

ЗУЕВ Дмитрий Михайлович

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ
ПОДЗЕМНЫХ ВОД МОСКОВСКОГО РЕГИОНА**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Москва, 2006

Работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ФГУП ВИМС)

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук
Кузькин Вячеслав Иванович (ФГУП ВИМС)

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор
Грабовников Валерий Аркадьевич (РГГРУ)

кандидат химических наук
Поляков Владимир Андреевич (ВСЕГИНГЕО)

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие
Московский научно-производственный центр геолого-экологических исследований и использования недр «Геоцентр-Москва» (ФГУП «Геоцентр-Москва»)

Защита состоится 26 мая 2006 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 216.005.01 в Федеральном государственном унитарном предприятии Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ФГУП ВИМС) по адресу: 119017 Москва, Старомонетный пер., 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП ВИМС.

Автореферат разослан 26 апреля 2006 г.

Заказ № 35. Тираж 100 экз.
РИЦ ВИМСа, 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
Кандидат геолого-минералогических наук

Т.Н. Шурига

- разработать оптимальный аппаратно-методический комплекс, обеспечивающий определение естественных и техногенных радионуклидов в подземных водах, отвечающий требованиям современной системы радиационного контроля;
- установить средние фоновые уровни суммарной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов для подземных водозаборов питьевого назначения на большей части территории Москвы и Московской области, а также в основных водоносных горизонтах каменноугольного возраста;
- установить природные и техногенные факторы, влияющие на изменение уровней радиоактивности и радионуклидного состава подземных вод основных эксплуатируемых горизонтов с учетом особенностей гидрогеологии и геоморфологии региона;
- построить схематическую карту Московского региона по радиологическим типам подземных вод и их потенциальной радиационной опасности для населения;
- создать базу данных радиоактивности подземных вод Московского региона, позволяющую выделить участки, в пределах которых необходимо проведение радиационного мониторинга подземных вод, установить источники радиоактивного загрязнения на уже исследованных территориях, оценить вероятность радиационных рисков населения;
- сформулировать рекомендации по защитным мероприятиям на водозаборах с выявленными повышенными уровнями радиоактивности подземных вод.

Таким образом, комплексная оценка радиоактивного загрязнения подземных вод Московского региона с учетом гидрогеологических, гидрогеохимических и геологических факторов, создание научно-методических основ радиологической оценки этих вод позволит в дальнейшем более эффективно и обоснованно осуществлять радиационный мониторинг подземных вод на всей территории Российской Федерации.

Список опубликованных работ по теме диссертации.

1. Бахур А.Е., Малышев В.И., Мануилова Л.И., Зуев Д.М. Радиоэкология и альфа-спектрометрия // АНРИ № 2, 1995. - с. 19 – 26.
2. Бахур А.Е., Малышев В.И., Мануилова Л.И., Зуев Д.М. Радиоактивность природных вод: от теории к практике // АНРИ № 4 (10), 1997. - с. 54 – 59.
3. Бахур А.Е., Малышев В.И., Мануилова Л.И., Зуев Д.М. Система и методы контроля радиоактивности природных вод // Тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Геоэкологическое картирование, методы региональных геоэкологических исследований и картографирования». Москва, п. Зеленый, ВСЕ-ГИНГЕО, февраль 1998 г.
4. Бахур А.Е., Малышев В.И., Мануилова Л.И., Зуев Д.М. Система и методы контроля радиоактивности природных вод // М., Разведка и охрана недр № 11, 1998. - с. 33 – 40.
5. Бахур А.Е., Зуев Д.М., Аксенова О.И., Охрименко С.Е., Скворцова О.Ю. Качество Московской артезианской воды: проблема требует решения // АНРИ № 2, 2004. - с. 9-13.
6. Зуев Д.М. Подземные артезианские воды Московского региона: радиологическая оценка // АНРИ № 4, 2004. - с. 51-58.
7. Зуев Д.М., Бахур А.Е., Мануилова Л.И. Радиологическая оценка состояния природных вод артезианского бассейна Московской области // Тезисы докладов Всероссийской конференции по аналитической химии «Аналитика России 2004», 27 сентября – 01 октября 2004 г., Москва, с. 150 – 151.
8. Бахур А.Е., Мануилова Л.И., Иванова Т.М., Зуев Д.М., Гулынин А.В. Метод определения изотопов радия в природных водах с использованием низкофонового альфа-бета- радиометра // АНРИ, № 4 (43), 2005 г. - с. 21-25.

Роль подземных вод в обеспечении населения и хозяйства Московского региона исключительно велика. Водоснабжение большинства городов Московской области базируется на эксплуатации артезианских источников. В Москву вода поступает из Московцевской, Вазузской и Волжской систем водоснабжения и только около 2 % приходится на долю подземных вод.

Существенно, что подземные воды являются защищенным источником, менее подвержены техногенному загрязнению и их использование может играть решающую роль при чрезвычайных ситуациях.

Актуальность. Проблема полномасштабного радиологического исследования подземных вод Московского региона, определения природных и техногенных факторов, обуславливающих изменения их радионуклидного состава и, в итоге, качества, приобретает исключительную важность в связи с возрастающей ролью подземных вод как источника постоянного и экстренного резервного водоснабжения населения в условиях мегаполиса.

Таким образом, основной **целью работы** является создание научно-методических основ радиологической оценки состояния подземных вод Московского региона, включающих разработку оптимального комплекса методик исследования артезианских вод, создание базы данных и классификации подземных вод по радиологическим показателям, установление возможной взаимосвязи особенностей радиоактивности подземных вод и гидрогеологического строения региона.

В соответствии с поставленной целью основными **задачами исследования** явились:

- Изучение и систематизация имеющихся литературных и фондовых материалов по естественной и техногенной радиоактивности подземных вод Московского региона, по особенностям гидрогеологического строения основных водоносных горизонтов питьевого водоснабжения.
- Разработка оптимального аппаратно-методического комплекса, обеспечивающего определение естественных и техногенных радионуклидов (РН) в подземных водах, отвечающего требованиям системы радиационного контроля.
- Установление закономерностей изменения радионуклидного состава и уровней радиоактивности подземных вод основных эксплуатируемых горизонтов с учетом особенностей гидрогеологии и геоморфологии региона, воздействия техногенных факторов.
- Разработка критериев и создание базы данных радиоактивности подземных вод Московского региона, в которой должны быть отражены классификация вод по радиологическим типам и степени радиационной опасности, рекомендации по установлению местных уровней радиоактивности воды и по возможному защитным мероприятиям.

Научные положения, выдвигаемые на защиту:

1. Разработан рациональный аппаратно-методический комплекс, обеспечивающий определение приоритетных радиологических показателей, включающий высокочувствительные методики выполнения измерений ультрамалых содержаний естественных и техногенных радионуклидов в подземных водах, принципиально новые способы подготовки проб, схемы радиометрических и спектрометрических измерений, математические алгоритмы получения результатов.
2. Определены природные и техногенные факторы, обуславливающие изменения радионуклидного состава подземных вод и типичные уровни объемных активностей депонированных радионуклидов и их вариации, положенные в основу классификации подземных вод по радионуклидному составу.

3. Созданы научно-обоснованная система критериев и специализированная база данных, обеспечивающие системный долговременный радиационный мониторинг и прогноз изменения радиоактивности подземных вод.

Научная новизна. Впервые обоснован и применен комплексный подход к широкомасштабным исследованиям естественной и техногенной радиоактивности подземных вод Московского региона с целью повышения информативности и достоверности результатов. Разработан и апробирован современный комплекс экспрессных, высокочувствительных методик, позволяющих проводить оценку радиоактивного загрязнения вод как природного, так и техногенного характера. Научно обоснованы критерии и создана база данных современной радиоактивности подземных вод Московского региона, включающая информацию гидрогеологического и радиологического характера по водозаборам питьевого назначения.

Практическая значимость работы. Автором впервые обобщен и использован фактический материал по естественной и техногенной радиоактивности подземных вод региона. С помощью разработанного аппаратно-методического комплекса определения высокотоксичных естественных и техногенных радионуклидов, депонированных в подземные природные воды, определены средние фоновые уровни суммарной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов в большинстве крупных населенных пунктах Московской области, а также в ряде районов Москвы, получены данные о радионуклидном составе подземных вод эксплуатируемых водоносных горизонтов питьевого назначения. Все разработанные методики аттестованы в системе Госстандарта РФ, прошли метрологическую экспертизу, внесены в Госреестр и используются в более 300 лабораториях радиационного контроля.

Личный вклад. Автором введен термин «радиологический тип воды», созданы система критериев и специализированная база данных радиоактивности подземных вод, на основе которой можно проводить оценку радиоэкологической ситуации для конкретного водозабора, обеспечить радиационный мониторинг и прогноз изменения радиоактивности подземных вод, разработать комплекс защитных мероприятий. База данных внедрена в Центр ГСЭН г. Москвы. Результаты исследований, полученных автором, легли в основу материала для разработки Программы исследования источников артезианского водоснабжения на территории г. Москвы, проводимой ФГУ ЦГСЭН в г. Москве под патронажем Правительства Москвы.

