

УДК 556.3:628.1(043.3)  
ББК 26.35

**О БАРЬЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ  
ЗАЩИТЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ОТ  
ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

**Гаев Аркадий Яковлевич** - доктор геолого-минералогических наук, профессор, Оренбургский государственный университет, кафедра геологии, геодезии и кадастра. 460 000, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13, корпус 3, ауд. 3222, e-mail: [gayev@mail.ru](mailto:gayev@mail.ru)

**Куделина Инна Витальевна** - кандидат геолого-минералогических наук, Оренбургский государственный университет, кафедра геологии, геодезии и кадастра. 460 000, г. Оренбург, пр. Победы, д. 13, корпус 3, ауд. 3222, e-mail: [kudelina.inna@mail.ru](mailto:kudelina.inna@mail.ru)

**ДАР БОРАИ ТЕХНОЛОГИЯҲОИ  
ҲИФЗИ ЗАХИРАҲОИ ОБ АЗ  
ИФЛОСШАВИ**

**Гаев Аркадий Яковлевич** - доктори илмҳои геологӣ-минералогӣ, профессор, Университети давлатии Оренбург, кафедраи геология, геодезия ва кадастр. 460 000, ш. Оренбург, х. Ғалаба, х. 13, бинои 3, ауд. 3222, e-mail: [gayev@mail.ru](mailto:gayev@mail.ru)

**Куделина Инна Витальевна** - номзади илмҳои геология ва минералогия, Университети давлатии Оренбург, кафедраи геология, геодезия ва кадастр. 460 000, ш. Orenburg, х. Ғалаба, х. 13, бинои 3, ауд. 3222, e-mail: [kudelina.inna@mail.ru](mailto:kudelina.inna@mail.ru)

**ABOUT BARRIER TECHNOLOGIES FOR  
PROTECTING WATER RESOURCES  
FROM POLLUTION**

**Gaev Arkady Yakovlevich** - Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Orenburg State University, Department of Geology, Geodesy and Cadastre 460 000, Orenburg, Pobedy Ave., 13, building 3, room 3222, e-mail: [gayev@mail.ru](mailto:gayev@mail.ru)

**Kudelina Inna Vitalievna** - Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Orenburg state University, Department of Geology. 460 000, Orenburg, Pobedy Ave., 13, building 3, AUD. Three thousand two hundred twenty two, e-mail: [kudelina.inna@mail.ru](mailto:kudelina.inna@mail.ru)

**Ключевые слова:** водные ресурсы, комплексные барьеры, загрязнение и истощение водных ресурсов

В статье рассмотрены методы совершенствования систем водо- и природопользования за счет внедрения барьерных технологий. Разработанные комплексные гидродинамические и геохимические барьеры, способны защитить водозаборы от загрязнения и обеспечить переход территории на модель устойчивого развития.

**Вожаҳои калидӣ:** захираҳои обӣ, маҷмӯи монетаҳои, ифлосшавии ва тамомшавии захираҳои об

Дар мақола баррасии усулҳои такмили низоми об ва табиат аз ҳисоби ҷорӣ намудани технологияҳои монетагӣ муҳокима шудааст. Маҷмӯи гидродинамикӣ ва геокимёвӣ монетаҳои технологи, ба ҳифзи обанборҳо аз ифлосшавӣ ва таъмини гузариш қаламрави минтақа ба модели рушди устувор мусоидат менамояд.

