

ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ РАДИОНУКЛИДАМИ

Рассмотрена методика оценки защищенности и уязвимости подземных вод к загрязнению радионуклидами. Приведены результаты оценки и картирования защищенности и уязвимости грунтовых вод на российской территории бассейна р. Днепр в границах Брянской и Калужской областей как наиболее пострадавших от аварии на Чернобыльской атомной станции. Показано, что грунтовые воды уязвимы к радиоактивному загрязнению на участках с высокой плотностью поверхностного загрязнения радионуклидами; процесс миграции радионуклидов через защитную зону медленно, но протекает, что подтверждено данными мониторинга.

Введение

Авария на Чернобыльской атомной станции (ЧАЭС) в апреле 1986 г. произошла, в основном, в результате так называемого «человеческого фактора» и привела к катастрофическим последствиям для некоторых территорий европейской части России. Авария на атомной станции «Фукусима 1» в Японии произошла в марте 2011 г., предположительно, в результате ошибки в проектировании станции (станция устояла при землетрясении, но не выдержала воздействия цунами). Выбросы в атмосферу, загрязнение почв и подземных вод как после аварии на ЧАЭС, так и после аварии на Фукусиме характеризуются практически аналогичными наборами радионуклидов, так как на обеих атомных станциях ввиду аварийной ситуации подверглось топливо. Рассмотрим, как развивалась экологическая ситуация (акцентируя основное внимание на подземных водах) на территориях России, пострадавших от аварии на ЧАЭС. До аварии на ЧАЭС подземные воды не являлись объектом радиационного мониторинга. Авария показала, что подземные воды чувствительны к радиоактивному загрязне-

А.П. Белоусова*,
доктор
географических наук,
профессор,
главный научный
сотрудник,
ФГБУН Институт
водных проблем
Российской
академии наук

нию. В Белоруссии и в Украине на загрязненных территориях радионуклиды были обнаружены не только в грунтовых, но и в напорных глубокозалегающих подземных водах. В 70 км зоне в результате водной миграции постепенно загрязнялись подземные воды. Радионуклиды в поверхностных и подземных водах образовали концентрации, в 3-5 раз превышающие средний уровень фоновых. В водах многих колодцев в районе ЧАЭС, вскрывших верхние водоносные горизонты, было обнаружено присутствие изотопов ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{144}Ce , ^{106}Ru , что свидетельствует о возможности попадания радионуклидов в подземные воды при фильтрации через зону аэрации [1].

На сегодняшний день на загрязненных в результате аварии на ЧАЭС территориях Брянской области вследствие ветрового подъема пыли с загрязненных почв и хозяйственной деятельности населения до сих пор наблюдается повышенное содержание радионуклидов в воздухе. Основным загрязняющим радионуклидом является ^{137}Cs . Плотность поверхностного загрязнения ^{137}Cs некоторых районов Брянской области составляет более 15 Ки/км² [2].

За прошедшие двадцать пять лет после аварии на ЧАЭС на территориях Брянской, Тульской, Орловской и Калужской областей подземные воды в различной степени подверглись загрязнению радионуклидами (^{137}Cs и ^{90}Sr). Анализируя современную экологическую ситуацию в подземных водах, можно констатировать, что предварительные прогнозы специалистов, указывающие на задержание радионуклидов в 10-ти см. слое почв, не оправдались, а опасения других специалистов [2] по поводу возможного загрязнения подземных вод радионуклидами подтвердились.

* Адрес для корреспонденции: anabel@aqua.laser.ru

Основные принципы оценки защищенности подземных вод от загрязнения

Взаимосвязь подземной части гидросферы с другими компонентами окружающей среды и возможность ее загрязнения через эти компоненты характеризуется степенью защищенности и уязвимости подземных вод к загрязнению и отражается на соответствующих картах.

Рассмотрим основные положения, которые, на наш взгляд, следует учитывать при оценке и картировании защищенности грунтовых вод от загрязнения [3]:

1. Необходимо сформулировать, что мы понимаем под защищенностью грунтовых вод от загрязнения, от этого будут зависеть и методы ее оценки. Дадим авторские определения основных оцениваемых показателей.