Апробация работы. Основные материалы диссертационной работы докладывались на конференциях: «Геоэкологическое картирование» (февр. 1998г., ВСЕГИНГЕО), «Экологическая геофизика и геохимия» (октябрь 1998г., Дубна), «Аналитика России» (Клязьма) в октябре 2004г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 научных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, содержит 115 страниц компьютерного набора, содержит 19 рисунков, 10 таблиц. Список литературы включает 90 наименований.

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского (ФГУП ВИМС). Автор искренне признателен научному руководителю, доктору геол.-мин. наук В.И. Кузькину и руководителю лаборатории изотопных методов анализа ВИМС А.Е. Бахуру. Автор благодарит В.Т. Дубинчука, Л.И. Мануилову, Т.М. Иванову, А.А. Рогожину, А.В. Гаврюшова, В.П. Васильеву, Д.А. Смелкова, Н.Г. Вакар, С.Н. Шелестова за консультацию и помощь в выполнении научных исследований.

Разработка на основе базы данных программы экологических мероприятий по снижению уровней дозовых нагрузок на население при потреблении артезианских вод Московского региона.

В процессе проведения исследований обозначилась и окрепла уверенность в необходимости создания базы данных (БД) радиоактивности подземных вод Московского региона.

Основой для создания БД послужил значительный объем фактического материала, включающий в себя сведения гидрогеологического и радиологического характера. БД содержит информацию об уровнях суммарных активностей альфа- и бета-излучающих РН в более чем 1000 артезианских скважин, сведения о радионуклидном составе проб воды из 160 скважин, о суммарном дозовом показателе радиотоксичности.

БД создана на основе Microsoft Access, что позволяет использовать систему электронных таблиц, легко трансформировать объем информации в другие БД и ГИС, делать всевозможные выборки и сортировки данных.

Анализ информации БД, позволяет выделить участки, в пределах которых необходимо проведение радиационного мониторинга подземных вод, установить источники радиоактивного загрязнения на уже исследованных территориях, оценить вероятность радиационных рисков населения, наметить комплекс защитных мероприятий.

Защитные меры принимаются на основе следующих принципов:

- по установленной природе загрязнения: в случае загрязнения источника водоснабжения техногенными радионуклидами выше допустимого уровня защитные мероприятия проводятся обязательно, независимо от наличия других факторов;
- по степени превышения нормативов: при содержании радионуклидов в питьевой воде, создающих эффективную дозу более 1 мЗв/год, мероприятия по снижению содержания радионуклидов в воде проводятся обязательно, независимо от наличия других факторов;
- по учету количества ежедневно поставляемой воды и численности населения, потребляющего эту воду (в том числе использования воды в производстве пищевых продуктов), а также доз облучения населения за счет потребления питьевой воды;
- по возможности обеспечения населения водой гарантированного качества.

В качестве защитных мероприятий может использоваться:

- замена некачественного источника водоснабжения альтернативным;
- снижение радиоактивности источника водоснабжения путем смешивания воды с низкими содержаниями радионуклидов из различных водозаборов, тем самым уменьшая эффективную дозу облучения населения;
- коррекция технологии водоподготовки.

В случаях, когда невозможно использовать эти варианты, могут применяться другие методы очистки: физические (дистилляция, дегазация), химические (реагентные, ионного обмена), мембранные, электрохимические и комбинированные.

На основе вышеизложенного в Главе 4 можно сформулировать последнее защищаемое положение:

III. Созданы научно-обоснованная система критериев и специализированная база данных, обеспечивающие системный долговременный радиационный мониторинг и прогноз изменения радиоактивности подземных вод

Заключение.

Изучение радиоэкологического состояния подземных вод Московского региона согласно поставленным задачам позволило:

околонейтральной и слабощелочной реакцией среды (рН 7 - 8). Средняя глубина скважин – 70 - 100 м.

Помимо незначительных количеств изотопов урана здесь отмечено повсеместное присутствие изотопов радия. Какой-либо приуроченности повышенных концентраций изотопов радия, в основном ^{226}Ra , к зонам структурно-тектонических нарушений не выявлено. Как было отмечено выше, причиной этого может являться соответствующая гидрогеохимическая обстановка, создающая благоприятные условия для миграции радия.

Влияние техногенных факторов на радионуклидный состав подземных вод.

Пресные подземные воды Москвы и Московской области эксплуатируются уже более 120 лет. В результате интенсивного и длительного водоотбора подземных вод для питьевых, технических и других нужд в центральной и юго-западной части Московского региона образовалась обширная и глубокая депрессионная воронка, затронувшая несколько водоносных горизонтов и особенно ярко выраженная в уровенной поверхности нижнекаменноугольного водоносного комплекса. В частности, в подольско-мячковском водоносном горизонте среднего карбона она распространилась от Москвы до Серпухова. Депрессии различного порядка отмечаются практически у каждого крупного населенного пункта Московской области.

Глубокая и обширная депрессионная воронка существенно изменила гидродинамический режим территории. Ее воздействие на гидродинамику заключается в уменьшении гидростатического давления, вследствие чего плохо растворимые в воде газы, особенно He и Rn , устремляются к поверхности и "загрязняют" зону аэрации и приземную атмосферу. По этой же причине минерализованные воды глубоких горизонтов артезианского бассейна подтягиваются вверх. Из-за неравномерного водоотбора, сезонных явлений и других факторов дегазация и подтягивание подземных вод к поверхности происходят с разной интенсивностью, "залповыми" поступлениями загрязнителей в окружающую среду. Одновременно с химическими токсикантами в зоны хозяйственно-питьевого водоотбора подсасываются и радионуклиды. Повышенные значения содержания изотопов радия и ^{210}Po в артезианских скважинах крупных населенных пунктов, нарушенное природное радиоактивное соотношение изотопов урана ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U} < 1$) в районе г. Жуковский свидетельствуют о наличии в водоносных горизонтах зон интенсивного водообмена, вызванных депрессионными нарушениями.

Защиту подземных вод от поверхностного загрязнения выполняют слабопроницаемые глинистые отложения различного возраста (в основном юрские келловей-киммериджские глины), широко развитые на территории Московской области. В зонах депрессий происходит нарушение естественного «щита» и из грунтовых приповерхностных вод, подверженных техногенному загрязнению, происходит проникновение радиоактивных токсикантов в водоносные горизонты питьевого назначения. Загрязнителями могут являться многочисленные предприятия металлургической промышленности, ядерно-топливного цикла, свалки твердых бытовых отходов, захоронения радиоактивных отходов. Отсутствие санитарных зон вокруг скважин, неудовлетворительное техническое состояние, несвоевременный тампонаж брошенных скважин – прямые проводники загрязнения с поверхности в эксплуатируемые водоносные горизонты – также являются загрязняющими факторами.

Хотя автор не обнаружил наличия техногенных РН в питьевых подземных водах Московского региона, возможные техногенные катастрофы, террористические акты не исключают вероятность заражения артезианских источников опасными для здоровья человека радионуклидами.

Краткое содержание работы

Глава 1. Гидрогеологическая характеристика подземных вод, современное состояние и изученность естественной и техногенной радиоактивности основных водоносных горизонтов Московского региона.

Гидрогеологические условия региона определяются его расположением на юго-западном склоне Московского артезианского бассейна, представляющего собой систему водоносных и относительно водоупорных горизонтов и комплексов, взаимосвязанных между собой. Зона пресных вод простирается до глубины 300 - 350 м.

На формирование ресурсов подземных вод оказывают влияние следующие факторы:

1. Структурно-тектоническое положение территории определяет общее погружение палеозойских отложений и приуроченных к ним гидрогеологических подразделений в северо-восточном направлении. Так, у южной и юго-западной границ территории первыми от поверхности постоянными водоносными комплексами являются алексинско-протвинский и каширский водоносные комплексы; в центральной части их сменяют подольско-мячковский и касимовский, на севере – гжельско-ассельский водоносные комплексы.
2. Приуроченность территории к зоне умеренного климата, характеризующегося преобладанием осадков над испарением, создает благоприятные условия для питания подземных вод атмосферными осадками.
3. Повсеместное распространение четвертичных отложений, иногда значительной мощности (до 130 м) и различного генезиса, обладающих огромной регулирующей емкостью для обеспечения питания нижележащих эксплуатируемых горизонтов карбона.
4. Наличие крупных дренирующих артерий – рек Оки, Москвы, Клязьмы, Осетра, Пахры, Истры, Сестры, Яхромы, Протвы, Нары, Лопасни и других, часто вскрывающих не только четвертичные, но и мезозойские, и каменноугольные водоносные подразделения.
5. Наличие зон повышенной трещиноватости в породах осадочного чехла, связанных с тектоническими и неотектоническими движениями по глубинным разломам фундамента, унаследованных в орографии и в речной (погребенной и современной) сети.