**Key words:** water resources, complex barriers, pollution and depletion of water resources

*The article discusses methods of improving water and environmental management systems through the introduction of barrier technologies. The developed complex hydrodynamic and geochemical barriers are able to protect water intakes from pollution and ensure the transition of the territory to a model of sustainable development.*

## ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение населения водой питьевого качества является главной задачей водохозяйственных организаций РФ. Этому препятствуют прогрессирующие процессы загрязнения и истощения водных ресурсов, а так же их осолонение и трансграничные водохозяйственные проблемы. Из-за несовершенства технологий в промышленности и в сельском хозяйстве, сжигании больших количеств топлива, в атмосфере, почве и гидросфере распыляются миллионы тонн минеральных ресурсов. Природный комплекс загрязняется и отравляется токсичными отходами производства, отвалами некондиционных руд, горных пород, золой тепловых электростанций и металлургических комбинатов, шлаками и шламами многочисленных предприятий и разнообразным мусором. Процессы загрязнения окружающей среды усиливаются из-за отсутствия во многих урбанизированных районах России очистных сооружений. От процессов загрязнения на больших площадях ухудшается качество поверхностных и подземных вод [7, 9]. Требуются новые подходы и концепция использования и защиты природных вод и водохозяйственных объектов от загрязнения и осолонения. Это особенно актуально для районов с недостаточным увлажнением, к которым относится Оренбуржье [12].

**Геохимические барьеры.** Для решения водохозяйственных задач необходимо внедрять современные технологии. К ним относятся комплексные устройства с геохимическими, гидродинамическими и комплексными барьерами.

Представления о геохимических барьерах разработал и ввел в науку А.И. Перельман в середине прошлого века [11] в процессе исследования проблем ландшафтной геохимии. Он охарактеризовал геохимический барьер как участок в зоне гипергенеза, в пределах которого на коротком расстоянии резко уменьшается интенсивность миграции химических элементов, и они из раствора выпадают в виде трудно растворимых соединений. В настоящее время это понятие расширено и выходит далеко за пределы зоны гипергенеза. Перельманом выделены типы и классы геохимических барьеров. Так, на границе окислительной обстановки с резко восстановительной средой формируется сероводородный восстановительный геохимический барьер. С ним связано формирование медистых песчаников, селеновых, ванадиевых и других руд. С сульфатными и карбонатными геохимическими барьерами связано накопление во вмещающих породах Ba, Ca, Sr. На щелочных барьерах накапливаются многочисленные металлы: Mg, Ca, V, Sr, Cu, Cr, Fe, Mn, Co, Ni и др. А.И. Перельманом выделены так же адсорбционные, кислые и испарительные барьеры, а так же естественные и техногенные барьеры. В развитие идей А.И. Перельмана А.Я. Гаев (1996) охарактеризовал природно-техногенные типы геохимических барьеров, а совместно В.Д. Бабушкиным разработал представления о комплексных гидродинамических и геохимических барьерах [1-3].

Эффективный геохимический барьер можно создать путем закачки в водоносный горизонт перед фронтом ареалов загрязнения искусственных смесей с повышенной экологической емкостью (например, известкового молока). Высокое качество воды обеспечивается путем совмещения геохимического и гидродинамического барьеров. Это особенно эффективно при слабокислой реакции среды трещинно-грунтовых вод, например, в Восточном Оренбуржье. При смене слабокислой среды на слабощелочную формируется щелочной барьер, и на нем выпадают тяжелые металлы и другие компоненты. Эффективность таких барьеров растет за счет применения различных методов очистки загрязненных вод.

Для подготовки и очистки вод от загрязняющих веществ в водоносном горизонте применяются методы адсорбции, нейтрализации, ионного обмена, электрохимические, биологические и др. Наиболее доступны первые три метода. Например, закачка в недра известкового молока не только нейтрализует ситуацию, но и способствует сорбционному извлечению из раствора компонентов-загрязнителей. Сорбционный и щелочной барьеры проявляется при этом совместно, особенно хорошо при добавках флокулянтов и коагулянтов. Для очистки от тяжелых металлов эффективно использовать  $FeCl_3$ , который окисляясь,

образует гидроокислы железа, которые совместно с гидроокислами алюминия хорошо сорбируют тяжелые металлы [4, 5]. Из реагентов широко распространены квасцы – сернокислые соли алюминия, хлориды алюминия, гидроксохлориды, гидроксосульфиды, которые на щелочном барьере образуют с ионами кальция трудно растворимые сульфоалюминаты кальция [3]. Концентрации тяжелых металлов в водоносном горизонте снижаются более чем на порядок. Используются так же смеси солей с нейтральными полиакриламидами и полимерами, не ухудшая параметры фильтрации.

