

Санкт-Петербургский государственный университет

*На правах рукописи*

СИДИБЕ Мори

**Экологические проблемы водных ресурсов Мали  
(на примере района Бамако)**

специальность 25.00.36 - геоэкология

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

**Санкт - Петербург, 2005**

Работа выполнена на кафедре гидрогеологии Санкт-Петербургского государственного университета

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, профессор  
Аркадий Николаевич Воронов

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор  
Павлов Александр Николаевич  
кандидат геолого-минералогических наук, доцент  
Мартынова Марина Анатольевна

Ведущая организация: Всероссийский геологический институт им. А.П.Карпинского  
(ВСЕГЕИ)

Защита диссертации состоится « 19 » мая \_\_\_\_\_ 2005 г. в 15 час. в аул. 52.  
гл. здания СПбГУ, на заседании диссертационного совета Д 212.232.47 по защите  
диссертаций на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук пр  
Санкт-Петербургском государственном университете.

Адрес: 199034 Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9, геологический факультет.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. А.М.Хорького СПбГУ.

Автореферат разослан « 8 » Апреля 2005 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
Кандидат геолого-минералогических наук



И.Ю.Бутрова

*Актуальность темы диссертации* Республика Мали находится в западной части Африки, где вопросы водоснабжения в силу климатических особенностей стоят особенно остро. Значительная часть территории находится в зоне пустынь и полупустынь, где подземные воды служат единственным источником водоснабжения. Однако гидрогеологические условия территории страны изучены недостаточно. В районах компактного проживания в настоящее время обострились экологические проблемы в связи с опасностью загрязнения источников водоснабжения. Достаточно остро стоят эти вопросы и в столице республики Мали - Бамако, где проживает основная часть населения. Местные жители используют для водоснабжения горизонт грунтовых вод и первый от поверхности напорный водоносный горизонт, которые эксплуатируются, соответственно, колодцами и неглубокими скважинами. В столице экологические проблемы водных ресурсов играют решающую роль в создании благоприятных условий проживания, в связи с чем работа является весьма актуальной.

*Цели и задачи исследования.* Основной целью работы стало обобщение всего накопленного гидрогеологического материала по территории республики, районирование ее по гидрогеологическим условиям, выявление экологического состояния водных ресурсов в районе Бамако. В задачи работы входил сбор фактического материала по территории Мали, установление условий питания и разгрузки подземных вод, анализ их защищенности. Особое внимание уделено району Бамако. Основной задачей был анализ состояния подземных вод в колодцах и скважинах Бамако с точки зрения соответствия нормам для хозяйственно-питьевого водоснабжения и установление степени загрязнения, а также разработка рекомендаций по охране подземных вод.

*Научная новизна исследований.* Впервые на единой методической основе произведено обобщение данных по гидрогеологии всей территории республики Мали. Проведено ландшафтное районирование, установлена его связь с гидрогеологическими условиями региона. Оценена защищенность подземных вод района Бамако и их экологическое состояние. Для района Бамако впервые проанализированы данные химического анализа подземных вод колодцев и скважин, используемых для

водоснабжения. Установлена степень загрязнения подземных вод, разработаны меры по защите подземных вод от загрязнения.

*Исходные материалы и методика исследований.* В основу работы положены геологические, гидрогеологические и геоэкологические материалы, собранные автором в опубликованной и фондовой литературе по республике Мали как на территории республики, так и во время обучения в аспирантуре СПбГУ. Эти материалы дополнены результатами собственных исследований автора в районе Бамако и данными химических анализов воды, проведенных в лаборатории кафедры гидрогеологии.

При обработке данных автором использованы статистические методы обработки фактического материала. Защищенность подземных вод от загрязнения оценивалась с помощью методики Гольдберга. При определении экологического состояния подземных вод применялись нормативы Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ).

*Практическая значимость.* Разработанные в диссертации положения и полученные результаты, а также практические рекомендации по защите подземных вод помогут административным органам Мали решать задачи управления водными ресурсами. Материалы включены в курсы лекций, читаемых на кафедре гидрогеологии.

#### *Основные защищаемые положения*

1) Впервые для территории Мали составлена схема зональности грунтовых вод на основе проведенного автором ландшафтного районирования. Выявлена прямая связь между характером ландшафта и глубинами залегания и составом грунтовых вод.