Основными объектами эксплуатации подземных вод в Москве и Московской области в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения являются каменноугольные водоносные горизонты и комплексы:

- Водоносный **гжельско-ассельский** карбонатный комплекс ($\text{C}_3\text{g} - \text{P}_1\text{a}$).
- Водоносный **касимовский** карбонатный горизонт (C_3ksm).
- Водоносный **подольско-мячковский** карбонатный горизонт ($\text{C}_2\text{pd-mc}$).
- Водоносный **каширский** карбонатный горизонт (C_2ks).
- Водоносный **алексинско-протвинский** карбонатный комплекс ($\text{C}_1\text{al-pr}$).

Водовмещающие породы представлены в основном доломитами и известняками, в различной степени трещиноватыми и закарстованными, с прослоями глин и мергелей.

По химическому составу воды каменноугольных горизонтов относятся к пресным гидрокарбонатным, магниево-кальциевым (либо кальциево-магниевым) с минерализацией 0.2 - 0.7 г/л. Местами воды становятся сульфатными, сульфатно-хлоридными и хлоридными с минерализацией 1.0 - 3.0 г/л (до 5.0 г/л).

Подземные воды мезо-кайнозойских отложений для централизованного водоснабжения Москвы и Московской области практически не используются. Водоотбор из локальных неглубоких скважин (10 - 30 м) и колодцев осуществляется в основном для сельского водоснабжения.

Несмотря на обеспеченность Московского региона ресурсами подземных вод, их качество не всегда удовлетворяет требованиям, предъявляемым к воде хозяйственно-питьевого назначения.

Гидрогеохимический режим основных эксплуатируемых водоносных комплексов формируется под влиянием целого ряда факторов как природного, так и техногенного характера [Инф. бюллетень ФГУП «Геоцентр-Москва», 2005]:

- естественной защищенностью эксплуатируемых водоносных комплексов;
- техническим состоянием водозаборных сооружений;
- общей техногенной нагрузкой на геологическую среду (свалки бытовых и производственных отходов, «продукты» деятельности предприятий, связанных с переработкой химического, радиационно-технологического сырья).

Так в результате оценки загрязнения артезианских вод эксплуатационных комплексов, приуроченных к каменноугольным отложениям, проведенной МНПЦ "Геоцентр-Москва" [В.А. Гайнцев, Н.С. Лачинова, 1999], выявлены точечные загрязненные водохозяйственные объекты (водозаборные скважины). Среди загрязняющих веществ было отмечено присутствие свинца, бериллия, кадмия, мышьяка, хрома, фенолов, нефтепродуктов и др. Локальный характер загрязнения скважин отмечен в Мытищинском, Щелковском, Воскресенском районах, в городах Долгопрудный, Воскресенске, Балашихе, Реутове, Дзержинском, Электростали, Егорьевске, Тучкове.

До 1996 года исследование радиоактивности подземных вод носило немасштабный характер. Отдельные самостоятельные исследования изотопного состава подземных вод в Московском регионе проводились ВСЕГИНГЕО, ВИМС, НППГ "ВНИИЯГГ", МНПЦ "Геоцентр-Москва", ЗАО "ГИДЭК", ЗАО "ГЕОЛИНК Консалтинг", Институтом водных проблем РАН, МосНПО "Радон".

При оценке радиоэкологического состояния природных вод на территории г. Москвы лабораторией изотопных и ядерно-физических методов ВСЕГИНГЕО на фоне довольно низкого содержания в подземных водах каменноугольных отложений ^{137}Cs (до 30 мБк/л) и ^{90}Sr (до 6 мБк/л) выявлены зоны относительно повышенных концентраций ^{137}Cs (40-60 мБк/л) и ^{90}Sr (70-80 мБк/л) в районе института И.В. Курчатова, а также в скважинах ГМП "1-я образцовая типография" (30 и 40 соответственно), ОАО "Рот Фронт" (30 и 20) и др. Во всех опробованных скважинах содержание техногенных радионуклидов в 100 - 1000 раз ниже уровня вмешательства [И.А. Клименко, В.А. Поляков, 1999, 2003].

Этими же авторами были отмечены превышения общей активности альфа-излучающих радионуклидов в подземных водах в некоторых скважинах Курьяновской станции аэрации, АЗЛК, Мыловаренного завода и 1-го ГПЗ [И.А. Клименко, В.А. Поляков, 2001], что требует дополнительной идентификации присутствующих в воде радионуклидов и измерения их индивидуальных концентраций.

По результатам исследований НППГ "ВНИИЯГГ" [УДК 711:624:131:577.4, 1996], направленных на поиски месторождений урана, на юге Московской области выявлена Серебряно-Прудская аномальная площадь с повышенной ураноносностью ($n \times 10^{-1}$ Бк/л) в подземных водах каменноугольного терригенно-карбонатного комплекса. Обычно среднее содержание урана в подземных водах составляет 5×10^{-2} Бк/л и радия 7.5×10^{-2} Бк/л. Поставщиком урана в аномальной зоне могли быть поднятия кристаллического фундамента, окаймляющие Московскую синеклизу.

Кроме того, источником природного урана являются и сингенетические первичные концентрации урана в угленосных осадках. К группе сингенетических накоплений урана можно отнести и Егорьевское месторождение желваковых фосфоритов в песчано-глинистых отложениях юры и мела, в которых фосфор сопровождается ураном и редкими землями (иттербий, церий). Месторождение, образованное в результате разгрузки

гидрогеологические «окна» по узлам сочленения разломов интенсивных флюидных потоков гелия и минерализованных глубинных вод и растворов, содержащих фтор, литий, мышьяк, сурьма, селен, уран, титан, магний, железо, алюминий, фосфор. Наиболее обширные водногелиевые аномалии, которые фиксируют структурно-разрывные нарушения, выявлены на территории г. Москва, в районе городов Раменское, Каширы, Зарайска, Михнево, Белозерского. Исследования показали, что в южной части Московского региона (в зонах тектонических нарушений Коломенского и Зарайского активных глубинных разломов) доля «урановой» воды довольно значительна.

В юго-восточной части Московского региона (район г. Коломна) повышенные концентрации изотопов ^{234}U и ^{238}U , а также ДПР $^{238}\text{U} - ^{226}\text{Ra}$ и ^{210}Po – могут быть также связаны с рудопроявлениями фосфоритов в юрских глинистых отложениях, развитие которых обусловлено флюидной обработкой пород практически всего стратиграфического разреза начиная от архейско-нижнепротерозойского фундамента.

В центральной части региона первыми от поверхности водоносными горизонтами являются подольско-мячковский и касимовский горизонты. Средняя глубина скважин на эти горизонты составляет 80 - 100 м. По химическому составу здесь преобладают гидрокарбонатные кальциево-магниево-магниево-кальциевые воды с околонейтральной и слабощелочной реакцией среды (рН 7 - 8). К северу распространения горизонтов воды становятся гидрокарбонатно-сульфатными, сульфатными и далее хлоридными. Алексинско-протвинский водоносный комплекс и каширский горизонт все еще являются объектами эксплуатации, но глубины скважин уже достигают 250 м.

По геолого-геофизическим материалам в центральной части Московского региона поверхность кристаллического фундамента осложнена субширотным ориентированным Подмосковным авлакогеном, имеющим сложную грабено-горстовую внутреннюю структуру. Авлакоген ограничен глубинными разломами, имеющими собственные названия: на западе Гжатским и Можайским, на востоке – Павлово-Посадским и Раменским. Тектонические разрывы Подмосковного авлакогена также трассируются цепочками водногелиевых аномалий. В зонах тектонических нарушений, где вследствие разрушения региональных водоупоров формируются специфические гидродинамические условия водообмена между водоносными горизонтами, нами зафиксированы повышенные содержания изотопов урана (Москва, Жуковский, Видное) и аномальные значения объемной активности ^{210}Po (Лыткарино, Балашиха).

Можно предположить, что причиной этого также является проникновение глубинных растворов, поднимающихся по узлам сочленения разломов и трещинам в осадочном чехле. Но для этой части региона преобладающим является «радиевый» тип подземных вод. Причем, иногда концентрации ^{226}Ra весьма значительны. Причиной повышенных концентраций изотопов радия может являться комплекс структурно-тектонических, гидрогеохимических и техногенных факторов. Гидрокарбонатный состав подземных вод региона создает благоприятные условия для миграции радия, на геохимические особенности которого практически не оказывают влияния окислительно-восстановительные условия. Вместе с тем, радий и ^{210}Po могут привноситься с глубинными потоками в верхние горизонты и распространяться достаточно широко. А интенсивное взаимодействие вод различных водоносных горизонтов, возникшее в последнее время в результате развития депрессий разного порядка, обуславливает практически повсеместное присутствие изотопов радия в артезианских водах питьевого назначения.

