подземных вод в Московском артезианском бассейне // Проблемы гидрогеологии и инженерной геологии. – Минск: Наука и техника, 1978, с. 119-129.
4. Гаврюхина А.А. Формирование подземных вод под влиянием искусственной разгрузки. – М.: Наука, 1964. – 102 с.
5. Гидрогеология СССР. Поволжье и Прикамье. Т. XIII. Ч. 1. – М.: Недра, 1970. – 800 с.
6. Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 248 с.
7. Злобина В.Л. Влияние эксплуатации подземных вод на развитие карстово-суффозионных процессов. – М.: Наука, 1986. – 133 с.
8. Кашина Л.И., Янин Е.П. Природно-техногенная гиперфторовая биогеохимическая провинция в центральных районах Мордовии (формирование, геохимические особенности, экологические последствия) // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы (Тр. Биогеохим. лаб., т. 24). – М.: Наука, 2003, с. 157-173.
9. Крайнов С.Р., Швец В.М. Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. – М.: Недра, 1987. – 237 с.
10. Кудрявцева Н.А. Некоторые закономерности в распространении минерализованных вод на Окско-Цнинском вале // Вопросы геохимии подземных вод. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1969, с. 109-127.
11. Ланге О.К. Подземные воды СССР. Ч. 1. – М.: Изд-во МГУ, 1953. – 270 с.
12. Погребняк И.Ф. Подземные воды Нечерноземной зоны Среднего Поволжья и проблемы их использования // Новые данные по геологии и гидрогеологии Нечерноземной зоны Поволжья. – М.: Геол. фонд РСФСР, 1980, с. 110-120.
13. Руководство по контролю качества питьевой воды: Т. 1: Пер. с англ. —М: Медицина, 1986. – 126 с.
14. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеоздат, 1977. – 541 с.
15. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
16. Янин Е.П. Фтор в питьевых водах города Саранска и его гигиеническое значение. – М.: ИМГРЭ, 1996. – 58 с.

Таблица 1. Химический состав подземных вод Саранского месторождения, мг/л

Водозабор	Сезон	pH	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	Mg ²⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Ж	O ₂	F	С.О.
Руднянский	Лето	7,78	49	117	319	1,56	0,021	46	3,5	50	44	0,77	6,2	1,5	2,21	543
	Осень	7,75	38	80	339	1,68	0,420	24	4,5	58	51	0,49	5,9	2,4	1,55	513
Пензятский	Лето	7,71	58	109	298	1,60	0,014	38	3,2	53	54	0,42	5,5	1,9	2,14	551
	Осень	7,70	57	106	339	1,93	0,019	24	4,1	61	61	0,31	4,9	3,1	1,60	495
Октябрьский	Лето	7,76	199	264	294	2,04	0,011	56	5,9	66	153	0,96	7,9	1,9	2,81	910
	Осень	8,15	203	235	275	9,03	0,009	34	6,4	70	160	0,71	6,2	3,8	1,83	1011
Центральный	Лето	7,70	235	265	283	2,41	0,016	64	5,9	68	148	0,79	8,6	1,9	2,44	933
	Осень	7,71	237	235	282	7,25	0,091	35	6,2	81	166	0,61	6,8	4,2	2,25	1041
Резинотехника	Лето	7,69	308	269	257	2,55	0,017	59	6,7	73	187	1,02	6,8	2,5	2,64	1279
	Осень	7,80	330	209	250	10,75	0,012	38	7,2	84	212	0,73	7,2	4,2	2,45	1288
Среднее	Общее	7,78	171	189	294	7,10	0,063	42	5,3	66	124	0,68	6,6	2,7	2,19	856
	Лето	7,67	170	205	290	2,03	0,016	53	5,1	62	117	0,79	7	1,9	2,45	843
	Осень	7,82	173	173	297	6,13	0,11	31	5,7	71	130	0,57	6,2	3,5	1,94	870
Зона гипергенеза [15]		6,75	10,1	12,4	146	1,56	0,10	11,2	1,8	27,4	13,8	0,52	–	–	0,23	239

Примечание. Здесь и далее в таблицах: Ж – общая жесткость, мг-экв/л; O₂ – окисляемость перманганатная, мгO₂/л; С.О. – сухой остаток; прочерк – нет данных.