2) Впервые в районе Бамако произведена оценка защищенности и составлена карта защищенности грунтового и напорного водоносного горизонта. Выявлено, что в оба эксплуатируемых водоносных горизонта в районе Бамако относится к категории слабозащищенных.

3) Для района Бамако впервые разработан комплекс мер по охране подземных вод от загрязнения: рекомендуется выделение зон санитарной охраны у всех водопунктов, отведение дренажных стоков, использование искусственных и естественных биологических методов очистки загрязняющих вод поверхностного стока, создание системы канализации, гидрохимическое обследование всех водопунктов на территории

Бамако и организация системы мониторинга подземных вод. Для организации хозяйственно-питьевого водоснабжения рекомендуется создание системы централизованного водоснабжения с водоподготовкой.

*Апробация работы.* Основные положения и выводы диссертации докладывались на ряде конференций и семинаров в Санкт-Петербургском государственном университете и опубликованы в Вестнике Санкт-Петербургского университета.

*Объем и структура работы.* Работа состоит из введения, семи глав, заключения и списка использованной литературы. Работа содержит 21 рисунок и 5 таблиц.

Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю проф. А.Н.Воронову, сотрудникам кафедры гидрогеологии Санкт-Петербургского университета Е.А. Вивенцовой, Н.А.Виноград, Е.Л.Каюковой, Н.И. Суминой и всему коллективу кафедры за постоянные консультации и поддержку.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Глава 1. Физико-географический очерк. Географическое положение и климат.** Республика Мали — крупнейшая страна Западной Африки — находится практически в ее центре и не имеет выхода к морю. Страна почти полностью расположена в тропическом поясе. В республике жаркий и засушливый климат, который можно охарактеризовать как тропический и частично субэкваториальный.

На территории Мали можно выделить 3 крупные климатические области - сахарскую, сахельскую и суданскую. Основным критерием для выделения областей служит количество выпадающих осадков. Границы между ними проходят в широтном направлении. Впервые автором составлена карта ландшафтных зон Мали.

Большое значение для формирования ресурсов подземных вод имеет доля осадков, достигающая уровня грунтовых вод. Атмосферные осадки являются одним из источников поступления солей на поверхность земли и в грунтовые воды.

Основу гидрографической сети образуют две крупнейшие западноафриканские реки — Нигер и Сенегал. Поверхностные воды часто гидравлически связаны с грунтовыми водами. В засушливых зонах поверхностные воды служат источником питания для грунтовых вод. Этому содействуют разливы реки Нигер и значительные

площади орошаемых земель. Колебания уровней поверхностных вод отражаются на уровнях грунтовых вод.

Республика Мали — чисто аграрная страна, для которой характерно почти полное отсутствие промышленности. Основные направления развития сельского хозяйства — кочевое и полукочевое скотоводство и земледелие. Промышленность страны находится в зачаточном состоянии. Энергетика также развита слабо.

**Глава 2. Геологическое строение.** В рассматриваемой части Сахарской платформы принимают участие складчатые структуры фундамента метаморфитов архейско-раннепротерозойского возраста и субгоризонтально залегающие или пологоскладчатые вулканогенно-осадочные образования чехла. Осадочный чехол бассейна (до 4000 м) сложен мощными толщами верхнего протерозоя и палеозоя, несогласно перекрытыми маломощным мезозоем и кайнозоем и прорывными интрузиями различного состава. В ряде районов платформенный чехол отсутствует, и на дневную поверхность выходят породы фундамента. Главнейшими платформенными структурами являются: синеклиза Таудени (Суданская зона опускания) и Мали-Нигерская синеклиза. Синеклизы разделены Суданским прогибом (авлакогеном Гурма).

Фундамент образован сложнодислоцированными метаморфическими комплексами, чехол начинается верхнепротерозойскими разнообразными песчаными толщами (несколько сот метров), над которыми залегают глинистые сланцы с прослоями кремнистых пород и песчаников.

Палеозой установлен только в разрезе синеклиз. Кембро-силурийские образования представлены песчано-сланцевыми толщами (до 1500 м) с карбонатными прослоями в верхней части. Девон сложен чередованием известняков и мергелей с прослоями песчаников и глин. Каменноугольная система внизу карбонатно-глинистая, вверху песчано-глинистая с горизонтами ископаемых почв и многочисленными остатками ископаемой флоры (200 — 1000 м).