Защитная зона – это зона, отделяющая подземные воды от поверхностного загрязнения и имеющая двухуровневое строение: почвы и породы зоны аэрации. Защищенность – способность защитной зоны препятствовать проникновению загрязнения в подземные воды в течение определенного времени. Отношение реальной техногенной нагрузки изучаемой территории к естественной защищенности подземных вод называется их уязвимостью к загрязнению. Природный защитный потенциал – способность геологической среды (почв и пород зоны аэрации) удерживать загрязнение в защитной зоне, зависящий от литологических, фильтрационных и сорбционных свойств почв и пород.

2. В защитной (ненасыщенной) зоне движение влаги, а с ней и загрязняющих веществ, как правило, носит вертикальный одномерный характер, что упрощает и математический аппарат для оценки защищенности и способы ее картирования.

3. Карты защищенности имеет смысл строить только для грунтовых вод. Эти карты носят оценочный (приближенный характер).

4. В связи с тем, что оценка защищенности, как правило, имеет картографическое выражение, необходимо в первую очередь установить масштаб этой оценки. Карты защищенности грунтовых вод от загрязнения целесообразно строить в среднемасштабном исполнении (1:200000 и 1:100000), как наиболее отвечающем возможностям осуществления оценки защищенности на качественном и количественном уровнях.

5. Для построения карты защищенности от загрязнения необходимо располагать следующими сведениями о защитной зоне и грунтовых водах: рельеф местности, его уклоны, характер гидрографической сети; метеорологические данные – величина атмосферных осадков; литологическое строение защитной

зоны; фильтрационные свойства пород, слагающих защитную зону; мощность защитной зоны или глубина залегания грунтовых вод; величины поверхностного и подземного стоков и их соотношения; величину инфильтрационного питания грунтовых вод и их режим.

6. Необходимо иметь данные о загрязняющих веществах – их миграционных свойствах, о физико-химических процессах, сопровождающие миграцию загрязняющих веществ; основные параметры процесса, оказывающего наибольшее влияние на взаимодействие в системе порода-вода.

7. Следующим важным аспектом при построении карт защищенности является установление критериев оценки защищенности. На наш взгляд, главным фактором для выбора критериев оценки защищенности является степень токсичности загрязняющего вещества, имеющая следующие градации:

I категория – чрезвычайно опасные химические элементы, содержание которых в подземных водах не может превышать 1,0 мг/л;

II категория – высоко опасные и умеренно опасные химические элементы, содержание которых в подземных водах может изменяться от 1,0 до 10,0 мг/л;

III категория – малоопасные химические элементы, содержание которых в подземных водах может превышать 10 мг/л.

Большинство из нормируемых в нашей стране элементов относится к категории чрезвычайно опасных загрязняющих веществ, к ним относятся и радионуклиды. Для них следует применить самый жесткий подход при выборе метода оценки защищенности подземных вод от них. Наиболее подходящей оценкой защищенности подземных вод от загрязнения чрезвычайно опасными химическим элементом является время проникновения (t_3) загрязняющего вещества через защитную зону в грунтовые воды.

Методика среднемасштабной оценки защищенности и уязвимости грунтовых вод к загрязнению

Рассмотрим на примере российской территории бассейна р. Днепр в границах Брянской и Калужской областей методику оценки защищенности и уязвимости грунтовых вод к радиоактивному загрязнению.

Оценка защищенности грунтовых вод осуществляется для предельных условий, когда предполагается, что загрязнение данным загрязняющим веществом распространяется на всю исследуемую территорию вне зависимости от его интенсивности.

Для построения карт защищенности и уязвимости грунтовых вод к загрязнению необ-

ходимо иметь комплект карт, последовательность построения которых отражена ниже.

Карта защитной зоны

При построении карты защитной зоны [4 6] первый уровень защитной зоны отражается на почвенной карте (за основу были приняты государственные почвенные карты [6]), на которой показывается тип почв и их механический состав. Строение второго уровня защитной зоны характеризуется двумя картами – глубин залегания грунтовых вод и инженерно-геологического строения зоны аэрации. Для построения карты глубины залегания грунтовых вод использовались изданные гидрогеологические карты [7]. Для характеристики второго уровня защитной зоны использовались изданные карты четвертичных отложений [8], на которых были обобщены сведения о литологии, водно-физических и фильтрационных свойствах пород зоны аэрации по всем генерализованным литолого-генетическим комплексам.