**Механические барьеры.** Полная переработка и утилизация отходов, отвалов пород и руд, отстойников и разнообразных накопителей предпочтительна, но связана с большими затратами, что препятствует реализации этих мероприятий. Кроме того, рекультивации нарушенных земель под этими техногенными образованиями препятствует токсичность накопленных в огромных масштабах отходов горнодобывающего производства. Они зачастую опасны для растений, животных и человека, и это препятствует их использованию в агро- и лесомелиоративных целях. Рекультивации нарушенных земель препятствуют водная и ветровая эрозия с отвалов горных пород и физико-химическая подвижность жидких отходов. Пыление отвалов загрязняет атмосферу и почвы в радиусе до 25 км. Отвалы отходов производства занимают огромные площади и от них в окружающую среду, в подземные и поверхностные воды поступают тысячи тонн загрязняющих веществ, включая тяжелые металлы. Разработано немало способов по защите природных вод от воздействия накопителей жидких и твердых отходов производства. Отвалы покрываются глинистыми грунтами, поверхность отвалов увлажняют, закрепляют арланской нефтью и специальными веществами. Применяют так же сульфатную барду для пылеподавления. Глинистые грунты препятствуют пылению и уменьшают инфильтрацию атмосферных осадков через отвалы. Откосы отвалов защищают от эрозии, покрывая их полимерными пленками и создавая физический барьер из: 1) почвенного слоя; 2) гидравлического барьерного и 3) подготовительного, слоя (рисунок 1). Посевом многолетних трав повышают устойчивость почвы к ветровой и водной эрозии, способствуя так же развитию транспирации. Глинистый слой мощностью в 30–50 см снижает инфильтрацию атмосферных осадков [3].

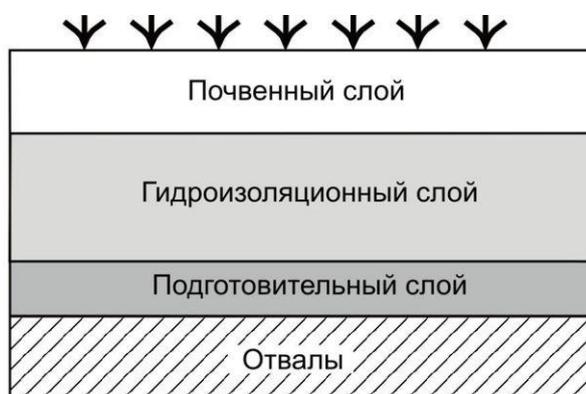


Рисунок 1 - Разрез механического барьера

**Гидродинамические барьеры**, по В.Д. Бабушкину формируются, когда откачка пресных вод сопровождается одновременным дренажом загрязнённых вод. Формируется участок между потоками водозабора и дренажа с зоной раздела, на поверхности которой скорость фильтрации близка к нулю. Размещая раздел потоков в поле пресных вод, мы исключаем поступление загрязнений в водозабор, раздел потоков можно рассматривать в качестве гибкого водонепроницаемого барьера, препятствующего проникновению загрязненных или соленых вод к водозабору. По мере приближения раздела указанных потоков к полю пресных вод, потери пресных вод уменьшаются. При эксплуатации требуются разведочные работы и контроль за режимом уровней и за химическим составом вод, чтобы своевременно уточнять положение границы раздела указанных потоков при эксплуатации водозабора.

**Комплексные барьеры** представляют собой сочетание гидродинамических и геохимических барьерных технологий. Они особенно эффективны в вододефицитных районах при восполнении запасов подземных вод за счет частичной аккумуляции паводкового стока. Они предотвращают последствия неравномерности водного стока,

нарастающего в аридных районах, особенно в летнюю межень, когда тратится много воды, а уровень ее в водоемах и скважинах резко падает [10].