В унаследованных впадинах и синеклизах чехла происходит накопление существенно континентальных красноцветов «промежуточной континентальной

толщи», нижнего мела (?). Она широко представлена на севере, востоке и в центральной части страны, где перекрывается «конечной континентальной серией» неогена.

На промежуточной континентальной толще или непосредственно на фундаменте с размывом залегают морские и лагунные пески верхнего мела - нижнего эоцена. На северо-западе Мали-Нигерской синеклизы верхнемеловые отложения начинаются известняками и глауконитовыми песчаниками и представлены переслаиванием известняков, глин, мергелей суммарной мощностью 400-700 м. В грабене Гао-Ансонго они разделены на три серии: 1) лигниты с глинами, 2) слюдистые и глауконитовые песчаники, 3) молассы.

Широко распространенные континентальные образования миоцена - плиоцена, выделяются в конечную континентальную серию. Она представлена разнообразнейшими глинами, песками, гравелитами, конгломератами и осадочными брекчиями с обломками глин, алевролитов и остатками окремнелой древесины, с размывом залегающая на подстилающих отложениях (до 1000 м в грабене Гао). На юге и в центре синеклизы Таудени конечная континентальная серия залегают на докембрийском фундаменте.

Четвертичные отложения чрезвычайно разнообразны и представлены пестрой по составу толщей линзовидных континентальных отложений. Повсеместно развиты покровные железисто-латеритные и железистые кирасы. Изредка отмечаются следы вулканической деятельности.

В генетическом отношении выделяются следующие образования: латериты, аллювиальные отложения, озерные отложения и пустынные дюны.

**Глава 3. Гидрогеологические условия.** В гидрогеологическом отношении территория относится к Внутренней гидрогеологической области Африки. Мали расположена в пределах Тауденийского и Мали-Нигерского артезианских бассейнов.

Тауденийский бассейн приурочен к одноименной синеклизе, имеющей неправильную прямоугольную форму, и занимает площадь около 1,8 млн. кв. км. Фундамент синеклизы и обрамляющие горные массивы являются областью питания

бассейна. Подземные воды области питания формируются в зонах экзогенной трещиноватости и разрывных нарушений.

Мали-Нигерский артезианский бассейн включает южные склоны нагорья Ахагар, примыкающие к нему плато и возвышенности, а также расположенную между ними наклонную равнину, на юге простирающуюся до долины реки Нигер. Внутренняя область питания и накопления подземных вод бассейна совпадает с Мали-Нигерской синеклизой. Водоносны в ее разрезе отложения палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Лучше других изучены подземные воды промежуточной континентальной толщи (верхний карбон - нижний мел), верхнего мела, конечной континентальной толщи и четвертичных образований.

Гидрогеологические условия республики определяются геологическим строением и климатом. Выделяется несколько регионально развитых водоносных комплексов и зон развития трещинных вод. Гидрогеологические массивы занимают более половины территории Мали. Водообильность трещиноватых зон диктуется климатом, а отсутствие водоупоров определяет наличие гидравлической связи поровых и трещинных вод.

Наибольшее значение имеет водоносный комплекс четвертичных аллювиальных отложений, развитый в центральной части страны в долине реки Нигер. Водовмещающие породы - пески и песчаники с прослоями глин. Глубина залегания подземных вод - 5 - 10 м. Слабоминерализованные воды гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-сульфатные, натриево-магниевые, а высокоминерализованные - сульфатно-хлоридные натриевые и натриево-магниевые. Минерализация увеличивается как по мере удаления от реки, так и вниз по течению от 100 мг/л до 1,25 г/л. Основные источники питания комплекса - это атмосферные осадки, выпадающие на юге территории, и поверхностные воды Нигера.