На севере Московского региона основными эксплуатационными водами являются продуктивные подземные воды касимовского горизонта и гжелско-ассельского водоносного комплекса. Химический состав вод гидрокарбонатный магниево-кальциевый с

центрациями радионуклидов в подземных водах. Природные радионуклиды распространены повсеместно, и имеют различную степень радиоактивности. Поэтому при организации мониторинга радиоактивности подземных вод и прогнозных исследований последним будет уделяться повышенное внимание.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать второе защищаемое положение:

II. Определены природные и техногенные факторы, обуславливающие изменение радионуклидного состава подземных вод и типичные уровни объемных активностей депонированных радионуклидов и их вариации, положенные в основу классификации подземных вод по радионуклидному составу.

Глава 4. Разработка научно-обоснованной системы критериев и специализированной базы данных, обеспечивающих системный долговременный радиационный мониторинг и прогноз изменения радиоактивности подземных вод и включающие гидрогеологические, структурно-тектонические, геоморфологические, техногенные и радиологические факторы (обобщение результатов исследований).

Воздействие природных факторов на радиоэкологическое состояние подземных вод.

Характерной чертой Московского артезианского бассейна, представляющего собой систему взаимосвязанных водоносных и относительно водоупорных горизонтов и комплексов, является отчетливо выраженная вертикальная гидрогеохимическая зональность. Эта зональность проявляется в закономерном изменении по вертикали концентраций и соотношений макро- и микрокомпонентов подземных вод. В верхней части бассейна (зона активного водогазообмена) залегают пресные гидрокарбонатные кальциево-магниевые воды с минерализацией до 1 г/л. Мощность этой зоны на исследуемой территории сильно колеблется и чаще всего не превышает 300 м.

Ниже расположена зона солоноватых сульфатных и хлоридно-сульфатных кальциево-натриевых вод мощностью 200 - 300 м с минерализацией 1 - 10 г/л. Третья зона представлена солеными хлоридно-натриевыми водами с минерализацией 10 - 50 г/л. Питание подземных вод в зоне активного водогазообмена происходит преимущественно за счет кислородосодержащих вод метеорного происхождения. В нижней части бассейна существенное значение имеет поступление глубинных флюидных потоков вследствие современной дегазации глубоких геосфер [Пронин, Башорин, 1996].

Анализ геохимической информации, гидрогеологических, структурных карт Московского региона позволил автору оценить влияние геохимических и структурно-тектонических условий территории (в частности, разрывных нарушений различного порядка, подтвержденных геофизическими и гелиевым методами) на изменение радионуклидного состава подземных вод.

У южной и юго-западной границ региона первыми от поверхности постоянными водоносными горизонтами являются алексинско-протвинский, окско-протвинский и каширский. Как отмечалось ранее (рис. 4), эти горизонты являются самыми неблагоприятными по суммарным показателям, прежде всего по активности альфа-излучающих РН. Средняя глубина скважин в этих районах составляет примерно 60-90 м. По химическому составу здесь преобладают гидрокарбонатные кальциево-магниевые и сульфатные магниевые-кальциевые воды.

Эксплуатационные подземные воды в южных и юго-западных районах области попадают в зону влияния структурно-тектонических нарушений, связанных с Пачелмским авлакогеном (Коломенским и Зарайским глубинными разломами).

Так, аномальные содержания изотопов урана (от 0.6 до 2.0 Бк/л по ^{238}U и ^{234}U), отмеченные в районе г. Ступино и г. Чехова, могут быть обусловлены поступлением через

ювенильных флюидных потоков в районе г. Егорьевск, было обнаружено с применением гелиевого метода [А.П. Пронин, 1994].

Нужно отметить еще один значимый фактор, способствующий присутствию в артезианских водах естественных и техногенных радионуклидов. Гидрогеологические условия Москвы и Московской области являются примером огромного воздействия цивилизации на подземные воды. Оно выражается в формировании многочисленных депрессионных воронок в результате массового, порой непланового водоотбора из скважин, их последующем слиянии и, в результате, образовании единой крупной депрессии (площадь $\sim 120000 \text{ км}^2$ с максимальным понижением в центре до 210 м), особенно ярко выраженной в уровенной поверхности нижнекаменноугольного водоносного комплекса. В результате на значительной территории, тяготеющей к центру региона и в его промышленной восточной части, началось усиленно проявляться взаимодействие водозаборов. Вследствие нарушения целостности естественного защитника артезианских вод – моренных суглинков и глин юрского водоупора – возникло проникновение (подсос) вышележащих, более загрязненных приповерхностных грунтовых вод.

Загрязнителями подземных вод являются промышленные, коммунальные и сельскохозяйственные стоки. Движение потоков загрязненных вод происходит в соответствии с гидродинамическими условиями в данной точке или на данном водозаборе, в связи с чем, наиболее загрязненными оказываются участки депрессионных воронок, где в интенсивно работающие скважины это загрязнение притягивается, чаще всего не распространяясь широко по водоносному комплексу [Н.С. Лачинова, 1996].

Изучение изотопного состава кислорода $\delta^{18}\text{O}$, водорода (δD), углерода ($\delta^{13}\text{C}$) с применением масс-спектрометрических методов позволяет установить уровень техногенного воздействия на подземные воды, гидравлическую связь водоносных горизонтов между собой, а также с поверхностными и атмосферными водами, выявить особенности генетической природы подземных вод. Такие исследования проводились, в частности, в подмосковной части Московского артезианского бассейна [А.Д. Есиков, 1979] и показали, что распределение концентраций дейтерия в подземных водах каменноугольного возраста указывает на инфильтрационное происхождение этих вод.

Таким образом, предшествующие радиоэкологические исследования состояния подземных вод региона выполнялись не системно и методами, не отвечающими современным требованиям радиационного контроля воды. Это определяет необходимость разработки рационального аппаратно-методического комплекса, обеспечивающего определение приоритетных радиологических показателей, включающего высокочувствительные методики выполнения измерений ультрамалых содержаний естественных и техногенных радионуклидов в подземных водах, создание современной базы данных радиоактивности основных водозаборов.

Особенности геологического и тектонического строения, гидравлическая взаимосвязь водоносных горизонтов между собой, образование депрессионных воронок, современное техногенное воздействие предполагает возможность принципиальных изменений не только уровней суммарной активности, но и радионуклидного состава воды в пределах одного и того же водоносного горизонта. Изучение этих факторов позволит установить природу радиоактивности подземных вод и провести классификацию вод по радионуклидному составу.

Глава 2. Разработка и применение современного комплекса методик для определения содержания высокотоксичных естественных и техногенных радионуклидов, депонированных в подземные воды, определяющего основу радиоэкологической оценки подземных вод Московского региона.

Подземные воды как объект радиационного контроля. Содержание радионуклидов в природных водах варьирует в очень широком диапазоне и зависит от состава вмещающих пород, локальных и региональных особенностей их геологического строения, типа вод, климатических условий и др. Наиболее высокое содержание природных радионуклидов наблюдается в подземных водах, приуроченных к кислым магматическим породам. Подземные воды осадочного чехла могут иметь как низкую, так и высокую активность, что определяется не только содержанием природных РН в водовмещающих породах, но и гидравлической взаимосвязью разных водоносных горизонтов, проницаемыми тектоническими зонами, «окнами» в водоупорных пластах. При этом подземные воды одного горизонта на разных участках могут иметь различные уровни содержания природных радионуклидов и разных радионуклидный и микроэлементный состав.

По данным НК ДАР ООН [UNSCEAR Report to the General Assembly, 2000] вклад питьевой воды в суммарную дозу облучения населения не является преобладающим (за исключением отдельных регионов) и составляет около 12 мкЗв/год, причем практически он формируется за счет природных радионуклидов. Наибольший вклад в дозу облучения за счет потребления питьевой воды вносят изотопы урана (^{238}U и ^{234}U), радия (^{226}Ra и ^{228}Ra), радон (^{222}Rn) и полоний-210 (^{210}Po), в меньшей степени – свинец-210 (^{210}Pb) и изотопы тория (^{228}Th , ^{230}Th , ^{232}Th). Как правило, вклад присутствующих в питьевой воде калия-40 (^{40}K) природного происхождения, трития (^3H) и углерода-14 (^{14}C) космогенного происхождения, а также искусственных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в облучение пренебрежимо мал.

Для обеспечения радиационной безопасности населения в Российской Федерации в 1999 году был принят допустимый годовой уровень эффективной дозы облучения, обусловленной потреблением питьевой воды - 0.1 мЗв/год [НРБ-99 п. 5.3.5]. Этим же документом закреплены контрольные уровни суммарных активностей альфа- и бета-излучающих РН (при превышении которых необходим радионуклидный анализ) и индивидуальные уровни вмешательства ($\text{УВ}^{\text{норм}}$) для радионуклидов.

В соответствии с этим, автором за основу был взят перечень контролируемых радионуклидов и радиационных параметров, разработанный ранее для нормативных документов. Перечень разбит на три группы:

- ✓ общие показатели (предварительная оценка допустимости использования воды в питьевых целях по значениям суммарной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов);
- ✓ основная группа практически значимых РН (^{234}U , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb);
- ✓ дополнительная группа радионуклидов, присутствие которых в ряде случаев может оказывать существенный вклад в формирование суммарной дозы облучения (^{232}Th , ^{230}Th , ^{228}Th , техногенные ^{137}Cs , ^{90}Sr).