Карта защитной зоны получается путем наложения почвенной карты, отображающей строение первого уровня защитной зоны, и карт, характеризующих строение второго уровня защитной зоны (глубин залегания и инженерно-геологического строения зоны аэрации). На карте выделяются типовые участки, характеризующиеся определенным строением первого и второго уровней защитной зоны и глубиной залегания грунтовых вод; описание этих типовых участков приводится в легенде к карте.

Следующий этап построения карты защитной зоны – установление категорий для характеристики природного потенциала защитной зоны и ее способности защитить грунтовые воды от загрязнения любого типа (радионуклидов, тяжелых металлов, нитратов и др.). При выделении категорий учитывается следующее: наличие или отсутствие защитных свойств у почвенного покрова (если почвы сложены суглинками и глиной, защитные свойства присутствуют, если песками и супесями – отсутствуют); наличие или отсутствие защитных свойств пород зоны аэрации; глубина залегания грунтовых вод, определяющая мощность зоны аэрации и время достижения фронтом загрязненных вод грунтового потока.

По соотношению литологического строения первого и второго уровней защитной зоны и глубине залегания грунтовых вод на качественном уровне были установлены следующие категории защитного потенциала защитной зоны:

- ◆ чрезвычайно слабый защитный потенциал;
- ◆ слабый защитный потенциал;

- ◆ средний защитный потенциал;
- ◆ высокий защитный потенциал.

Карта защитной зоны является базовой для построения карт защищенности и уязвимости грунтовых вод к любым загрязняющим веществам.

Карта защищенности грунтовых вод от загрязнения радионуклидами

При оценке возможности загрязнения подземных вод радионуклидами учитываются: сорбционные свойства, обеспечивающие задержание радионуклидов почвами и породами зоны аэрации; миграционные свойства почв и пород зоны аэрации, зависящие от физико-механических, водно-физических, фильтрационных свойств, их минералогического состава; путь фильтрации (инфильтрации), то есть мощность зоны аэрации или глубина залегания грунтовых вод; период полураспада радионуклидов и др.

Миграция радионуклидов сопровождается физико-химическими процессами. К таким процессам могут быть отнесены: ионный обмен, сорбция-десорбция, растворение-осаждение, выщелачивание, радиоактивный распад, осмос, комплексообразование и др. Сорбция радионуклидов оказывает наибольшее значение на задержку их породами и почвами. Основным параметром, характеризующий сорбцию – коэффициент распределения радионуклида.

По результатам обобщения литературных и опытных данных было установлено следующее [3]:

- ◆ По интенсивности миграции ^{90}Sr значительно опережает ^{137}Cs (первому соответствует конвективный, а второму – диффузионный механизм переноса, что выражается в различии, в основном на два порядка, коэффициентов дисперсии и диффузии);
- ◆ ^{90}Sr меньше сорбируется почвами и породами зоны аэрации, чем ^{137}Cs . Наибольшими сорбционными способностями обладает чернозем $K_p = 490-1150$ (^{90}Sr) и $1200-10000$ мл/г (^{137}Cs). Для серых лесных почв $K_p = 6-180$ (^{90}Sr) и $36-6100$ мл/г (^{137}Cs). Для подзолистых почв $K_p = 3-700$ (^{90}Sr) и $40-1500$ мл/г (^{137}Cs) (супесчаные и суглинистые почвы). Для аллювиальных и подзолистых песчаных почв $K_p = 5-10(100)$ (^{90}Sr) и $20-400$ мл/г (^{137}Cs). Для пород зоны аэрации характерны следующие значения: пески $K_p = 1-100$ (^{90}Sr) и $10-300$ мл/г (^{137}Cs); суглинки (глины) $K_p = 6-200$ (^{90}Sr) и $26-1000$ мл/г (^{137}Cs).
- ◆ Почвы обладают наибольшей удерживающей способностью по отношению к радионуклидам, что и определяет их как буфер более высокого порядка, чем зона аэрации.