В дочетвертичных отложениях осадочного чехла выделяются водоносные комплексы юрско-эоценовых, мезозойско-третичных, мезозойских, кембрийских и докембрийских отложений. Имеются и зоны трещинных вод кристаллического фундамента. Водообильность дочетвертичных пород в основном невысокая, наиболее обводненные зоны приурочены к разломам, секущим песчаники. Воды в большинстве

случаев напорные, со статическими уровнями, устанавливающимися на глубине 30–45 м. Севернее 18° с.ш. отложения континентальной толщи безводны. Отмечается повышение минерализации от внешних областей питания бассейнов к внутренним, от верховьев долин к низовьям. Есть и вертикальная зональность в изменении состава подземных вод и их минерализации. Обеспеченность территории пресными водами неравномерная. Северная часть страны обеспечена этими водами слабо, южная – значительно лучше.

Глава 4. Процессы формирования ресурсов и состава подземных вод. В последние годы процессы формирования состава подземных вод значительно усложнились из-за серьезного техногенного воздействия на гидросферу. Проанализированный автором материал позволяет на новой фактографической базе провести анализ факторов формирования химического состава подземных вод Мали.

Состав подземных вод зависит от целого ряда природных факторов, среди которых важнейшее значение имеет солевой состав атмосферных осадков, состав пород зоны аэрации, состав вмещающих пород, которые выщелачиваются и растворяются подземными водами и с которыми воды вступают в обменные реакции во время движения по водоносному горизонту. К этим факторам в настоящее время прибавился антропогенный. Часть подземных вод, особенно в засушливых районах, обязана своим происхождением процессам конденсации. Грунтовые воды получают дополнительное питание поверхностными водами. На состав вод более глубоких горизонтов могут оказывать влияние глубинные седиментогенные и ювенильные растворы.

Водные ресурсы верхних горизонтов испытывают при своем формировании воздействие большого числа природных факторов, которые могут быть подразделены на региональные и локальные. Одним из важнейших региональных факторов является климат. Среди климатических факторов большую роль в процессе формирования ресурсов и состава подземных вод играют атмосферные осадки и температура воздуха. По мере удаления от моря минерализация осадков быстро уменьшается. Значительная метаморфизация осадков отмечается в окрестностях городов и горнодобывающих предприятий, в частности, в окрестностях Бамако, где в осадках возрастает содержание сульфатов, углекислоты и других специфических компонентов различных производств.

Серьезное влияние на состав подземных вод верхних горизонтов оказывает растительность. Состав подземных вод испытывает также влияние почвенного покрова. Дальнейшее формирование состава подземных вод продолжается в зоне аэрации, где большое значение приобретают обменные реакции. На основе ландшафтного районирования выделены *три зоны*, различающиеся по химическому составу и глубинам залегания грунтовых вод. Чрезвычайно велико влияние состава водовмещающих пород на состав подземных вод, которое особенно проявляется в зонах развития соленосных и гипсоносных образований.

В аридных зонах под влиянием высоких температур воздуха, особенно при неглубоком залегании зеркала грунтовых вод, минерализация вод достигает больших значений, и их состав не соответствует составу водовмещающих пород. Аналогичные явления отмечаются в городах и других регионах со значительной техногенной нагрузкой. Рельефом обусловлены особенности питания, скорости движения, водообмена и закономерности пространственного распределения подземных вод.

При повышении уровней воды в реках обычно отмечается уменьшение уклонов и расходов потоков грунтовых вод, и по достижении определенной величины подъема речных вод поступление грунтовых вод в реку прекращается. В районах недостаточного увлажнения пополнение ресурсов грунтовых вод речными происходит только во время паводков, когда их минерализация обычно понижается, состав их тоже меняется.

На формирование химического состава грунтовых вод Мали оказывают влияние и наличие разрывных дислокаций, рудных и нерудных месторождений, время формирования подземных вод, фильтрационный путь и т. д. Все большее влияние оказывает инженерная и хозяйственная деятельность человека, связанная с изменением режима поверхностных вод и загрязнением окружающей среды.

**Глава 5. Эколого-гидрохимическая характеристика водных ресурсов.** Подземные воды района Бамако исследованы в 75 колодцах и скважинах территории, по результатам 155 анализов автором проведена статистическая обработка материала.