При помощи разнообразных комплексных барьеров разработаны многочисленные способы защиты подземных вод от загрязнения и истощения. Из множества модификаций, остановимся на отдельных наиболее распространенных гидрогеологических ситуациях.

В естественных условиях имеются геохимические барьеры, которые возможно приспособить в технологиях [4-6], совмещая их с гидродинамическими барьерами. При геолого-съемочных работах их целесообразно картографировать, типизируя варианты их проявления и поступления загрязненных вод в окружающую среду и водоемы. Важно отразить особенности проявления источников загрязнения и их ареалов относительно водозаборов [8]. Источники загрязнения могут быть расположены: 1) на склоне долины реки с распространением потоков загрязнения вниз по склону долины к водозабору и речной долине; 2) выше по потоку реки; в этом случае загрязняется инфильтрационный водозабор и водоем; загрязнение может поступать в водозабор и со стороны водоема; 3) загрязнение поступает в водозабор и с водосборной площади и от водоема.

Если источник загрязнения расположен на склоне долины реки, то его можно локализовать путем планировки местности и создания механического барьера в виде стенки из глинобетона или цементной завесы (рисунок 2).

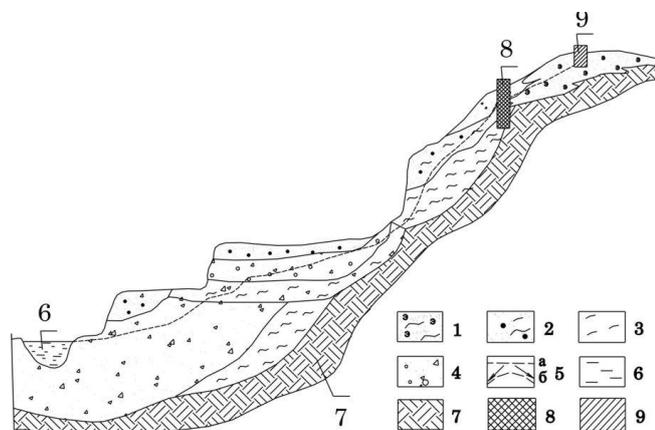


Рисунок 2 - Барьерное устройство на склоне долины перед потоком загрязнения

1 - элювий, 2 - песчано-глинистые отложения, 3 - суглинки, 4 - аллювий, 5 - УГВ, 6 - река с чистой водой, 7 - водоупорные отложения, 8 - барьерное устройство, 9 - источник загрязнения.

В этом случае надо перекрыть полностью проницаемый пласт до водоупорного горизонта. Для этого требуются значительные объемы горнопроходческих и буровых работ и много вяжущих материалов. Ниже по потоку от этого устройства в обязательном порядке должен осуществляться контроль за качеством вод горизонта.

Нередко очаг загрязнения находится уже в долине реки вблизи его источника (рисунок 3)..

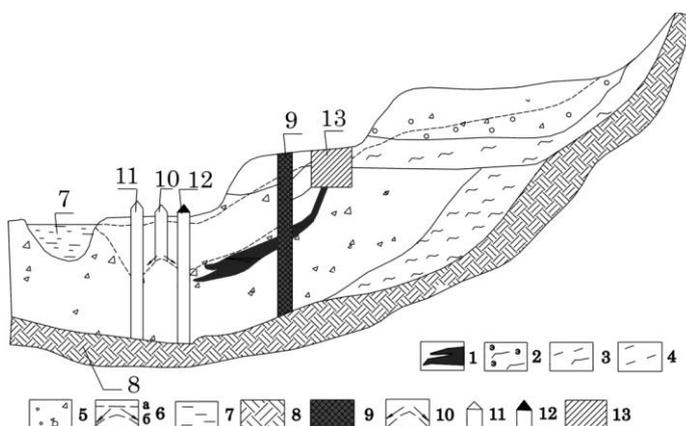


Рисунок 3 - Комплексный барьер в долине реки

1 – потоки загрязненных вод, 2 – элювиальные отложения, 3 – илесто-глинистые отложения, 4 – глины и суглинки, 5 – аллювиальный водоносный горизонт, 6 – уровень грунтовых вод, 7 – р.Сакмара или водоем с чистой водой, 8 – водоупор, 9 – искусственный геохимический барьер, 10 – гидродинамический барьер, 11 – водозаборные скважины чистых вод, 12 – дренаж загрязненных вод, 13 – источник загрязнения.