Следующий этап построения карты – установление категорий защищенности грунтовых вод от загрязнения. Выделяются четыре категории защищенности грунтовых вод от загрязнения: незащищенные, слабо защищенные, средне защищенные и условно защищенные. Самые токсичные из долгоживущих радионуклидов – ^{90}Sr и ^{137}Cs , поэтому оценка защищенности должна проводиться отдельно по каждому радионуклиду.

Защищенность грунтовых вод от любого загрязняющего вещества зависит от времени достижения фронтом загрязненных инфильтрационных вод водоносного горизонта (t_3). Время прохождения растворенным в воде радионуклидом толщи почв и пород зоны аэрации мощностью M с заполнением их сорбционной емкости и последующим достижением УГВ (уровень грунтовых вод) можно определить так [3]:

$$t_3 = \frac{M\vartheta}{v} + \frac{M\vartheta \delta K_p}{W}, \quad (1)$$

где: K_p , л/кг – коэффициент распределения; δ , кг/дм³ – объемная масса скелета грунта, v , м/сут – скорость просачивания инфильтрационного потока [9]:

$$v = \frac{1}{\theta} \sqrt[3]{W^2 k_\phi}, \quad (2)$$

где θ – естественная влажность пород (в долях единицы), W – инфильтрационное питание (м/сут); k_ϕ – коэффициент фильтрации (м/сут).

Первое слагаемое в (1) характеризует движение влаги в ненасыщенной зоне (или движение нейтрального загрязняющего вещества), второе – физико-химическое взаимодействие (сорбцию) в системе порода–вода (или задержку загрязняющего вещества породой). В случае, когда коэффициент распределения значительно превышает единицу (как это характерно для радионуклидов) первым слагаемым в (1) можно пренебречь, также как и вторым, когда коэффициент распределения значительно меньше единицы.

Шкалу категорий естественной защищенности грунтовых вод от загрязнения целесообразно строить в зависимости от T – периода полураспада радионуклида. В этом случае выделяются следующие категории:

- ◆ незащищенные грунтовые воды: $t_3 < T$; $t_3 < 30$ лет;
- ◆ слабозащищенные грунтовые воды: $T < t_3 < 2T$; $30 \text{ лет} < t < 60 \text{ лет}$;
- ◆ средне защищенные грунтовые воды: $2T < t_3 < 3T$; $60 \text{ лет} < t < 100 \text{ лет}$;
- ◆ условно защищенные грунтовые воды: $t_3 > 3T$; $t_3 > 100 \text{ лет}$.

Выделение категории по времени продвижения загрязняющего вещества (в данном случае радионуклидов) через защитную зону по существу является приближенной прогнозной оценкой процесса загрязнения грунтовых вод.

Карты естественной защищенности грунтовых вод от загрязнения ^{90}Sr и ^{137}Cs строятся на основе карты защитной зоны. Сравнение карт показывает, что наиболее опасен для грунтовых вод ^{90}Sr , так как загрязнение им может охватить в короткий период (< 5 лет) большие участки водоносного горизонта.

Карта уязвимости грунтовых вод к загрязнению радионуклидами

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 .

Районы, подверженные радиоактивному загрязнению, отражаются на картах техногенной нагрузки по каждому радионуклиду. Карта техногенной радиоактивной нагрузки (Брянской и части Калужской областей), построенная по материалам Росгидромета [10], показывает интенсивность загрязнения только по радионуклиду ^{137}Cs (данных по другим радионуклидам нет).

Выделены следующие категории уязвимости подземных вод по ^{137}Cs : катастрофически уязвимые, очень сильно уязвимые, сильно уязвимые, уязвимые, слабо уязвимые и условно неуязвимые, неуязвимые. Выделение последней категории условно, так как за счет движения фильтрационного потока из областей, где распространены уязвимые грунтовые воды, загрязнение может достигнуть и областей с первоначально неуязвимыми грунтовыми водами.

Рассмотренный подход к построению карт естественной защищенности грунтовых вод от радиоактивного загрязнения может быть использован при составлении аналогичных карт по оценке загрязнения высокотоксичными загрязняющими веществами.