Воды четвертичных отложений вскрываются в районе Бамако колодцами, используемыми для местного водоснабжения. Их минерализация варьирует от 10 до 360

## II

мг/л при среднем значении 90 мг/л. Максимальная минерализация отмечается в городской черте, что указывает на антропогенное загрязнение. Статистическое распределение минерализации имеет асимметрию в сторону больших значений, однако медиана не превышает средние значения, что характерно и для распределений отдельных макрокомпонентов. Это может быть обусловлено начальной степенью загрязнения подземных вод. Воды имеют пестрый макрокомпонентный состав, причем наблюдается линейная зависимость минерализации от содержания хлоридов ( $r=0,87$ ). Содержание хлоридов варьирует от 1 до 163 мг/л, что связано, по-видимому, с антропогенным воздействием, так как в естественных условиях содержание этого компонента должно быть около 5 - 6 мг/л (медиана - 7 мг/л при среднем значении 30 мг/л). По преобладающим компонентам воды, содержащие аномально высокие концентрации хлоридов, также становятся хлоридными или сульфатно-хлоридными. Содержание сульфатов - от 2 до 119 мг/л при их естественной концентрации около 3-4 мг/л. С ростом хлоридности воды увеличивается и содержание сульфатов ( $r=0,8$ ). Наблюдается прямая зависимость между содержанием натрия и хлоридов ( $r=0,95$ ), калия и хлоридов ( $r=0,5$ ), а также калия и сульфатов ( $r=0,63$ ). По преобладающим анионам воды с большим содержанием сульфатов остаются хлоридными и сульфатно-хлоридными. Зависимости роста минерализации от содержания сульфатов не наблюдается. Эти закономерности могут быть следствием загрязнения подземных вод при внесении калийных удобрений, а также засоления орошаемых территорий. Значительный вклад в загрязнение сульфатами и калием вносят отходы животноводства. Отмечена неравномерность содержания хлоридов по площади. Наибольшие их концентрации отмечены к северо-востоку (Банкони) и к югу (Бако-Джикорони и Магнамбу) от Бамако. Это районы интенсивной сельскохозяйственной деятельности.

Кроме колодцев, для хозяйственно-питьевого водоснабжения столицы и окрестностей используются скважины, эксплуатирующие напорный неогеновый терригенный водоносный комплекс. Водовмещающие породы - пески и песчаники, залегающие на глубине 70 - 90 м. Минерализация воды изменяется от 30 до 233 мг/л со средним значением 109 мг/л. Статистическое распределение минерализации дает такую

же картину, как и для колодцев. Содержание хлоридов в основном от 2 до 16 мг/л, только в отдельных скважинах (Бако-Джикорони, Торокоробуг) оно достигает 100 мг/л и более. Сульфаты содержатся в количествах от 0,33 до 99 мг/л. Максимум их содержания приходится на юго-западную часть изучаемого региона. Статистическая обработка результатов позволяет констатировать антропогенное загрязнение. По преобладающим компонентам воды низкой минерализации гидрокарбонатные, увеличение минерализации происходит в основном за счет увеличения содержания сульфатов и хлоридов, меняется, соответственно, и анионный состав. Среди катионов в водах низкой минерализации преобладает натрий, или смешанный состав. Среди сульфатных встречаются воды, обогатенные калием (до 15 экв.-%). На основании площадного распределения концентраций главных катионов и анионов можно сделать вывод, что антропогенное загрязнение распространяется как на грунтовый, так и на нижележащий напорный водоносный горизонт.

Во всех опробованных водопунктах проводились определения содержания нитратов и железа. Содержание железа изменяется по площади от 0 до 1 мг/л в колодцах (среднее - 0,66 мг/л) и от 0 до 162 мг/л в скважинах (среднее - 4,03 мг/л). В большинстве водопунктов наблюдается существенное превышение норм ВОЗ по железу (0,3 мг/л). В этой связи можно рекомендовать водоподготовку или Использование источников централизованного водоснабжения. Имеются начальные признаки нитратного загрязнения грунтового водоносного горизонта. Для пояса влажных саванн присутствие нитратов в подземных водах зоны гипергенеза не характерно. Вместе с тем, в колодцах на изучаемой территории зафиксировано от 0 до 11 мг/л нитратов. В скважинах обнаружено сильное нитратное загрязнение - от 0 до 162 мг/л при норме ВОЗ - до 50 мг/л. По-видимому, это связано с одной стороны с интенсивной сельскохозяйственной деятельностью в прошлом, с другой стороны - с загрязнением в областях питания водоносного комплекса в связи с его плохой защищенностью. Впервые была оценена защищенность' грунтового и напорного водоносных горизонтов в районе Бамако. Точечные расчеты защищенности, произведенные по методике В.И. Гольдберга, указывают на плохую и очень плохую защищенность. Только шесть скважин имеют