Устройство гидродинамического барьера и его размеры определяются шириной загрязненного потока, степенью консерватизма загрязняющих веществ и величиной коэффициента фильтрации. В хорошо проницаемых аллювиальных отложениях коэффициент фильтрации составляет от 5 м/сут в супесях до 1000 м/сут, в галечниках. В типичных аллювиальных песках и песчано-гравийных отложениях в бассейне Урала он составляет 20÷50 м/сут. В этом случае исключительно эффективен комплексный гидродинамический и геохимический барьер, который обеспечивает локализацию загрязнения уже проникшего в водоносный горизонт (рисунок 4)

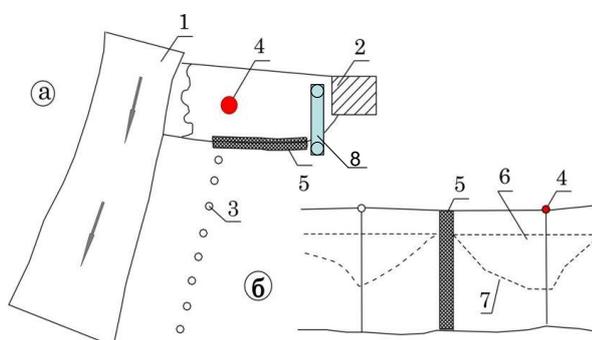


Рисунок 4 - Локализация загрязнения в долине реки: а – план; б – разрез

1 – водоем чистых вод, 2 – источник загрязнения, 3 – водозаборные скважины, 4 – дренажные воды, 5 – комплексный барьер, 6 – статический уровень, 7 – динамический уровень, 8 – установка совмещенного вертикального и горизонтального дренажа.

Комплексный барьер не только извлекает загрязняющие вещества при эксплуатации водозабора и направляет их в систему дренажа, но и увеличивает длину пути и время их миграции к водозаборным скважинам настолько, что возрастает экологическая емкость вмещающих пород. Она становится достаточной для локализации загрязнения.

В варианте, когда источник загрязнения находится в долине реки и выше по потоку от инфильтрационного водозабора, загрязняющие вещества могут поступать к водозабору и со стороны реки степень самоочищения вод определяется длиной их пути в пласте, то есть продолжительностью взаимодействия и физико-химической активностью в системе водопорода. На эти свойства и параметры ориентировано разработанное устройство комплексного гидродинамического и геохимического барьера, когда загрязняющие вещества поступают к водозабору с двух сторон: от источников расположенных на водосборной площади и со стороны водоема. В этом случае рекомендуется устройство двух комплексных барьеров, отделяющих водозабор от потоков загрязнения, поступающих с водораздела и от водоема (рисунок 5). В обоих случаях барьерные устройства защищают водозабор от загрязняющих веществ, образующихся вблизи их источников.

