

ТРАНСФОРМАЦИЯ УЯЗВИМОСТИ ГРУНТОВЫХ ВОД К РАДИОАКТИВНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ В ЗОНЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО СЛЕДА НА ТЕРРИТОРИИ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ¹

© 2020 г. А.П. Белоусова, Е.Э. Руденко

Институт водных проблем РАН

Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: anabel@iwr.ru, belanna47@mail.ru

Поступила в редакцию 03.02.2020. После доработки 27.02.2020. Принята к публикации 01.03.2020

На основе ежегодно предоставляемых научно-производственным объединением «Тайфун» (2019) данных о радиационном мониторинге и областных государственных докладов (Левкина и др., 2019; Доклад о состоянии ..., 2019) проведен детальный анализ радиационной обстановки на территории России и отдельных её регионов, включающий следующие исследования: оценка проблем и перспектив атомной энергетики в стране и за рубежом; анализ мониторинга радиационной обстановки территории на примере Центрального федерального округа, включающий структуру мониторинга атомных станций (на примере Калининской, Курской, Смоленской и Нововонежской станций) и мониторинг радиационной обстановки на территориях, расположенных в зоне радиоактивного следа от аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) в Калужской и Брянской областях, которые являются предметом наших исследований.

Показано, что влияние деятельности атомных электростанций (далее АЭС) на радиоактивность объектов окружающей среды в 2018 г. было невелико. Оно строго контролируется и выражается в повышенном содержании трития, повышенном региональном уровне по объемной активности ¹³⁷Cs, наличии в окружающей среде техногенных радионуклидов ⁵⁴Mn, ⁵⁹Fe, ⁶⁰Co, ⁹⁵Zr, ⁹⁵Nb, ¹³¹I, отсутствующих в составе глобального фона. Объемные активности контролируемых радионуклидов в 2018 г. были значительно ниже допустимых значений, обозначенных в нормах радиационной безопасности (СанПиН ..., 2009) и не представляют опасности для здоровья населения. Однако до сих пор ярко выражены последствия техногенного загрязнения радионуклидами, попавшими в окружающую среду после аварии на ЧАЭС, что проявляется в повышенной суммарной радиоактивности поверхностных и подземных вод, почв и растительности. Отдельные территории требуют реабилитационных мероприятий. Поэтому исследования в режиме мониторинга в области радиоактивного следа ЧАЭС являются актуальными и необходимыми для более точного понимания изменения радиационного загрязнения подземных вод.

Исследование гидрогеологических условий этого региона показало, что они отличаются большим разнообразием водоносных горизонтов, как безнапорных, так и напорных, и, в целом, гидрогеологическое строение территории напоминает собой «слоеный пирог». Безнапорные водоносные горизонты включают в себя воды четвертичных (аллювиальных, гляциальных, флювиогляциальных, болотных,

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-05-00476 «Особенности трансформации радиоактивного загрязнения литосферы и подземной гидросферы в зоне чернобыльского радиоактивного следа на территории России» и № 20-55-S52003 «Экологическая безопасность АЭС при штатной и чрезвычайной ситуации с оценкой неопределенности при захоронении ядерных отходов и надежности инженерных барьерных систем» и Государственному заданию «Моделирование и прогнозирование процессов восстановления качества вод и экосистем при различных сценариях изменений климата и антропогенной деятельности» – Программа № АААА-А18-118022090104-8.

пролювиальных горизонтов), меловых и юрских отложений. Все эти водоносные горизонты связаны между собой и не имеют выдержанных водоупоров внутри этой толщи (комплекса). Напорные водоносные горизонты пресных подземных вод включают в себя множество связанных между собой водоносных горизонтов каменноугольного возраста. Между двумя этими толщами залегает выдержанный по площади верхнеюрский водоупор, разделяющий их. Ниже каменноугольных горизонтов залегают горизонты девонского, протерозойского и архейского возраста, содержащие соленые подземные воды и рассолы.

Для оценки защищенности и уязвимости подземных вод к загрязнению использовалась оригинальная авторская методика. Основные положения этой методики представлены ниже.

Защитная зона – отделяет подземные воды от поверхностного загрязнения и имеет двухуровневое строение, включающее почвы и породы зоны аэрации.

Защищенность – способность защитной зоны препятствовать проникновению загрязнения в подземные воды в течение определенного времени.