хорошую защищенность. Семь скважин имеют довольно плохую защищенность, остальные - плохую и очень плохую защищенность. Вместе с тем, эти воды широко используются для питьевого водоснабжения, для хозяйственных целей и орошения. Только у трех колодцев защищенность можно оценить как довольно плохую. Все остальные колодцы обладают плохой и очень плохой защищенностью. По результатам оценки составлена карта защищенности подземных вод района Бамако.

Исходя из вышеизложенного, можно сказать, что в районе Бамако загрязнена значительная доля подземных вод. Данные о природном химическом составе подземных вод данной ландшафтной зоны и некоторые показатели химического состава подземных вод района Бамако, а также нормы ВОЗ по этим показателям представлены в таблице.

Компонент, единица измерения	Среднее содержание в природных подземных водах зоны влажных саванн (по данным С.Л.Шварцева)	Содержание в водах скважин района Бамако				Норма ВОЗ для питьевых вод
		максимальное	минимальное	среднее	медиана	
Общая минерализация, мг/л	45,7	202,75	29,99	109,6	110,8	1000
SO <sub>4</sub> , мг/л	3,7	128,75	0,33	35,7	24,8	250
Cl, мг/л	5,9	101	1	19,95	7,00	250
Na, мг/л	3,8	35	0,5	11,08	7,4	200
Fe, мг/л	0,07	23	0	4,03	0,4	0,3
NO <sub>3</sub> , мг/л	-	162	0	20,96	5,2	50

Качество подземных вод, используемых для водоснабжения, существенно влияет на показатели заболеваемости населения, детскую смертность и среднюю продолжительность жизни. Так, соединения азота обладают токсическими свойствами. Наиболее опасно отравление нитратами, растворимыми в воде, т.к. это увеличивает скорость всасывания их в кровь. Употребление в течение долгого времени пищи и воды с высоким содержанием нитратов вызывает также аллергию, нарушение деятельности

щитовидной железы, приводит к возникновению многочисленных болезней в результате нарушения обмена веществ, опорно-двигательного аппарата и нервной системы. В Мали высокая детская смертность обусловлена не только низким уровнем жизни и медицинского обслуживания, но и качеством питьевой воды. В том числе и этот фактор обуславливает низкую продолжительность жизни (47 лет) и высокую смертность (20 %).

Глава 6. Основные источники загрязнения водных ресурсов района Бамако. Поскольку Мали, в основном, аграрная страна, наиболее существенно сельскохозяйственное загрязнение поверхности и зоны аэрации удобрениями, гербицидами, остатками сельскохозяйственной продукции. В сельскохозяйственном производстве используются азотные, фосфорные, калийные удобрения. Большое распространение получило внесение так называемых, комплексных удобрений и отходов различных производств. Основными загрязняющими компонентами являются соединения азота, фосфора и калия. Из всех групп соединений, используемых в качестве удобрений, особое значение имеют азотные и особенно нитратные.

Серьезный урон качеству подземных вод Мали наносит животноводство. Главными загрязняющими компонентами выступают органические вещества. Из неорганических загрязнителей можно назвать соли аммония, калий, фосфаты, сульфаты и хлориды. Из патогенных организмов обнаруживаются различные виды бактерий, простейших и червей. Сточные воды содержат значительные количества фенолов, серы и сульфатов, дезодорантов, бактерицидов и СПАВ, употребляемых для борьбы с насекомыми. Таким образом, отходы животноводства являются источником комбинированного химического и бактериального загрязнения природных вод.

Более детально гидрогеологические условия и экологические проблемы водных ресурсов страны рассмотрены на полигоне района Бамако. Это наиболее густонаселенная часть страны и развитый в хозяйственном отношении регион Мали, а также единственный район республики, где развивается промышленное производство. В то же время здесь развивается интенсивное сельское хозяйство.