Результаты оценки защищенности и уязвимости грунтовых вод к загрязнению радионуклидами

Характеристика защитной зоны

Построение схематической карты защитной зоны осуществлялось путем наложения промежуточных карт: почвенной, инженерно-геологической и глубин залегания грунтовых вод. В качестве первоосновы промежуточных карт были использованы изданные карты: Государственная почвенная карта СССР масштаба 1:1000000 [6], материалы Министерства

природных ресурсов Российской Федерации, Гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:200000 [7], Геологическая карта СССР (четвертичных отложений) 1: 200000 [8]. Из-за того, что при построении карты использовались разномасштабные исходные данные, карта имеет схематический характер и названа схематической картой как и все последующие карты, построенные на ее основе.

На схематической карте защитной зоны выделено 116 типовых участков, характеризующихся однотипным строением почв, пород зоны аэрации и одинаковой глубиной залегания грунтовых вод, описание участков дано в экспликации (в статье не приводится).

На схематической карте защитной зоны на российской территории бассейна р. Днепр в границах Брянской и Калужской областей выделены следующие территории по особенностям строения защитной зоны:

- на большей части изучаемой территории защитная зона характеризуется чрезвычайно слабым защитным потенциалом, на этой территории развиты аллювиальные и подзолистые песчаные и супесчаные почвы, в разрезе зоны аэрации преобладают песчаные аллювиальные и водно-ледниковые отложения, а также распространены многочисленные болота, глубина залегания грунтовых вод не превышает 5 м;

- территории со слабым защитным потенциалом сосредоточены в центральной и южной частях, а также на севере территории, где распространены суглинистые подзолистые почвы и лесные суглинистые, и глинистые почвы, в разрезе зоны аэрации преобладают ледниковые отложения суглинистого состава.

На территориях распространения делювиальных отложений защитный потенциал защитной зоны улучшается до среднего, а на самых высоких водораздельных пространствах – до высокого.

Защищенность грунтовых вод от загрязнения ^{90}Sr

Оценка защищенности грунтовых вод от загрязнения ^{90}Sr проводилась по методике, изложенной выше. Для расчета времени достижения фронтом загрязненных вод уровня грунтовых вод использовалось уравнение (1). Расчет проводился для каждого типового участка для двух слоев – для почвы, мощность которой принималась равной 0,2 м (слой, обладающий наибольшей удерживающей силой по отношению к радионуклидам) и для пород зоны аэрации, мощность которых определялась разностью между средним значением интервала глубин

залегания грунтовых вод в пределах типового участка и мощностью почвы.

На большей части изучаемой территории (рис. 1) распространены незащищенные и слабо защищенные от загрязнения ^{90}Sr грунтовые воды, в районах городов Мглин, Клинцы, Новозыбков, Стародуб и в центральной части территории распространены средне защищенные грунтовые воды, а на водораздельных пространствах – условно защищенные от загрязнения ^{90}Sr грунтовые воды.

Защищенность грунтовых вод от загрязнения ^{137}Cs

Оценка защищенности грунтовых вод от загрязнения ^{137}Cs проводилась аналогично оценке защищенности грунтовых вод от загрязнения ^{90}Sr .