Таблица 2. Соотношение между главными ионами в подземных водах Саранского месторождения

Водозабор	Сезон	rMg / rCa	rNa / rCa	rSO ₄ / rCl	rNa / rCl	Класс, группа воды *
Руднянский	Лето	1,53	0,78	1,76	1,38	Гидрокарбонатный, магниевая (Ca ²⁺)
	Осень	0,68	0,77	1,55	2,07	Гидрокарбонатный, кальциевая (Na ⁺)
Пензятский	Лето	1,22	0,92	1,40	1,46	Гидрокарбонатный, магниевая (Ca ²⁺)
	Осень	0,63	0,87	1,37	1,65	Гидрокарбонатный, кальциевая (Na ⁺)
Октябрьский	Лето	1,38	2,01	0,98	1,18	Сульфатный, натриевая (Cl ⁻)
	Осень	0,80	1,99	0,85	1,22	Хлоридный, натриевая (SO ₄ ²⁻)
Центральный	Лето	1,54	1,89	0,83	0,97	Хлоридный, натриевая (SO ₄ ²⁻)
	Осень	0,71	1,78	0,73	1,07	Хлоридный, натриевая (SO ₄ ²⁻)
Резинотехника	Лето	0,88	2,22	0,64	0,94	Хлоридный, натриевая (SO ₄ ²⁻)
	Осень	0,73	2,20	0,48	0,99	Хлоридный, натриевая (SO ₄ ²⁻)
Среднее	Общее	1,01	1,54	1,06	1,29	Хлоридный, натриевая (HCO ₃ ⁻)
	Лето	1,31	1,56	1,12	1,19	Хлоридный, натриевая (HCO ₃ ⁻)
	Осень	0,71	1,52	1,00	1,40	Хлоридный, натриевая (HCO ₃ ⁻)

* В скобках указан ион, эквивалент которого имеет высокое значение (приближается к эквиваленту преобладающего катиона или аниона).

Таблица 3. Химические элементы в подземных водах Саранского месторождения, мкг/л

Водозабор	Сезон	Al	Ti	Mn	Fe	Cu	Zn	Sn	B	Mo	Li
Руднянский	Лето	217	2,9	49	93	14,4	12,8	1,3	313	1,03	52,7
	Осень	200	1,3	23	106	–	15,2	1,1	260	1,07	69,6
Пензятский	Лето	197	2	34	173	12,9	7,3	1,1	277	1,17	37,1
	Осень	250	2,2	29	390	–	10,4	0,9	266	1,51	63,3
Октябрьский	Лето	224	3,4	12	182	13,9	6,1	0,9	376	0,91	45,8
	Осень	353	2,4	22	127	–	19,6	2,5	461	–	46
Центральный	Лето	347	4,2	36	185	12,2	8,9	2,3	301	0,99	36,4
	Осень	450	3,5	37	104	-	11,8	2,1	309	0,99	70,6
Резинотехника	Лето	515	4,9	27	344	39,7	10,3	4,7	417	1,66	72
	Осень	400	2,9	73	882	–	48,2	4,4	467	1,88	105,9
Среднее	Общее	297	3	34,2	259	–	15,1	2,13	345	1,25	59,9
	Лето	300	3,5	32,6	195	18,6	9,1	2,06	337	1,15	48,8
	Осень	331	2,5	36,8	322	–	21,04	2,2	353	1,36	71,1
Зона гипергенеза [15]		190	6,96	34,3	424	4,0	30,3	0,35	35,4	1,16	6,2

Окончание табл. 3

Водозабор	Сезон	Ag	Cr	Ba	Cd	Si	Bi	As	Ni	Hg	Co
Руднянский	Лето	0,09	4,8	82,5	–	6,7	–	1,4	21,9	–	–
	Осень	–	2,0	69,5	–	6,0	–	–	57,4	0,12	–
Пензятский	Лето	0,08	4,6	53,0	0,17	5,2	0,07	2,5	31,2	–	2,0
	Осень	0,04	1,6	74,0	–	6,0	–	–	37,3	0,16	–
Октябрьский	Лето	0,15	11,0	–	–	3,5	–	–	16,7	–	–
	Осень	0,10	3,7	–	–	5,1	–	–	28,8	0,14	–
Центральный	Лето	0,12	3,4	–	–	4,0	–	2,0	32,2	–	3,6
	Осень	0,11	3,6	-	–	5,0	–	–	33,7	0,1	–
Резинотехника	Лето	0,11	5,0	–	0,7	4,5	1,84	2,0	29,8	-	–
	Осень	0,15	2,6	–	–	3,7	-	1,0	48,7	0,1	–
Среднее	Общее	0,106	4,23	69,8	–	5	–	1,78	33,8	–	–
	Лето	0,11	5,8	67,8	0,44	4,8	0,96	1,98	26,4	–	2,8
	Осень	0,10	2,7	71,8	–	5,16	–	1	41,2	0,124	–
Зона гипергенеза [15]		0,22	2,78	14,4	0,20	–	–	1,34	3,11	0,041	0,33