Распределение минерализации имеет отчетливый максимум в городской черте Бамако, что указывает на антропогенное загрязнение. В районе выпадает значительное

количество осадков (700-1000 мм в год). Почвы преимущественно легкие, в долинах рек аллювиальные. Это не только создает хорошие условия для питания водоносных горизонтов, но и приводит к слабой их защищенности от поверхностного загрязнения.

Во многих районах Бамако отсутствуют оборудованные свалки мусора и канализация, а существующие канализационные сети находятся в неудовлетворительном состоянии. В связи с этим фиксируется загрязнение подземных вод хозяйственными и фекальными стоками, попадающими также и в реку Нигер.

Глава 7. Меры по защите водных ресурсов. В районе Бамако развиты все виды загрязнения природных вод. Рекомендуется при пользовании водой с высоким уровнем нитратов в родильных домах, детских садах и больницах использовать установки для доочистки воды. Полезно перенять опыт продажи питьевой воды для детей в аптеках, что ограждает наиболее чувствительную часть населения от нитратного отравления.

В районе Бамако, где активно применяются азотные удобрения, необходимо создание охранных зон, предотвращающих поступление азота в водоемы, воду которых используют как питьевую, и в подземные воды. Необходимо наладить региональный и местный контроль за содержанием нитратов как в природных, так и в сбросных водах.

В связи с интенсивной сельскохозяйственной деятельностью и развитием промышленности Бамако качество подземных вод будет ухудшаться и за счет других загрязнителей. Рекомендуется организация централизованного водоснабжения с водоподготовкой на всей территории Бамако. Вместе с тем, в сельских районах где, по-видимому, будет продолжаться использование местных источников водоснабжения, проблему их загрязнения можно решить только путем мер по охране подземных вод. Необходима просветительская деятельность по использованию питьевых вод.

Важной задачей является более детальное изучение гидрогеоэкологических проблем города Бамако и его окрестностей. Для этого необходимы сбор и обработка данных по заболеваемости населения и ее связью с качеством потребляемой воды, а на этой основе - постановка специальных гидрогеологических работ, включающих изучение состава подземных вод и выявление источников загрязнения, организацию системы мониторинга подземных вод, используемых для водоснабжения, конкретизация

мероприятий по защите вод от загрязнения с составлением перечня необходимых объектов, создание проектно-сметной документации и выделение соответствующих средств из государственного и муниципального бюджетов. Правительство через муниципальную службу должно выполнять контрольные функции, регламентируя индустриальную и сельскохозяйственную деятельность.

**Выводы.** Настоящая работа является первой сводной работой о подземных водах республики Мали, составленной на основе обработки, систематизации и анализа разобренных материалов исследований локального характера и разной направленности, собранных автором в архивах организаций, связанных с использованием водных ресурсов, опубликованной литературы и собственных полевых исследований.

**В результате работы:** 1) рассмотрены природные условия республики Мали - рельеф, климат речная сеть, геологические строение, -влияющие на формирование ресурсов подземных вод;

2) обобщены и проанализированы гидрогеологические условия республики Мали и выявлены основные факторы формирования ресурсов и состава подземных вод;

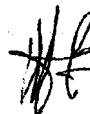
3) выявлены гидрохимические особенности подземных вод территории Бамако и основные источники их загрязнения, установлен характер их загрязнения;

4) предложены меры по защите водных ресурсов и здоровья населения района Бамако, определены направления дальнейших исследований водных ресурсов региона;

5) Установлено, что одним из главных факторов, обуславливающих высокую заболеваемость и смертность в Мали, является экологическое неблагополучие, в том числе неудовлетворительное качество питьевых вод.

#### **Список работ, опубликованных по теме диссертации**

1. Сндике М. Экологические проблемы водных ресурсов республики Мали // Вестник С-Петербург. ун-та. Сер.7.2004. Вып 2.
2. Вивешюва Е.Д., Сидике М. Экологические аспекты гидрогеологических исследований Республики Мали, Западная Африка / Мат-лы IV межвузовской молодежной научной конференции «Школа экологической геологии и рационального недропользования», СПб, 2003.







**Отпечатано в издательско-полиграфическом центре «Барс»  
Санкт-Петербург, В.О. Съездовская ул., д. 11, тел. 926 8978,326 0356,326 0351  
Тираж 100 экз.  
4 апреля 2005 г.**

25,00

22 АПР 2005



75