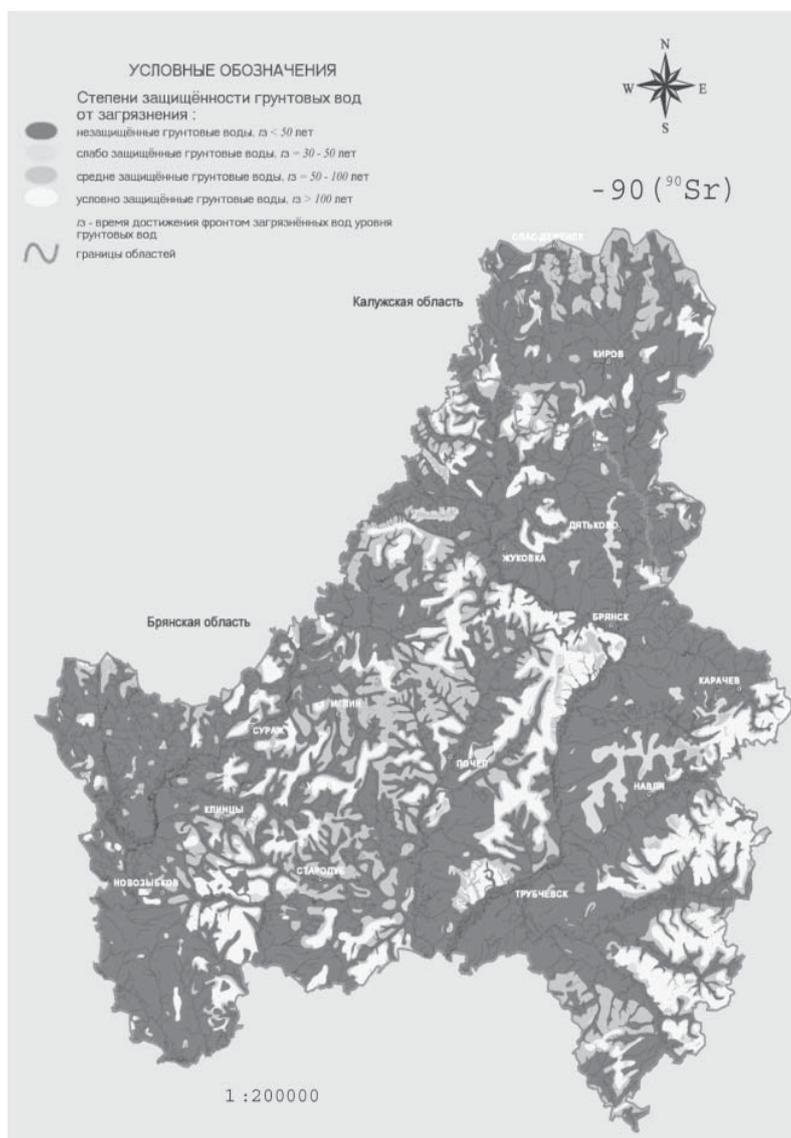


Рис. 1. Схематическая карта защищенности грунтовых вод от загрязнения ^{90}Sr на российской территории бассейна р. Днепр в границах Брянской и Калужской областей.

Степень защищенности грунтовых вод от загрязнения ^{137}Cs отличается от защищенности грунтовых вод от загрязнения ^{90}Sr . На большей части изучаемой территории распространены условно защищенные от загрязнения ^{137}Cs грунтовые воды, в долинах рек грунтовые воды незащищенные и слабо защищенные к загрязнению ^{137}Cs , на склонах долин рек распространены средне защищенные грунтовые воды.

Уязвимость грунтовых вод к загрязнению ^{137}Cs

Оценка уязвимости грунтовых вод проводится по реальному загрязнению и осуществляется она путем наложения карты техногенной нагрузки по ^{137}Cs на карту защищенности грунтовых вод от загрязнения ^{137}Cs .