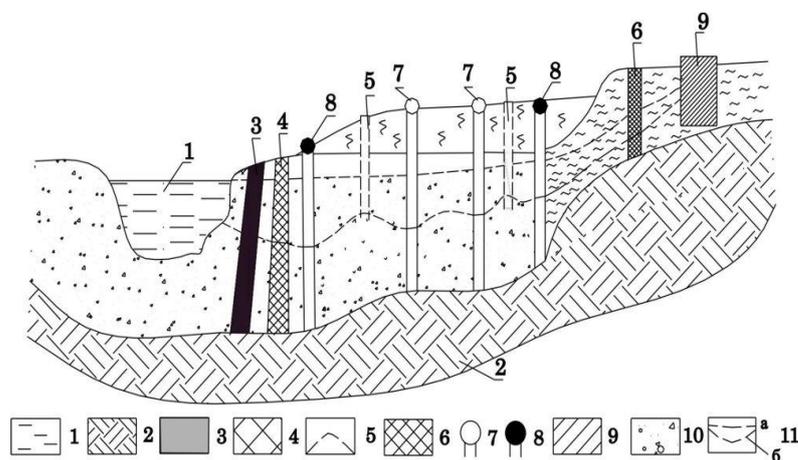


Рисунок 5 - Комплексный барьер, защищающий водозабор от потоков загрязнения, поступающих одновременно с водосборной площади и от реки

1 – река с загрязненной водой, 2 – водоупорные суглинки. Барьеры: 3 – биогеохимический, 4 – природно-техногенный, 5 – гидродинамический, 6 – геохимический, 7 – водозаборные скважины, 8 – дренажные скважины, 9 – источник загрязнения, 10 – аллювиальный горизонт, 11 – УГВ: а – статический, б – динамический.

Геохимический барьер может быть представлен стенкой из глинобетона, цементной завесой или искусственным геохимическим барьером, создаваемым по индивидуальной технологии. Второй барьер расположен вблизи водоема. Он является проницаемым для воды, но задерживает загрязняющие вещества. За геохимическими создаются и гидродинамические барьеры путем формирования поверхности раздела потоков. Граница раздела потоков находится в зоне пресных вод.

Разработанные устройства комплексных барьеров принципиально отличаются от известных в литературе. Они сочетают гидродинамические барьеры с геохимическими, и не имеют пока аналогов в отечественной и зарубежной практике. С учетом особенностей формирования потоков и ареалов загрязнения и взаимодействия источников загрязнения с окружающей средой создан целый ряд устройств комплексных барьеров, размещаемых перед водозаборами. Их особенностью является одновременная эксплуатация питьевых вод и откачка загрязнённых вод, которые рекомендуется использовать в технических и сельскохозяйственных целях.

Защита водозаборов и водоемов с применением комплексных барьеров имеет большие преимущества, обеспечивая существенную экономию производственных площадей, финансовых и материальных средств. Кроме того предотвращается нитрификация органического азота и исключаются технологии удаления осадков.

### Выводы

Проблемы предотвращения процессов истощения и загрязнения водных ресурсов в маловодных районах Южного Урала обусловлены необходимостью коренных изменений в системе природопользования, что имеет место и в других урбанизированных и аридных регионах, отличающихся большой неравномерностью водного стока. Совершенствование систем водо- и природопользования может быть достигнуто за счет внедрения барьерных технологий. Разработанные комплексные гидродинамические и геохимические барьеры, способны защитить водозаборы от загрязнения и обеспечить переход территории на модель устойчивого развития.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бабушкин В.Д., Гаев А.Я., Гацков В.Г. и др. Научно-методические основы защиты от загрязнения водозаборов хозяйственно-питьевого назначения /Перм. ун-т. – Пермь, 2003. – 264 с.
2. Гаев А.Я. Гидрогеохимия Урала и вопросы охраны подземных вод. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1989. 368 с.
3. Гаев А.Я., Алферов И.Н., Гацков В.Г. и др. Экологические основы водохозяйственной деятельности // Перм. ун-т и др. Пермь; Оренбург, 2007. -327 с.