Неотъемлемой частью этого перечня является схема радиационного контроля воды, приведенная на рис. 1. [МУ 2.6.1.1981-05, 2005].

Обоснование и разработка рационального аппаратно-методического комплекса.

Учитывая тот факт, что радионуклидный состав воды может быть как простым, так и достаточно пестрым, и количественное содержание природных изотопов может находиться на фоновом уровне и значительно варьировать, то и требования к методам исследования и получаемым результатам значительно повышаются. С другой стороны, разрабатываемый комплекс должен сочетать экспрессность, простоту и доступность методов и используемой аппаратуры.

Основу предлагаемого автором комплекса составляет методический материал, разработанный в Лаборатории изотопных методов ВИМС для решения геологоразведочных и геоэкологических задач. В процессе разработки комплекса методики усовершен-

для ^{238}U – от 0.6 до 1.3 Бк/л (что, впрочем, не превышает УВ для этих радионуклидов) зафиксированы в некоторых арт. скважинах Ступинского р-на, г. Чехова, Жуковского и Москвы. Соотношение $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в артезианских водах Московского региона, как правило, больше 1. Но в некоторых скважинах (например, г. Жуковский, ВЗУ 5 «Заозерье») наблюдался дефицит ^{234}U , что свидетельствует о наличии в данных водоносных горизонтах зон интенсивного водообмена. Такие зоны могут быть связаны с образованием депрессии вследствие интенсивного отбора воды, а также воздействия природных факторов.

2. Изотоп ^{226}Ra повсеместно присутствует в подземных водах региона в разных концентрациях. Около 15 % анализов выявили превышение уровня вмешательства (УВ) по ^{226}Ra . Аномальные значения активности ^{226}Ra были отмечены в артезианских скважинах г. Балашихи (1.2 УВ), г. Воскресенска (3.8 УВ), г. Москвы (0.9 – 1.2 УВ), г. Лобни (1.5 УВ), г. Краснознаменска (1.6 УВ), п. Шаховская (1 УВ), ряде поселков Дмитровского района (1 – 1.5 УВ).

По ^{228}Ra ситуация более благоприятная. Несмотря на жесткий норматив ($\text{УВ}^{\text{Ra-228}} = 0.20$ Бк/л), критических содержаний этого радионуклида в подземных водах Московского региона не отмечено. Исключение составляет одна скважина в г. Воскресенск (№ ГVK 217051, подольско-мячковский водоносный горизонт), в которой отмечено содержание ^{228}Ra на уровне 0.5 УВ.

3. В результате исследований в некоторых случаях было обнаружено высокое содержание ^{210}Po , самого жестко нормируемого природного радионуклида (УВ = 0.12 Бк/л): от 0.5 – 2-х кратного (г. Балашиха, г. Лыткарино и г. Москва) до 4-х кратного превышения УВ (п. Шаховская).

Измеренные значения удельной (объемной) активности ^{210}Pb в подземных водах Московского региона находятся на уровне фоновых – менее 0.010 Бк/л.

4. Необходимость выборочного исследования природных подземных вод на присутствие ^{137}Cs и ^{90}Sr была обусловлена тем, что по данным оценки экологического состояния почвенно-земельных ресурсов и окружающей среды [Добровольский Г.В., 2000] на территории Московской области были выявлены 17 участков с плотностью радиоактивного загрязнения почвы ^{137}Cs (вероятно, чернобыльского происхождения) от 1.5 до 15 Ки/км². Наиболее крупные из них расположены на территориях Шатурского и Можайского районов. Исходя из этих данных, можно было прогнозировать проникновение ^{137}Cs и ^{90}Sr из почв в приповерхностные грунтовые воды, а возможно, и в подземные. Однако ни в одном случае не было обнаружено практически значимого (т.е. на уровне, превышающем 0.1 УВ для данного радионуклида) присутствия в подземных водах ^{137}Cs и ^{90}Sr .

5. Изотопы тория (^{232}Th , ^{230}Th , ^{228}Th) присутствуют в пробах из некоторых скважин в следовом количестве и не вносят заметного вклада в дозу облучения населения.

6. Исследования подземных вод на содержание в них изотопов плутония и америдия, а также ряда других техногенных РН, не проводились, так как каких-либо техногенных катастроф с выбросом радиоактивных веществ в Московском регионе не происходило.

Таким образом, в результате исследований автором определены средние фоновые уровни суммарной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов в Московском регионе, установлены уровни объемных активностей депонированных радионуклидов, разработан критерий, определяющий радиологический тип подземных вод.

Полученные данные дают основания предполагать, что различные генетические источники поступления радионуклидов (природные и техногенные), а также уровень их активности определяют закономерные и существенные различия. Техногенное загрязнение носит, как правило, локальный характер, и сопровождается повышенными кон-

Следует предположить, что техногенное воздействие мегаполиса стало все более интенсивно проявляться и на подземных водах.

По результатам исследований автором установлен средний фоновый уровень значений суммарной активности альфа-излучающих РН в подземных водах Москвы и Московской области – 0.10 - 0.30 Бк/л. Аномальные значения суммарной альфа-активности (рис. 2а), полученные в результате исследований, связаны с наличием в подземных водах повышенных содержаний естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{238}U , ^{234}U и ^{210}Po .

Средние фоновые значения суммарной активности бета-излучающих радионуклидов варьируют в пределах от 0.10 - 0.15 до 0.45 - 0.50 Бк/л.

Обнаружена зависимость суммарных активностей альфа- и бета-излучающих радионуклидов от водоносного горизонта (рис. 4). Самый «чистый» водоносный горизонт – гжельско-ассельский водоносный комплекс (верхний отдел карбона - нижний отдел пермской системы). Наиболее неблагоприятные с точки зрения суммарных уровней активности – горизонты нижнего отдела карбона: окско-протвинский и алексинско-протвинский.

Природные и техногенные факторы, обуславливающие изменение радионуклидного состава подземных вод.

Поверхностные источники водоснабжения (водохранилища и реки) являются открытыми водосистемами и в большой степени подвержены техногенному воздействию. Однако и подземные источники, хотя и закрытые системы, но с активной гидродинамикой, испытывают значительное влияние природных и техногенных факторов. Автор выделил следующие группы критериев (факторов), влияющих на изменение радионуклидного состава подземных вод:

1. Природные факторы:

- структурно-тектонические – наличие зон трещиноватости, разрывных нарушений, рудопроявлений;
- гидрогеологические – глубина залегания водоносного горизонта, состав водовмещающих горных пород, химический и газовый состав подземных вод;
- ландшафтно-геоморфологические – напорность подземных вод, зоны разгрузки поверхностных вод в подземные воды.

2. Техногенные факторы:

- наличие зон депрессий, вызванных массовым и неконтролируемым водоотбором;
- влияние свалок промышленных и бытовых отходов;
- деятельность предприятий ядерно-промышленного комплекса.

Результаты исследований радионуклидного состава. Результаты анализа проб воды из 160 скважин показывают, что в основном воды имеют радиевую (более 50 % от всего объема выполненных радионуклидных анализов), радий-полониевую (29 %), радий-урановую (10 %) и урановую (4 %) природу.

В качестве критерия для определения радиологического типа (природы) подземных вод автор установил долю, которую вносит каждый исследуемый изотоп в значение суммарного дозового показателя радиотоксичности. Соответственно, преобладание доли изотопов урана (^{238}U и ^{234}U в сумме) дает «урановый» тип воды, изотопов радия (^{226}Ra и ^{228}Ra) – «радиевый», ^{210}Po и ^{210}Pb – «полониевый» тип. Смешанный радиологический тип получается в результате значимого (более 15 % от значения суммарного дозового показателя) содержания в воде сразу нескольких дозообразующих радионуклидов.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы.

1. Измеренные активности изотопов урана (^{238}U , ^{234}U) в подземных водах каменноугольных водоносных горизонтов изучаемого региона варьируют в широком диапазоне: от $n \times 10^{-3}$ до n Бк/л. Максимальные значения удельной активности как для ^{234}U , так и

ствались в части упрощения процедур радиохимического выделения радионуклидов, способов подготовки счетных образцов и подбора параметров их измерения с целью повышения чувствительности, экспрессности и уменьшения себестоимости анализов. Качество анализа улучшалось за счет применения высокочувствительной аппаратуры и современных алгоритмов обработки результатов измерений.

Одним из важнейших моментов при адаптации и модернизации методик радионуклидного анализа, как и при формировании перечня контролируемых радионуклидов, являлся учет требований нормативных документов.