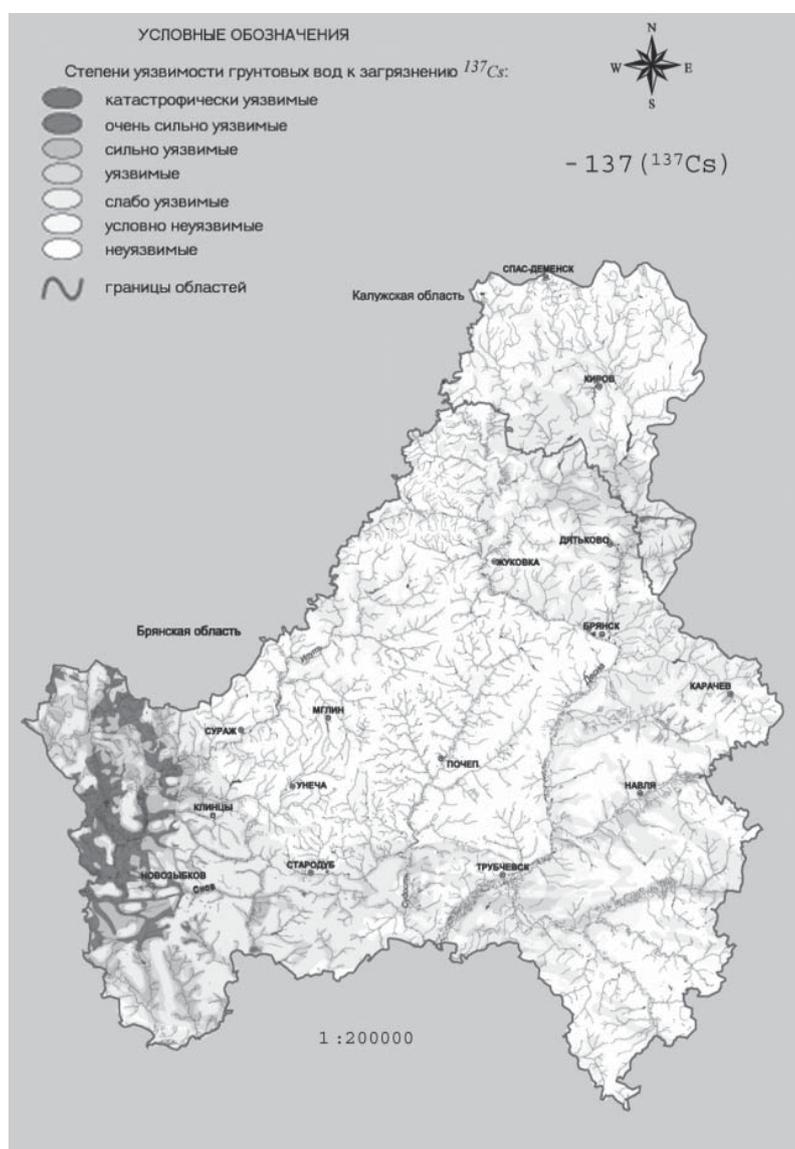


Рис. 2. Схематическая карта уязвимости грунтовых вод к загрязнению ^{137}Cs на российской территории бассейна р. Днепр в границах Брянской и Калужской областей.

Карта техногенной нагрузки по ^{137}Cs представляет собой карту радиоактивного загрязнения Европейской части и Уральского региона России по состоянию на январь 1993 г. масштаба 1: 500000 [10]. На этой карте приведены следующие градации плотности загрязнения поверхности ^{137}Cs в $\text{Ки}/\text{км}^2$: менее 1, 1–5, 5–15, 15–40 и более 40. К сожалению, плотность загрязнения в диапазоне от ПДУ до $1 \text{ Ки}/\text{км}^2$ на карте не приведена. Наиболее загрязненные территории ^{137}Cs распространены в западной части Брянской области в районах городов Новозыбков и Клинцы (рис. 2). Поверхностное загрязнение здесь изменяется от 15 до $40 \text{ Ки}/\text{км}^2$ по мере приближения к государственной границе. Между городами Стародуб и Трубчевск, в районе городов Навля, Дятьково, Карачев поверхностное загрязнение составляет $1–5 \text{ Ки}/\text{км}^2$. На юге Калужской области южнее г. Киров поверхностное загрязнение составляет $1–5 \text{ Ки}/\text{км}^2$ и на одном участке – $5–15 \text{ Ки}/\text{км}^2$.

Для характеристики уязвимости грунтовых вод к загрязнению ^{137}Cs была разработана категоризация степени уязвимости по соотношению техногенной нагрузки по ^{137}Cs к защищенности грунтовых вод от загрязнения ^{137}Cs .

На схематической карте уязвимости грунтовых вод от загрязнения ^{137}Cs показано, что в долине р. Ипуть в Брянской области распространены очень сильно и сильно уязвимые к загрязнению ^{137}Cs грунтовые воды, на территории севернее р. Ипуть у государственной границы также распространены очень сильно уязвимые и сильно уязвимые грунтовые воды; в долине р. Сож и её притоков грунтовые воды преимущественно сильно уязвимые и уязвимые с отдельным участком очень сильно уязвимых грунтовых вод. По линии южнее городов Сураж, Стародуб, Трубчевск, Навля до государственной границы распространены сильно уязвимые, уязвимые и слабо уязвимые к загрязнению ^{137}Cs грунтовые воды. На севере Брянской области от г. Дятьково и вдоль границы области степень уязвимости грунтовых вод к загрязнению ^{137}Cs изменяется от уязвимых до слабо уязвимых. В долинах рек распространены условно неуязвимые грунтовые воды, а на остальной территории – неуязвимые к загрязнению ^{137}Cs грунтовые воды. На территории Калужской области вдоль ее границы с Брянской областью грунтовые воды характеризуются степенью уязвимости от слабо уязвимых до уязвимых к загрязнению ^{137}Cs . В долинах рек распространены условно неуязвимые грунтовые, а на остальной территории – неуязвимые грунтовые воды.