Уязвимость подземных вод к загрязнению – отношение реальной техногенной нагрузки изучаемой территории к естественной защищенности подземных вод. Вещество считается загрязняющим, если его концентрации превышают фоновые значения. Следовательно, при оценке защищенности учитывались особенности строения защитной зоны, отделяющей грунтовые воды от поверхностного загрязнения, и процессы, происходящие в ней под влиянием загрязнения.

Для оценки защищенности был построен комплект среднемасштабных карт (масштаб 1:200000) как наиболее отвечающий возможности оценить защищенность на качественном и количественном уровнях.

Карта защитной зоны получена путем совмещения почвенной карты, отображающей строение ее первого уровня, и карт, характеризующих строение второго уровня защитной зоны (глубин залегания и литологического строения зоны аэрации). На ней выделены типовые участки, характеризующиеся определенным строением первого и второго уровней и глубиной залегания грунтовых вод, описание этих типовых участков приведено в легенде к карте. Таким образом, на этой карте проведено районирование территории по особенностям свойств защитной зоны к задержанию загрязнений.

При оценке возможности загрязнения грунтовых вод радионуклидами учитываются показатели: сорбционные свойства, обеспечивающие задержание радионуклидов почвами и породами зоны аэрации; ограничение интенсивности продвижения (вплоть до полного задержания) с инфильтрационным потоком до грунтовых вод; миграционные свойства почв и пород зоны аэрации, зависящие от физико-механических, водно-физических, фильтрационных свойств и их минералогического состава и характеризующие интенсивность продвижения фронта загрязненных инфильтрующихся вод вглубь зоны аэрации до грунтовых вод; путь фильтрации (инфильтрации), т.е. мощность зоны аэрации или глубина залегания грунтовых вод; период полураспада радионуклидов.

Защищенность грунтовых вод от любого загрязняющего вещества зависит от времени достижения фронтом загрязненных инфильтрационных вод водоносного горизонта. Время прохождения растворенным в воде радионуклидом толщи почв и пород зоны аэрации с заполнением их сорбционной емкости и последующим достижением грунтовых вод определялось по предложенному математическому выражению.

Выделение категорий по предложенному времени продвижения загрязняющего вещества через защитную зону по существу является приближенной прогнозной оценкой процесса загрязнения грунтовых вод в данном случае радионуклидами.

Карты защищенности грунтовых вод от загрязнения ^{90}Sr и ^{137}Cs строились на основе карты защитной зоны. Сравнение этих карт показывает, что наиболее опасен

для грунтовых вод ^{90}Sr , т.к. загрязнение им может охватить в короткий период (меньше 5 лет) большие участки водоносного горизонта.

На карте защищенности грунтовых вод от загрязнения ^{90}Sr показано, что около 50% территории не защищены, 20% территории слабо защищены, еще 20% условно защищены (в основном) на севере и по 5% – защищены и средне защищены.

Иная ситуация складывается при загрязнении ^{137}Cs : незащищенные грунтовые воды приурочены только к узкой полосе вдоль русел рек, слабо защищенные – к долинам нескольких малых рек на северо-западе, средне защищенные – к высоким террасам рек, условно защищенные примыкают к водоразделам, условно защищенные и защищенные преобладают.

Таким образом, оценка времени продвижения радионуклидов через защитную зону позволяет дать приближенную прогнозную оценку процесса загрязнения грунтовых вод этим чрезвычайно опасным загрязняющим веществом.

Карта уязвимости грунтовых вод по ^{137}Cs строится на основе карты техногенной нагрузки по ^{137}Cs (распределение загрязнения поверхности земли ^{137}Cs) и карты защищенности грунтовых вод ^{137}Cs . Проведена оценка и картирование уязвимости грунтовых вод к радиоактивному загрязнению ^{137}Cs на момент аварии на ЧАЭС, спустя 30, 60 и 90 лет после аварии.

По данным поэтапной оценки уязвимости грунтовых к загрязнению, в целом, прослеживается тенденция изменения техногенной нагрузки на территории радиоактивного следа, что позволило сделать вывод, что в интервале 100-120 лет активность первоначальных поверхностных выпадений ^{137}Cs снизится до значений ниже предельных уровней, но будет еще превышать фоновые значения, а полностью исчезнет через 300 лет после аварии.

В течение 100-120 лет после аварии на ЧАЭС в зоне радиоактивного следа могут быть обнаружены участки, на которых загрязнение грунтовых вод ^{137}Cs будет превышать фоновые концентрации.

Ключевые слова: радиационная обстановка, мониторинг, радионуклиды, защищенность и уязвимость подземных вод, источники загрязнения, техногенная нагрузка.

DOI: 10.24411/2542-2006-2020-10053