Согласно схеме радиационного контроля воды (рис. 1) на первом этапе исследований используются радиометрические методики, основной целью которых является предварительная разбраковка проб артезианских вод по показателям суммарных активностей альфа- и бета-излучающих РН. Результаты этих измерений показывают, необходимы ли более детальные исследования данной пробы воды или нет. Это позволяет оптимизировать радиэкологические исследования, ограничить объемы дорогостоящих спектрорадиометрических методов измерением лишь аномальных (превышающих регламентируемые значения) проб.

Дальнейшее определение радионуклидного состава аномальных проб осуществляется более сложными методами альфа- бета-гамма-спектрометрии с радиохимической подготовкой.

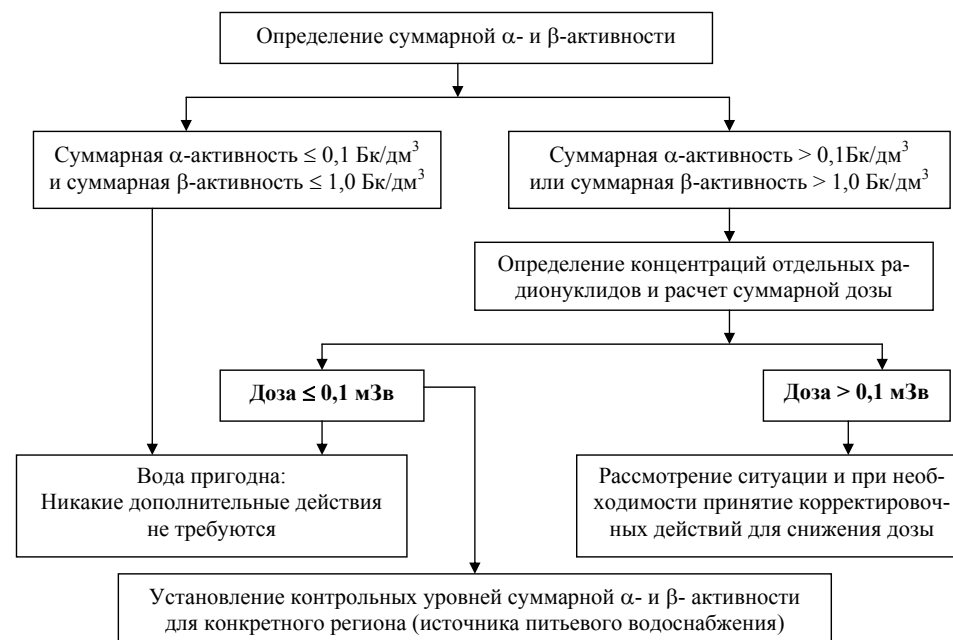


Рис. 1. Схема радиационного контроля и санитарно-эпидемиологической оценки пригодности воды для питьевых целей по показателям радиационной безопасности

Определение суммарной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов в пробах природных вод. Определить суммарную активность альфа- и бета-излучающих радионуклидов в пробе воды инструментально, без предварительной подготовки (концентрирования), практически невозможно. Известны различные спосо-

бы концентрирования радионуклидов из объема водной пробы: соосаждение с носителями, использование различных сорбентов, упаривание воды до сухого остатка. Каждый из этих способов имеет достоинства и недостатки.

«Методика подготовки проб природных вод для измерения суммарной альфа- и бета- активности» (1997 г.), не имеющая аналогов в России и разработанная при участии автора, основана на концентрировании радионуклидов из объема водной пробы 0.5 - 1.0 л методом упаривания с последующей сульфатацией сухого остатка и измерением скорости счета альфа- и бета-излучения счетного образца, сопоставлением со скоростью счета от контрольной пробы (КП) с известным радионуклидным составом и аттестованными значениями активности суммы альфа- и бета-излучающих РН. В методике сведены к минимуму источники погрешностей за счет: обеспечения идентичности матриц стандарта и пробы (сульфатный состав); получения устойчивых к влаге сухих остатков водных проб; регламентирования временного интервала измерения счетного образца после его приготовления; использования стандартов сравнения, максимально сближенных по энергетическим спектрам к типичным реальным пробам – на основе сульфата калия (^{40}K), который является одним из основных компонентов природной воды (до 60 - 70 % от общей бета-активности) и сульфата кальция со смесью изотопов $^{242+239+238}\text{Pu}$ (средневзвешенная энергия альфа-частиц около 5.2 МэВ близка к энергии наиболее жестко нормируемого ^{210}Po).

Методика предназначена для экспрессного радиометрического определения суммарной объемной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов в пробах пресных природных вод хозяйственно-питьевого назначения в диапазоне от 0.02 - 0.1 до 10 - 100 Бк/л в зависимости от используемого типа радиометра.

На сегодняшний день методика внедрена в работу более 300 лабораторий и аналитических центров.

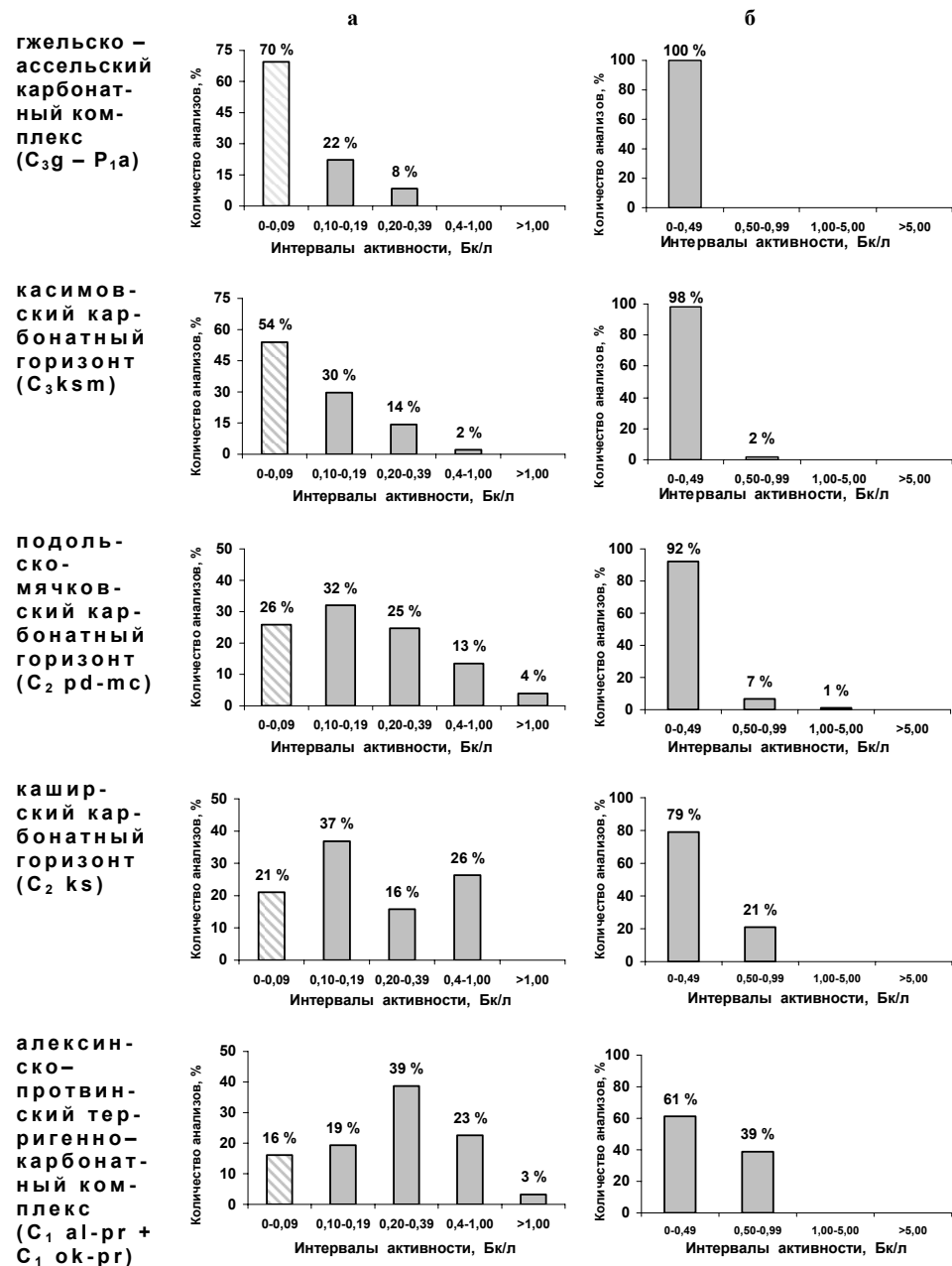
Определение удельной (объемной) активности естественных радионуклидов – ^{238}U , ^{234}U , ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb . Радиохимические методы применяются для точного количественного определения радионуклидов в исследуемом объекте. Как правило, эти методы используют при определении РН, не имеющих ярко выраженных гамма-линий и измерение активности которых инструментальными методами не представляется возможным.