Заключение

Подтверждением наших оценок того, что грунтовые воды реально загрязнены радионуклидами чернобыльского происхождения, служат данные проекта [11]. Результаты полевых исследований, проведенные в рамках этого проекта, показали, что концентрация радионуклидов в грунтовых водах в районе Новозыбков – Клинцы на территории Брянской области во много раз превышает фоновые концентрации, даже в эксплуатационных скважинах, вскрывающих глубокозалегающие подземные воды, концентрация ^{137}Cs превышает фоновую в пять раз.

Грунтовые воды, в свою очередь, являются источником загрязнения для нижележащих подземных вод.

Литература

1. Кудельский А.В. О радиоактивном загрязнении природных вод и водной миграции радионуклидов на юго-востоке Белоруссии, Доклад АН БССР, 1990, Т. 34. № 11. С. 1039-1042.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2006 году». М.: АНО «Центр международных проектов», 2007. 500 с.
3. Белоусова А. П. Качество подземных вод. Современные подходы к оценке. М.: Наука, 2001. 340 с.
4. Белоусова А.П. К методике оценки естественной защищенности подземных вод от радиоактивного загрязнения / А.П. Белоусова, О.В. Галактионова // Водные ресурсы, 1994. Т. 21. № 3. С. 340-345.

Ключевые слова:

подземные воды,
защищенность,
уязвимость,
защитная зона,
радионуклиды,
сорбция,
миграция

5. Белоусова А.П. Ресурсы подземных вод и их защищенность от загрязнения в бассейне реки Днепр и отдельных его областях: Российская территория. М.: ЛЕНАНД, 2005. 168 с.
6. Государственная почвенная карта СССР. Масштаб 1:1000000. Академия наук СССР. Почвенный институт им. В.В. Докучаева. М.: Главное управление геодезии и картографии МВД СССР, 1953.
7. Гидрогеологическая карта СССР. Масштаб 1:200000. Л.: Министерство геологии СССР, ВСЕГЕИ, 1972-1976.
8. Геологическая карта СССР (четвертичных отложений). Масштаб 1:200000. М.: Министерство геологии СССР, 1976-1980.
9. Биндеман Н.Н. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Госгеотехиздат, 1963. 203 с.
10. Карта радиоактивного загрязнения Европейской части и Уральского региона России цезием-137 по состоянию на январь 1993 года. Масштаб 1:500000. Израэль Ю. А. (ответственный редактор), Назаров И.М., Фридман Ш. Д. и др. Росгидромет, ИГКЭ, ИПГ, НПО «Тайфун», ВНИСХМ, ГМП «Рамон», ГНТП «Аэрогеофизика», Невск-геология, ГПП «Севзапгеология», ПГО «Казгеофизика».
11. Оценка и прогноз качества воды в районах, пораженных в результате Чернобыльской аварии (Брянская область) (1997-2001 гг.). Окончательный отчет по проекту. М.: ПРООН, 2001. 200 с.



A.P. Belousova

RADIONUCLIDE POLLUTION OF GROUNDWATER – SECURITY ASSESSMENT

Security assessment and vulnerability of groundwater to pollution radionuclides has been observed. The results of evaluation and mapping of security and vulnerability of groundwater in Bryansk and Kaluga regions as the

most affected by the accident at the Chernobyl nuclear station are presented. The groundwater was shown to be vulnerable to the radioactive contamination, especially at sites with high surface radionuclide contamination. The migration of

radionuclides through the protection zone proceeds slowly, which is confirmed by monitoring.

Key words: groundwater, security, protection zone, radionuclides sorption, migration