4. Гаев А.Я., Алферов И.Н., Лихненко Е.В., Локоткова Н.С. / Пат. № 47914 РФ / Установка совмещенного вертикального и горизонтального дренажа при локализации загрязненных флюидов / Заявлено 30.05.2005. Опубликовано: Бюл. №. 25. 10.09.05. Приоритет 30.05.2005.
5. Гаев А.Я., Алферов И.Н., Лихненко Е.В., Локоткова Н.С. / Пат. № 55382 РФ Устройство барьерного типа перед водозабором подземных вод / Заявлено 17.11.2005. Опубликовано: Бюл. №. 22. 10.08.06. Приоритет 17.11.2005
6. Гаев А.Я. Кузнецова Е.В., Алферов И.Н., Фоминых А.А., Почечун В.А. / Пат. № 2289658 РФ / Способ локализации загрязнений при эксплуатации водозаборов хозяйственно-питьевого назначения/ Заявлено 11.10.2004. Опубликовано: Бюл. №. 35. 20.12.06. Приоритет. 11.10.2004.
7. Зекцер И.С. Подземные воды как компонент окружающей среды. М.: Научный мир, 2001. - 328 с.
8. Клейменова И.Е., Беликова Н.Г., Гаев А.Я. / Пат. 66702 РФ / Система для очистки загрязненного нефтью или нефтепродуктом грунта/Заявлено 02.05.2007. Опубликовано: Бюл. № 27. 27.09.07 Приоритет 02.05. 2007.
9. Кожевникова Н.К. Водный режим горных лесных бассейнов в период циклонической активности // Вестник КрасГАУ. 2008 № 6 С. 70-79.
10. Куделина И. В. О водохозяйственных проблемах и необходимости разработки программы природопользования для Оренбургской городской агломерации [Электронный ресурс] / Куделина И. В. // Известия вузов Кыргызстана, 2018. - № 1. - С. 92-95. - 4 с.
11. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. - 528 с.
12. Чибилев А.А. Бассейн Урала: история, география, экология. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 312 с.

#### REFERENCES

1. Babushkin V.D., Gaev A.Ya., Gatskov V.G. et al. Scientific and methodological foundations of protection against pollution of water intakes for household and drinking purposes /Perm. un-T. - Perm, 2003-- - 264 p.
2. Gaev A.Ya. Hydrogeochemistry of the Urals and issues of groundwater protection. Sverdlovsk: Ural Publishing House. un-ta, 1989. 368 p.
3. Gaev A.Ya., Alferov I.N., Gatskov V.G. et al. Ecological foundations of water management // Perm. un-t and others. Perm; Orenburg, 2007. -327 p.
4. Gaev A.Ya., Alferov I.N., Likhnenko E.V., Lokotkova N.S. / Pat. No. 47914 of the Russian Federation / Installation of combined vertical and horizontal drainage for localization of contaminated fluids / Announced 30.05.2005. Published: Byul. No. 25. 10.09.05. Priority 30.05.2005.
5. Gaev A.Ya., Alferov I.N., Likhnenko E.V., Lokotkova N.S. / Pat. no. 55382 RF Barrier type device before groundwater intake / Declared 17.11.2005. Published: Byul. no. 22. 10.08.06. Priority 17.11.2005
6. Gaev A.Ya. Kuznetsova E.V., Alferov I.N., Fomin A.A., Pochechun V.A. / Pat. No. 2289658 of the Russian Federation / Method of localization of pollution during operation of water intakes for household and drinking purposes/ Announced 11.10.2004. Published: Byul. no. 35. 20.12.06. Priority. 11.10.2004.
7. Zektser I.S. Groundwater as a component of the environment. M.: Scientific world, 2001. - 328 p.
8. Kleimenova I.E., Belikova N.G., Gaev A.Ya. / Pat. 66702 RF / System for cleaning soil contaminated with oil or petroleum products/Announced 02.05.2007. Published: Byul. No. 27. 27.09.07 Priority 02.05. 2007.
9. Kozhevnikova N.K. Water regime of mountain forest basins during cyclonic activity // Bulletin of KrasGAU. 2008 No. 6 pp. 70-79.
10. Kudelina I. V. On water management problems and the need to develop a program of environmental management for the Orenburg urban agglomeration [Electronic resource] / Kudelina I. V. // Izvestiya vuzov Kyrgyzstan, 2018. - No. 1. - pp. 92-95. - 4 p.
11. Perelman A.I. Geochemistry. M.: Higher School, 1989. - 528 p.
12. Chibilev A.A. Ural basin: history, geography, ecology. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2008. 312 p.