В общем виде преимущества радиохимических методов, разработанных при участии автора, следующие:

- селективное выделение радионуклида или группы изотопов одного элемента;
- высокий коэффициент концентрирования (например, 1 л фоновой природной воды содержит $10^{-16} - 10^{-17}$ г ^{210}Po , после радиохимии получается счетный образец спектрометрического качества, т.е. чрезвычайно тонкий, содержащий 90 - 95 % от исходного количества ^{210}Po);
- высокая чувствительность (в рядовых исследованиях до $n \times 10^{-3}$ Бк/образец);
- высокая точность определения объемной активности, так как используются изотопные индикаторы (трассеры: ^{232}U , ^{234}Th), по которым осуществляется как учет потерь на всех стадиях подготовки, так и внутренний контроль правильности выполнения анализа;
- высокая информативность, так как кроме количественного определения каждого из изотопов появляется возможность оценки природы аномалии по соотношениям между изотопами;
- возможность прямого определения радионуклида.

Отличительной особенностью разработанных методик, составляющих комплекс, является наличие многих общих стадий, особенно в начале и конце пробоподготовки, универсальная геометрия счетного образца. При разработке методик многостадийные,

Рис. 4. Суммарная активность альфа- (а) и бета- (б) излучающих радионуклидов основных водоносных горизонтов питьевого водоснабжения Московского региона.



Результаты измерений суммарных активностей альфа- и бета-излучающих радионуклидов отображены в виде гистограмм (рис. 2).

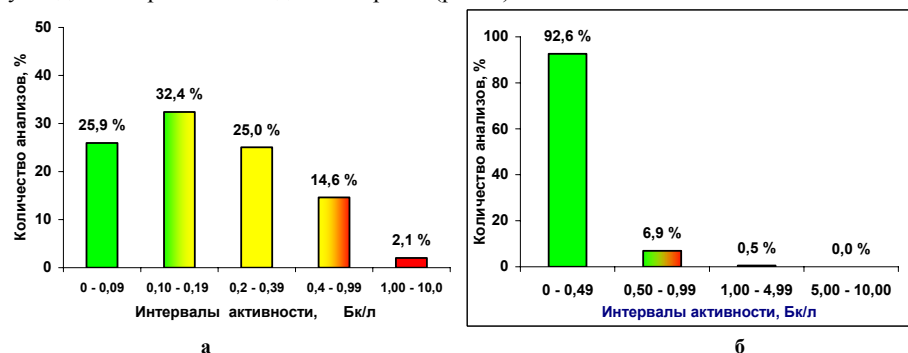


Рис. 2. Распределение значений суммарной активности альфа-(а) и бета-(б) излучающих радионуклидов в Москве и Московской области по интервалам активности.

Анализ показывает, что по значениям суммарной активности альфа-излучающих РН только 1/4 часть исследованных водных проб (25.9 %) из артезианских скважин Московского региона соответствует гигиеническим требованиям по питьевой воде [СанПиН 2.1.4 1074-01, 2001], т. е. не превышает норматив 0.1 Бк/л; 3/4 от общего объема исследованных водных проб в той или иной степени превышают уровень 0.1 Бк/л, причем примерно в 16 - 17 % случаев более чем в 5 раз.

Ситуация по показателю суммарной активности бета-излучающих РН более оптимистична. Только 0.5 % (4 скважины) от общего объема исследованных проб превышает норматив 1.0 Бк/л [СанПиН 2.1.4.1074-01, 2001]. Предположительно, это превышение суммарной бета- активности обусловлено повышенным содержанием в пробах K^{40} .

Если сравнивать суммарную активность альфа-излучающих радионуклидов непосредственно для г. Москвы и Московской области (рис. 3), то получаем следующее:

- доля радиологически "чистой" (в интервале активности до 0.1 Бк/л) артезианской воды в г. Москве в 6 раз меньше, чем по Московской области;
- по другим интервалам активности (0.1 - 0.2; 0.2 - 0.4; 0.4 - 1.0 Бк/л) видно, что вода в Москве более "грязная", чем в области.

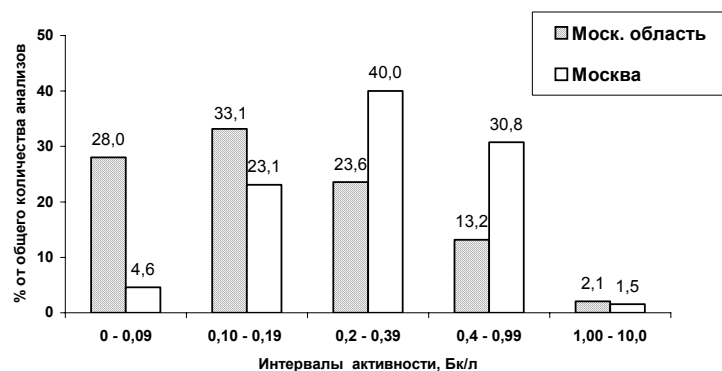


Рис. 3. Сравнение значений суммарной активности альфа-излучающих радионуклидов в Москве и Московской области по интервалам активности.

громоздкие схемы анализа заменены на значительно более простые и эффективные, причем с использованием доступных реактивов.

Следует отметить новую методику определения содержания изотопов радия (^{228}Ra , ^{226}Ra) в водных пробах. Имея общую со стандартными методиками начальную стадию, новая методика принципиально отличается в измерительном и расчетном окончании анализа. Методика основана на селективном выделении суммы изотопов радия (224, 226, 228) в радиохимически чистом виде из водной пробы объемом 2 л соосаждением с сульфатом бария, приготовлении счетного образца (поршковой пробы небольшой массы - 100 мг), измерении альфа- и бета-излучения изотопов радия и дочерних продуктов распада через определенные интервалы времени после концентрирования, расчете результатов измерения по специальному алгоритму. Контроль потерь осуществляется в ходе радиохимической подготовки по весу сульфата бария.

Методика сравнительно экспрессная (получение результата через 10 - 12 дней), не требует применения дефицитных дорогостоящих реактивов и материалов, рассчитана на недорогую аппаратуру (отечественные низкофоновые альфа-бета-радиометры).

Результатом измерения в методике являются объемные активности ^{226}Ra и ^{228}Ra в пробе, которые получают путем решения системы уравнений:

$$\begin{cases} Y_{\alpha}^{t_1} = \varepsilon_{\alpha,226}^{t_1} \cdot k_{\alpha,226}^{t_1} \cdot A_{226} + \varepsilon_{\alpha,224}^{t_1} \cdot k_{\alpha,224}^{t_1} \cdot A_{224} + \varepsilon_{\alpha,228}^{t_1} \cdot k_{\alpha,228}^{t_1} \cdot A_{228}, \\ Y_{\beta}^{t_1} = \varepsilon_{\beta,226}^{t_1} \cdot k_{\beta,226}^{t_1} \cdot A_{226} + \varepsilon_{\beta,224}^{t_1} \cdot k_{\beta,224}^{t_1} \cdot A_{224} + \varepsilon_{\beta,228}^{t_1} \cdot k_{\beta,228}^{t_1} \cdot A_{228}, \\ Y_{\alpha}^{t_2} = \varepsilon_{\alpha,226}^{t_2} \cdot k_{\alpha,226}^{t_2} \cdot A_{226} + \varepsilon_{\alpha,224}^{t_2} \cdot k_{\alpha,224}^{t_2} \cdot A_{224} + \varepsilon_{\alpha,228}^{t_2} \cdot k_{\alpha,228}^{t_2} \cdot A_{228}. \end{cases}$$

Активности изотопов радия определяются как:

$$A_{226} = \frac{Y_{\alpha}^{t_2} - (C_4 - C_1 \cdot C_3) \cdot Y_{\alpha}^{t_1} - C_3 \cdot Y_{\beta}^{t_1}}{(\varepsilon_{\alpha,226}^{t_2} \cdot k_{\alpha,226}^{t_2} - C_4 \cdot \varepsilon_{\alpha,226}^{t_1} \cdot k_{\alpha,226}^{t_1} - C_2 \cdot C_3) \cdot \tau \cdot V} \quad \text{и}$$

$$A_{228} = \frac{Y_{\beta}^{t_1} - \varepsilon_{\beta,226}^{t_1} \cdot k_{\beta,226}^{t_1} \cdot A_{226} - \varepsilon_{\beta,224}^{t_1} \cdot k_{\beta,224}^{t_1} \cdot A_{224}}{\varepsilon_{\beta,228}^{t_1} \cdot k_{\beta,228}^{t_1} \cdot \tau \cdot V},$$

где $C_{1,2,3,4}$ - коэффициенты, принятые для упрощения и включающие значения $\varepsilon_{\alpha,\beta,i}^{t_1}$, $\varepsilon_{\alpha,i}^{t_2}$, $k_{\alpha,\beta,i}^{t_1}$, $k_{\alpha,i}^{t_2}$, $Y_{\alpha,\beta}^{t_1}$ и $Y_{\alpha}^{t_2}$; τ - радиохимический выход; V - объем пробы.

Решение системы уравнений реализовано в виде программы на основе Microsoft Excel.

Определение удельной (объемной) активности техногенных радионуклидов - ^{137}Cs , ^{90}Sr . В настоящее время ситуация связанная с присутствием в подземных питьевых водах Московского региона техногенных РН (прежде всего ^{137}Cs , ^{90}Sr) вполне благоприятная. Но это благополучие может нарушиться в одночасье, как это произошло 26 апреля 1986 г. в связи с аварией на ЧАЭС.

И хотя на территории Москвы и Московской области не расположены атомные электростанции, но говорить о полном радиозэкологическом спокойствии не приходится. В Москве расположены несколько ядерных исследовательских реакторов, из которых наиболее известны Курчатовский и МИФИ. В Московской области также находятся предприятия ядерно-топливного цикла (ЯТЦ). Чернобыльская катастрофа дала толчок для разработки новых методик определения техногенных радионуклидов в различных объектах окружающей среды.

Перечень основных контролируемых радиационных характеристик при исследовании качества артезианских вод Московского региона. Аппаратурно-методическое обеспечение исследований.

№ п/п	Радионуклид или радиационный параметр	Название методики выполнения измерений или методических рекомендаций	Аппаратурное обеспечение	ММА, Бк/л
1	$A_{\Sigma\alpha}$ - Суммарная альфа-активность	«Подготовка проб природных вод для измерения суммарной альфа- и бета- активности. Методика выполнения измерения суммарной альфа- и бета- активности сухих остатков водных проб с помощью проточного пропорционального счетчика». Москва, ВИМС. Утверждена Госстандартом РФ.	Низкофоновые альфа- бета- радиометры с проточными пропорциональными счетчиками и комбинированной защитой типа «LB- 770/5L/PS» («BERTHOLD», Германия). Низкофоновые альфа- бета- радиометры на основе ППД типа «УМФ-2000» (НПП «ДОЗА», Россия)	0.01
2	$A_{\Sigma\beta}$ - Суммарная бета-активность	«Методика выполнения измерений объемной активности изотопов урана (234,238) в пробах природных вод альфа-спектрометрическим методом с радиохимическим выделением». Утверждена Госстандартом РФ.	Стандартный альфа- спектрометр на основе ионизационной импульсной камеры или полупроводникового детектора, например: OrtecOctete/Ocpi-U0600-PPS230, Soloist («EG&G Ortec», США); Прогресс-Альфа; УМФ-2000 («Средес» (ЗАО «Доза», РФ)	0.005
3	^{238}U - Уран-238	«Методика выполнения измерений объемной активности изотопов радия (226,228) в пробах природных вод гамма-спектрометрическим методом с предварительным концентрированием». Утверждена Госстандартом РФ.	Сцинтилляционный или полупроводниковый гамма- спектрометр (например «Ortec-65195-P/DSPecPlus; Gamma-Vision», («ORTEC», США))	0.005
4	^{238}U - Уран-234	«Методика выполнения измерений объемной активности изотопов радия (226,228) в пробах природных вод альфа- спектрометрическим методом с радиохимической подготовкой». Утверждена Госстандартом РФ.	Низкофоновый альфа- бета- радиометр типа «УМФ-2000М» (НПП «ДОЗА», Россия)	0.030
5	^{228}Ra - Радий-226	«Методика выполнения измерений объемной активности полония-210 и свинца-210 в пробах природных вод альфа- бета- радиометрическим методом с радиохимической подготовкой». Утверждена Госстандартом РФ.	Низкофоновый альфа- бета- радиометр типа «УМФ-2000М» (НПП «ДОЗА», Россия)	0.010
6	^{228}Ra - Радий-228	«Методика выполнения измерений объемной активности изотопов радия (226, 228) в пробах природных вод альфа – бета – радиометрическим методом с радиохимической подготовкой». Утверждена Госстандартом РФ.	0.050	
7	^{210}Po - Полоний-210	«Методика выполнения измерений объемной активности изотопов тория (232, 230, 228) в природных водах альфа- спектрометрическим методом с радиохимической подготовкой». Утверждена Госстандартом РФ.	Стандартный альфа- спектрометр на основе ионизационной импульсной камеры или полупроводникового детектора, например: OrtecOctete/Ocpi-U0600-PPS230, Soloist («EG&G Ortec», США); Прогресс-Альфа; УМФ-2000 («Средес» (ЗАО «Доза», РФ)	0.007
8	^{210}Pb - Свинец-210	«Методика выполнения измерений объемной активности цезия-137 в пробах природных вод гамма- спектрометрическим методом с предварительным концентрированием». Утверждена Госстандартом РФ.	Сцинтилляционный или полупроводниковый гамма- спектрометр (например «Ortec-65195-P/DSPecPlus; Gamma-Vision», («ORTEC», США))	0.007
9	^{232}Th - Торий-232	«Методика выполнения измерений объемной активности изотопов тория (232, 230, 228) в природных водах альфа- спектрометрическим методом с радиохимической подготовкой». Утверждена Госстандартом РФ.	0.007	
10	^{230}Th - Торий-230	«Методика выполнения измерений объемной активности изотопов тория (232, 230, 228) в природных водах альфа- спектрометрическим методом с радиохимической подготовкой». Утверждена Госстандартом РФ.	0.007	
11	^{228}Th - Торий-228	«Методика выполнения измерений объемной активности цезия-137 в пробах природных вод гамма- спектрометрическим методом с предварительным концентрированием». Утверждена Госстандартом РФ.	0.01	
12	^{137}Cs - Цезий-137	«Методика выполнения измерений объемной активности стронция-90 в пробах природных пресных вод бета- радиометрическим методом с радиохимической подготовкой проб». Москва, ВИМС. Утверждена Госстандартом РФ.	Низкофоновые альфа- бета- радиометры с проточными пропорциональными счетчиками и комбинированной защитой типа «LB- 770/5L/ PS» («BERTHOLD», Германия). Низкофоновые альфа- бета- радиометры на основе ППД типа «УМФ-2000» (НПП «ДОЗА», РФ)	0.10
13	^{90}Sr - Стронций-90			

Методики для определения содержания техногенных радионуклидов в водах (поверхностных и подземных) разработаны в Лаборатории до начала исследований артезианских вод Московского региона. Потребность в их применении в регионе за 8 лет практически не возникала. Исключение составляют единичные измерения изотопов ^{137}Cs и ^{90}Sr в некоторых пробах воды. Тем не менее, такие методики будут востребованы в случае возникновения различных кризисных ситуаций, техногенных катастроф.

Полный перечень контролируемых радиационных параметров и аппаратурно-методическое обеспечение радиоэкологических исследований подземных вод приводится в таблице 1.

Все разработанные методики аттестованы в системе Госстандарта РФ, прошли метрологическую экспертизу, внесены в Госреестр и рекомендованы для использования в Лабораториях радиационного контроля.

Применяя разработанный аппаратурно-методический комплекс, обеспечивающий требования современной системы радиационного контроля, автор провел радиоэкологическую оценку состояния природных артезианских вод изучаемого региона.

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать первое защищаемое положение:

1. Разработан рациональный аппаратурно-методический комплекс, обеспечивающий определение приоритетных радиологических показателей, включающий высокоответственные методики выполнения измерений ультрамалых содержаний естественных и техногенных радионуклидов в подземных водах, принципиально новые способы подготовки проб, схемы радиометрических и спектрометрических измерений, математические алгоритмы получения результатов.

Глава 3. Современный уровень естественной и техногенной радиоактивности, определение природных и техногенных факторов, обуславливающих изменения радионуклидного состава подземных вод, классификация вод по радионуклидному составу.

Масштабное комплексное изучение радиационных характеристик, и в том числе радионуклидного состава, подземных вод основных эксплуатируемых горизонтов Московского региона проводится впервые. Выполнено более 1000 определений суммарных активностей альфа- и бета-излучающих радионуклидов. Радионуклидному анализу подверглось 160 водозаборов.

Пробы артезианских вод представлены с большей части территории Москвы и Московской области. Отбор проб воды из действующих скважин осуществлялся организациями, занимающимися водными исследованиями по государственным программам (ЗАО "Геолинк Консалтинг", ЗАО "ГИДЭК", ОАО "Центргеология", ФГУП "Геоцентр-Москва"), а также районными Центрами ГСЭН и непосредственно организациями-владельцами скважин. Идентификация проб проводилась по номеру скважины в Государственном водном кадастре (ГВК). Там, где на пробах воды номер ГВК отсутствовал, привязка осуществлялась по точному месту отбора (район, населенный пункт, местный номер скважины). Радиохимическая подготовка проб осуществлялась согласно разработанным методикам.

Результаты измерений суммарной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов артезианских вод Московского региона.

Согласно схеме радиационного контроля (рис. 1) на первом этапе исследований определялись суммарные показатели радиоактивности воды. Приготовленный сухой препарат водной пробы измерялся на низкофоновых альфа-бета-радиометрах (УМФ-2000, LB-770 Berthold). Исходные данные по пробам и измеренные параметры активности заносились в базу данных.